

Droit nucléaire :

le débat mondial



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

DROIT NUCLÉAIRE
LE DÉBAT MONDIAL

Les États ci-après sont Membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique :

| | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| AFGHANISTAN | GABON | PAPOUASIE-NOUVELLE-GUINÉE |
| AFRIQUE DU SUD | GÉORGIE | PARAGUAY |
| ALBANIE | GHANA | PAYS-BAS |
| ALGÉRIE | GRÈCE | PÉROU |
| ALLEMAGNE | GRENADE | PHILIPPINES |
| ANGOLA | GUATEMALA | POLOGNE |
| ANTIGUA-ET-BARBUDA | GUYANA | PORTUGAL |
| ARABIE SAOUDITE | HAÏTI | QATAR |
| ARGENTINE | HONDURAS | RÉPUBLIQUE ARABE |
| ARMÉNIE | HONGRIE | SYRIENNE |
| AUSTRALIE | ÎLES MARSHALL | RÉPUBLIQUE |
| AUTRICHE | INDE | CENTRAFRICAINE |
| AZERBAÏDJAN | INDONÉSIE | RÉPUBLIQUE DE MOLDOVA |
| BAHAMAS | IRAN, RÉP. ISLAMIQUE D' | RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE |
| BAHREÏN | IRAQ | DU CONGO |
| BANGLADESH | IRLANDE | RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE |
| BARBADE | ISLANDE | POPULAIRE LAO |
| BÉLARUS | ISRAËL | RÉPUBLIQUE DOMINICAINE |
| BELGIQUE | ITALIE | RÉPUBLIQUE TCHÈQUE |
| BELIZE | JAMAÏQUE | RÉPUBLIQUE-UNIE |
| BÉNIN | JAPON | DE TANZANIE |
| BOLIVIE, ÉTAT | JORDANIE | ROUMANIE |
| PLURINATIONAL DE | KAZAKHSTAN | ROYAUME-UNI |
| BOSNIE-HERZÉGOVINE | KENYA | DE GRANDE-BRETAGNE |
| BOTSWANA | KIRGHIZISTAN | ET D'IRLANDE DU NORD |
| BRÉSIL | KOWEÏT | RWANDA |
| BRUNÉI DARUSSALAM | LESOTHO | SAINTE-LUCIE |
| BULGARIE | LETONIE | SAINTE-KITTS-ET-NEVIS |
| BURKINA FASO | LIBAN | SAINTE-MARIN |
| BURUNDI | LIBÉRIA | SAINTE-SIÈGE |
| CAMBODGE | LIBYE | SAINTE-VINCENT-ET-LES- |
| CAMEROUN | LIECHTENSTEIN | GRENADINES |
| CANADA | LITUANIE | SAMOA |
| CHILI | LUXEMBOURG | SÉNÉGAL |
| CHINE | MACÉDOINE DU NORD | SERBIE |
| CHYPRE | MADAGASCAR | SEYCHELLES |
| COLOMBIE | MALAISIE | SIERRA LEONE |
| COMORES | MALAWI | SINGAPOUR |
| CONGO | MALI | SLOVAQUIE |
| CORÉE, RÉPUBLIQUE DE | MALTE | SLOVÉNIE |
| COSTA RICA | MAROC | SOUDAN |
| CÔTE D'IVOIRE | MAURICE | SRI LANKA |
| CROATIE | MAURITANIE | SUÈDE |
| CUBA | MEXIQUE | SUISSE |
| DANEMARK | MONACO | TADJIKISTAN |
| DJIBOUTI | MONGOLIE | TCHAD |
| DOMINIQUE | MONTÉNÉGRE | THAÏLANDE |
| ÉGYPTÉ | MOZAMBIQUE | TOGO |
| EL SALVADOR | MYANMAR | TONGA |
| ÉMIRATS ARABES UNIS | NAMIBIE | TRINITÉ-ET-TOBAGO |
| ÉQUATEUR | NÉPAL | TUNISIE |
| ÉRYTHRÉE | NICARAGUA | TURKIE |
| ESPAGNE | NIGER | TURKMÉNISTAN |
| ESTONIE | NIGERIA | UKRAINE |
| ESWATINI | NORVÈGE | URUGUAY |
| ÉTATS-UNIS | NOUVELLE-ZÉLANDE | VANUATU |
| D'AMÉRIQUE | OMAN | VENEZUELA, |
| ÉTHIOPIE | OUGANDA | RÉP. BOLIVARIENNE DU |
| FÉDÉRATION DE RUSSIE | OUZBÉKISTAN | VIET NAM |
| FIDJI | PAKISTAN | YÉMEN |
| FINLANDE | PALAOS | ZAMBIE |
| FRANCE | PANAMA | ZIMBABWE |

Le Statut de l'Agence a été approuvé le 23 octobre 1956 par la Conférence sur le Statut de l'AIEA, tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York ; il est entré en vigueur le 29 juillet 1957. L'Agence a son Siège à Vienne. Son principal objectif est « de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier ».

DROIT NUCLÉAIRE LE DÉBAT MONDIAL

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2022

L'ouvrage original, *Nuclear Law: The Global Debate* a été publié pour la première fois en 2022, en anglais, par T.M.C. Asser Press, La Haye, Pays-Bas et produit et distribué par Springer-Verlag, Heidelberg, Allemagne sous une licence Creative Commons Attribution 3.0 IGO. ISBN 978-92-0-238422-4 | ISBN 978-92-0-238522-1 (pdf) | ISBN 978-92-0-238622-8 (epub)

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-6265-495-2>

Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, 2022

La présente publication a été élaborée à partir de documents originaux soumis par les personnes ayant contribué à sa rédaction. Elle n'a pas été éditée par l'équipe rédactionnelle de l'AIEA. Les opinions exprimées relèvent de la responsabilité de ces personnes et ne représentent pas nécessairement celles de l'AIEA ni de ses États Membres. Ni l'AIEA ni ses États Membres n'assument une quelconque responsabilité pour les conséquences éventuelles de l'utilisation de la présente publication. La présente publication ne traite pas des questions de la responsabilité, juridique ou autre, résultant d'actes ou omissions imputables à une quelconque personne. L'emploi d'appellations particulières pour désigner des pays ou des territoires n'implique de la part de l'éditeur, l'AIEA, aucune prise de position quant au statut juridique de ces pays ou territoires, ou de leurs autorités et institutions, ni quant au tracé de leurs frontières. La mention de noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur des droits de propriété et ne doit pas être considérée non plus comme valant approbation ou recommandation de la part de l'AIEA. Il incombe aux auteurs d'obtenir l'autorisation nécessaire pour que l'AIEA puisse reproduire, traduire ou utiliser de la documentation provenant de sources déjà protégées par les droits d'auteur. L'AIEA n'assume aucune responsabilité quant à la persistance ou à l'exactitude des adresses URL de sites Internet externes ou de tiers mentionnées dans la présente publication et ne peut garantir que le contenu desdits sites est ou demeurera exact ou approprié.

Avant-propos

Le droit nucléaire est un domaine en constante évolution, avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) en son centre. Ce corpus juridique hautement spécialisé imprègne l'ensemble du secteur nucléaire, permettant une utilisation sûre, sécurisée et pacifique de la technologie nucléaire.

Grâce à elle, nous pouvons profiter des nombreux bienfaits vitaux de la science et de la technologie nucléaires, notamment des soins contre le cancer, d'une énergie propre et de meilleurs rendements agricoles.

L'AIEA et la communauté internationale ont érigé un régime de garanties quasi universel qui vise à détecter et à empêcher le détournement de matières nucléaires des activités nucléaires pacifiques vers la fabrication d'armes nucléaires. En outre, nous avons instauré une culture de sûreté et de sécurité d'abord et nous nous sommes adaptés aux nouvelles menaces telles que le terrorisme.

La science et la technologie nucléaires évoluent, poussées par l'innovation et la nécessité de relever les défis actuels et nouveaux, tels que la pandémie de COVID-19 et le changement climatique. Le droit nucléaire doit évoluer avec elles. C'est pourquoi nous publions ce livre dans le cadre de la première Conférence internationale de l'AIEA sur le droit nucléaire, sur le thème « Le débat mondial ».

En 2022, des experts du monde entier se sont réunis dans ce forum mondial unique pour examiner des questions essentielles du droit nucléaire et formuler une vision de l'avenir. Ce recueil d'essais rassemble les réflexions de penseurs du monde entier dans ce domaine. Certains essais portent sur l'histoire du droit nucléaire et son évolution, d'autres sur des questions spécifiques des quatre branches principales du droit nucléaire – sûreté, sécurité, garanties et responsabilité nucléaire – et d'autres encore mettent en lumière certains des domaines dans lesquels la science et la technologie nucléaires jouent un rôle important.

Je suis convaincu que ce livre sera utile à ceux qui élaborent et mettent en œuvre des politiques ou qui rédigent la législation et la réglementation. Je pense qu'il intéressera les autres institutions du système des Nations Unies et d'autres organisations internationales et régionales dont les mandats comprennent la paix et la sécurité et le développement durable. Certains essais intéresseront particulièrement les secteurs du droit et de l'assurance qui conseillent les gouvernements et l'industrie sur les questions nucléaires. Pour les universitaires et les membres de la société civile, ce livre pourrait bien susciter des réflexions et des plaidoyers stimulants. J'espère qu'il inspirera et éclairera les étudiants et les jeunes professionnels, en particulier les femmes, qui font carrière dans le droit, la politique ou l'industrie nucléaires.

Je souhaite cependant que ce recueil ne soit pas seulement utile à ceux qui travaillent sur les questions nucléaires. J'aimerais que tous ceux d'entre nous qui bénéficient du pouvoir salvateur de la science et de la technologie nucléaires comprennent ce qui permet ces bienfaits.

Il va sans dire que ce livre a pu voir le jour grâce à la générosité des éminents auteurs qui ont pris le temps de partager leurs idées. Je les en remercie très sincèrement. Je tiens également à saluer le travail de nombreux collègues du Secrétariat de l'AIEA qui ont permis à cette publication exceptionnelle de voir le jour. Il s'agit notamment du personnel du Bureau des affaires juridiques et de la Division des services de conférence et de documentation du Département de la gestion, de mes conseillers au Bureau du directeur général, ainsi que de mes collègues du Département des garanties, du Département de la sûreté et de la sécurité nucléaires, du Département de l'énergie nucléaire et du Département de la coopération technique. Enfin, je tiens à remercier tout particulièrement la Conseillère juridique et Directrice du Bureau des affaires juridiques de l'AIEA, P. L. Johnson, et les chefs de section du Bureau des affaires juridiques, W. Tonhauser (qui a également été le secrétaire scientifique de la conférence), I. Suseanu et J. Lusser, pour leur soutien. Enfin, je remercie tout spécialement A. Wetherall, C. de Francia et I. Pletukhina, du Bureau des affaires juridiques de l'AIEA, pour leur aide indispensable.

Rafael Mariano Grossi

Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | DROIT NUCLÉAIRE : LE DÉBAT MONDIAL..... | 15 |
| | Références..... | 48 |
| 2. | LE DROIT NUCLÉAIRE À L'APPUI DES UTILISATIONS PACIFIQUES DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE | 51 |
| 2.1. | Mise en place et amélioration du cadre juridique international dans le domaine nucléaire..... | 52 |
| 2.2. | Création d'un cadre juridique en matière nucléaire et développement de l'énergie nucléaire en Chine..... | 59 |
| 2.3. | Perspectives | 63 |
| | Références..... | 66 |
| 3. | CADRE JURIDIQUE INTERNATIONAL DANS LE CONTEXTE DES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES ET DES CENTRALES NUCLÉAIRES TRANSPORTABLES : PROBLÈMES ET PERSPECTIVES, SOUS L'ANGLE DE VUE RUSSE..... | 69 |
| 3.1. | Introduction | 69 |
| 3.2. | Approches relatives au contrôle réglementaire des PRM flottants | 71 |
| 3.3. | Spécificités et approches de la Convention SOLAS en matière d'octroi d'autorisations | 73 |
| 3.4. | Appui juridique au transport de PRM flottants | 74 |
| 3.5. | Garanties de l'AIEA..... | 76 |
| 3.6. | Les PRM flottants et la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires | 76 |
| 3.7. | Initiatives de l'AIEA en faveur de l'examen des questions d'appui juridique concernant les PRM flottants..... | 78 |
| 3.8. | Conclusion | 79 |
| | Références..... | 80 |
| 4. | LES GRANDES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DU DROIT NUCLÉAIRE : VOYAGE AU CŒUR DE LA RÉGLEMENTATION NUCLÉAIRE | 83 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. | Introduction | 83 |
| 4.2. | Réglementation nucléaire : caractéristiques et tensions | 84 |
| 4.3. | Préparer le défi réglementaire | 93 |
| 4.4. | Perspectives | 97 |
| 4.5. | Conclusion | 102 |
| | Références | 103 |
| 5. | RENFORCER LE RÉGIME MONDIAL DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE | 107 |
| | Références | 117 |
| 6. | LE DÉFI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE – TRANSFORMATION INTÉGRALE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES : PAS DE ZÉRO NET SANS NUCLÉAIRE .. | 119 |
| 6.1. | Le défi du changement climatique et la transformation de l'énergie primaire | 119 |
| 6.2. | Énergie primaire | 120 |
| 6.3. | Consommation énergétique actuelle | 122 |
| 6.4. | Caractéristiques/avantages de l'énergie nucléaire | 129 |
| 6.5. | Assemblage des réacteurs modulaires | 133 |
| 6.6. | Le nucléaire comme fournisseur de combustible alternatif ... | 147 |
| 6.7. | Le nucléaire comme batterie | 151 |
| 6.8. | Le nucléaire comme décarbonateur industriel | 152 |
| 6.9. | Effacer nos traces : un nouveau modèle de réacteur pour brûler nos déchets | 155 |
| 6.10. | Le nucléaire comme énergie primaire à faible coût | 158 |
| 6.11. | Marchés énergétiques | 163 |
| 6.12. | Nos options et notre approche | 175 |
| 6.13. | Réflexions finales | 180 |
| | Références | 182 |
| 7. | IMPUTATION JURIDIQUE DU DOMMAGE RADIOLOGIQUE À DES SITUATIONS D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS | 185 |
| 7.1. | Objectif | 186 |
| 7.2. | Résumé du consensus scientifique fondamental | 188 |
| 7.3. | De l'estimation des effets à l'imputation du dommage | 191 |
| 7.4. | Le paradigme fondamental | 194 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.5. | Faits vérifiables contre conjectures subjectives | 198 |
| 7.6. | Attestation | 199 |
| 7.7. | Conséquences juridiques | 201 |
| 7.8. | Conclusion | 205 |
| | Références. | 206 |
| 8. | EFFICACITÉ DU RÉGIME MONDIAL DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE ET CAPACITÉ DES ÉTATS À L'APPLIQUER COMPTE TENU DE L'ARRIVÉE PROCHAINE DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES AVANCÉS. | 209 |
| 8.1. | Introduction | 210 |
| 8.2. | Examen des principales composantes internationales du régime mondial de sécurité nucléaire. | 211 |
| 8.3. | Examen de la capacité des États à appliquer de nouvelles prescriptions ou à mettre en œuvre de nouvelles orientations en matière de sécurité nucléaire | 217 |
| 8.4. | Conclusion | 219 |
| | Références. | 220 |
| 9. | CRÉATION D'UN RÉGIME DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE : LES QUESTIONS À EXAMINER | 221 |
| 9.1. | Introduction | 221 |
| 9.2. | Souveraineté et responsabilité de l'État | 223 |
| 9.3. | La menace : évaluation de la menace et menace de référence | 225 |
| 9.4. | Cadre international | 228 |
| 9.5. | Cadre législatif et réglementaire. | 234 |
| 9.6. | L'autorité de sécurité nucléaire | 238 |
| 9.7. | Responsabilités des exploitants | 241 |
| 9.8. | Choix des solutions techniques, des sites et des itinéraires de transport. | 246 |
| 9.9. | Confidentialité, transparence et communication | 248 |
| 9.10. | Conclusion | 251 |
| 9.11. | Pour aller plus loin | 253 |
| | Références. | 254 |
| 10. | LES GARANTIES DE L'AIEA : EXACTITUDE ET EXHAUSTIVITÉ DES DÉCLARATIONS DES ÉTATS | 257 |
| 10.1. | Introduction | 257 |

| | | |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.2. | Historique | 258 |
| 10.3. | Interprétation du Traité. | 260 |
| 10.4. | Les principes essentiels des garanties généralisées | 264 |
| 10.5. | Résumé | 274 |
| | Références. | 276 |
| 11. | LES GARANTIES POUR L'AVENIR | 279 |
| 11.1. | Introduction | 279 |
| 11.2. | L'état actuel des garanties de l'AIEA. | 280 |
| 11.3. | La recherche de l'universalité | 281 |
| 11.4. | Nouveau renforcement des garanties | 283 |
| 11.5. | Gestion des garanties | 286 |
| 11.6. | Transparence et franchise. | 290 |
| 11.7. | Formation aux garanties | 294 |
| 11.8. | Renforcer encore les effectifs des garanties. | 298 |
| 11.9. | Défis futurs en matière de vérification. | 302 |
| 11.10. | Augmenter le nombre des bureaux régionaux ? | 304 |
| 11.11. | Financement des garanties | 305 |
| 11.12. | Conclusion | 307 |
| | Références. | 308 |
| 12. | LA RESPONSABILITÉ NUCLÉAIRE ET L'APRÈS-FUKUSHIMA | 311 |
| 12.1. | Introduction | 311 |
| 12.2. | Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire | 312 |
| 12.3. | Mesures faisant suite à l'accident. | 313 |
| 12.4. | Autres questions examinées par l'INLEX depuis 2012, compte tenu essentiellement des progrès récents et des innovations dans l'industrie nucléaire mondiale | 321 |
| 12.5. | Principaux sujets discutés à présent et à l'avenir | 330 |
| 12.6. | Conclusion | 334 |
| | Références. | 335 |
| 13. | L'ATOME HUMANITAIRE : LA CONTRIBUTION DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE À LA RÉALISATION DES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE | 337 |
| 13.1. | Introduction | 337 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.2. | La place centrale occupée par l'énergie (propre) dans le développement durable et le rôle de l'énergie nucléaire | 340 |
| 13.3. | La technologie nucléaire et l'amélioration de la santé. | 344 |
| 13.4. | Appliquer la technologie nucléaire à la protection de l'environnement | 351 |
| 13.5. | Garantir une transition énergétique équitable | 355 |
| 13.6. | Conclusion | 360 |
| | Références. | 362 |
| 14. | PAYS PRIMO-ACCÉDANTS : LA VOIE SUIVIE PAR LES ÉMIRATS ARABES UNIS | 371 |
| 14.1. | Lancement du programme électronucléaire des ÉAU : politique nucléaire | 372 |
| 14.2. | De la politique nucléaire au cadre juridique. | 373 |
| 14.3. | Vers une législation nationale complète en matière nucléaire . | 378 |
| | Références. | 393 |
| 15. | ÉTABLISSEMENT DE L'AUTORITÉ DE SÛRETÉ ET DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES DU ROYAUME DU MAROC : METTRE EN COMMUN LES DONNÉES D'EXPÉRIENCE ET LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS. | 395 |
| 15.1. | Introduction | 395 |
| 15.2. | Évolution des applications nucléaires au Maroc | 397 |
| 15.3. | Évolution du cadre réglementaire national de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques | 399 |
| 15.4. | Rôle et réalisations de l'AMSSNuR. | 400 |
| 15.5. | Principales réalisations par domaine stratégique | 403 |
| 15.6. | Conclusion | 409 |
| | Références. | 410 |

1. DROIT NUCLÉAIRE : LE DÉBAT MONDIAL

Rafael Mariano Grossi

Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne (Autriche)

Résumé L'Agence internationale de l'énergie atomique joue un rôle unique dans le développement et l'application du droit nucléaire international. Le présent chapitre contient un bref examen du droit nucléaire et de ses quatre piliers, à savoir la sûreté, la sécurité, les garanties et la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires. Il montre le chemin parcouru jusqu'à présent et la direction que nous pouvons donner au débat mondial, compte tenu des applications pacifiques actuelles ou nouvelles des sciences et techniques nucléaires, comme les réacteurs avancés ou la fusion nucléaire. Il invite également toutes les parties prenantes de la communauté internationale, notamment les organisations internationales, les organisations non gouvernementales, l'industrie, les milieux universitaires et la société civile, ainsi que tous ceux qui seront chargés de façonner le droit nucléaire dans les prochaines années, à ouvrir le débat et la discussion sur le droit nucléaire.

Mots clés Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) • Droit nucléaire international • Sûreté nucléaire • Sécurité nucléaire • Garanties • Responsabilité civile en matière de dommages nucléaires • Applications pacifiques (des sciences et techniques nucléaires) • Réacteurs avancés • Fusion nucléaire

Les normes et instruments internationaux forment le cadre du droit nucléaire, sur lequel repose la confiance dans le fait que les applications nucléaires seront bénéfiques pour nous et pour la planète. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), qui fait en sorte que ce bien essentiel reste souple et solide dans un contexte où les techniques, les possibilités et les difficultés ne cessent d'évoluer, joue un rôle de premier plan.

Tout comme les inspections de l'AIEA permettent de s'assurer que des matières nucléaires ne servent pas à fabriquer illicitement des armes, ou les scientifiques de l'Agence aident les États Membres à utiliser les sciences et techniques nucléaires en médecine, dans l'agriculture et pour la lutte contre la pollution par le plastique et contre des zoonoses comme la COVID-19, le droit nucléaire et ceux qui le façonnent créent un cadre normatif indispensable pour contribuer à ce vaste effort.

Le cadre essentiel sur lequel nous nous appuyons aujourd'hui a principalement été établi en réaction à de grands événements survenus dans le monde, et d'abord la fondation de l'AIEA par ceux qui, au sortir de la Seconde Guerre mondiale, ont pris conscience du fait que l'énergie nucléaire avait

le pouvoir énorme de sauver des vies et de faire de nombreuses victimes. Les activités de vérification de l'AIEA nous permettent de garantir que les États respectent les engagements qu'ils ont pris concernant la non-prolifération, à savoir utiliser les matières et techniques nucléaires exclusivement à des fins pacifiques. Elles permettent d'avoir collectivement confiance dans le fait que des matières nucléaires ne sont pas détournées pour fabriquer des armes nucléaires, et constituent le fondement du régime international de non-prolifération.

En plus de l'engagement de veiller à ce que l'AIEA soit un gardien infatigable, solide, impartial, équitable et transparent du système international des garanties, je me suis donné trois missions importantes dans le domaine juridique en tant que Directeur général : chercher activement à renforcer autant que possible le cadre juridique et normatif actuel ; aider les États à respecter les lois et les normes qui nous protègent tous et nous permettent de profiter des nombreux avantages des techniques nucléaires ; permettre à tous ceux qui, conjointement avec l'AIEA, élaborent les futurs instruments de droit nucléaire international d'être le plus actif possible.

Le présent ouvrage expose les opinions et les idées de certaines des personnes les plus éminentes dans ce domaine, dont de nombreux juristes. Le présent chapitre se nourrit de ma propre expérience d'étudiant en histoire, de diplomate argentin et de fonctionnaire international. Comme l'a écrit Edmund Burke : « L'histoire est un grand livre ouvert pour notre instruction [...], d'où elle puise pour l'avenir les leçons de sa sagesse ». Un bref examen du droit nucléaire, de son histoire et de la direction que nous pouvons donner au débat mondial constitue un bon point de départ. Le fait de rendre ce débat accessible à un large public permettra aux États de prendre des décisions éclairées, qui tiennent compte de l'avis et de la contribution des parties prenantes de la communauté internationale, notamment les organisations internationales, les organisations non gouvernementales, l'industrie, les milieux universitaires et la société civile.

Le droit nucléaire compte quatre grands piliers : la sûreté, la sécurité, les garanties et la responsabilité civile. Ils sont omniprésents dans tout le secteur nucléaire. Ils déterminent comment les matières nucléaires et les autres matières radioactives sont manipulées, que ce soit dans le laboratoire d'une université parisienne ou sur un porte-conteneurs qui se dirige vers un réacteur de recherche installé au Nigéria. Le droit nucléaire est indispensable pour pouvoir profiter des avantages d'une utilisation pacifique, sûre et sécurisée des techniques nucléaires et de leurs applications dans la vie quotidienne.

Le sujet central est naturellement l'électronucléaire, qui est essentiel parce qu'il occupe une place de plus en plus importante dans le bouquet énergétique à faible émission de carbone des pays qui cherchent à éviter les pires effets du changement climatique tout en disposant d'une énergie durable et fiable pour leur croissance économique, et parce que des innovations comme les petits réacteurs

modulaires (PRM) exigent une attention particulière. Le droit nucléaire ne se limite toutefois nullement aux questions de sûreté, de sécurité, de garanties et de responsabilité civile dans les centrales nucléaires. L'humanité fait encore aujourd'hui face à d'autres grands défis, qui devraient persister à l'avenir, comme la sécurité alimentaire, les soins de santé, la gestion des ressources en eau ou la nécessité de rendre l'environnement plus propre et plus sûr. Le cadre juridique permet d'utiliser les techniques nucléaires pour s'attaquer à ces questions essentielles.

En tant que membres de la communauté nucléaire, nous devons donc nous assurer que le droit nucléaire reste adapté aux besoins.

Le secteur nucléaire et les lois et normes qui le régissent évoluent constamment, tout comme l'AIEA. Dans le présent chapitre, je vais m'efforcer d'expliquer comment nous aidons nos États Membres à tirer les enseignements du passé afin d'anticiper les besoins du futur. Une certaine rigueur est nécessaire pour évaluer continuellement le cadre juridique dans lequel les activités nucléaires se déroulent. En tant que Directeur général de l'AIEA, je sais parfaitement qu'il faut des années pour maîtriser la complexité de ce domaine où des scientifiques, des ingénieurs, des juristes, des responsables politiques et des diplomates doivent employer les mêmes termes. À cette fin, nous devons comprendre le secteur nucléaire et la législation correspondante. Pour que nous puissions employer les mêmes termes dans le cadre du débat mondial, nous commençons notre voyage par des informations essentielles sur les origines, l'objet et l'évolution de ce secteur.

Le mardi 8 décembre 1953, alors qu'une course aux armements nucléaires était engagée entre les États-Unis d'Amérique et l'Union soviétique, des diplomates se sont réunis au Siège de l'Organisation des Nations Unies (ONU), à New York, pour écouter le Président des États-Unis, Dwight Eisenhower, qui a pris la parole devant l'Assemblée générale des Nations Unies. Dans ce qui est depuis devenu l'un des plus célèbres discours de l'histoire, il s'est engagé à ce que son pays participe à la solution du « terrible dilemme atomique » et se consacre à « la recherche du moyen grâce auquel le génie inventif miraculeux de l'homme ne sera pas l'instrument de sa mort, mais le bienfaisant auxiliaire de sa vie ». Dans cette allocution, intitulée « Atomes pour la paix », le Président Eisenhower a décrit schématiquement l'organisme qui sera plus tard créé sous le nom d'AIEA, et a ouvert la voie au futur Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP)¹, deux composantes essentielles qui influent encore sur la manière dont le monde s'assure que sa source d'énergie la plus puissante n'est utilisée qu'à des fins pacifiques².

¹ Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968 et entré en vigueur le 5 mars 1970 (TNP).

² Eisenhower 1953.

Comme une pièce de monnaie, le mandat de l'AIEA a deux faces. L'Agence est à la fois le gendarme nucléaire du monde et la principale instance intergouvernementale de coopération scientifique et technique dans le domaine nucléaire. À ce titre, elle veille à ce que l'utilisation pacifique, sûre et sécurisée des sciences et techniques nucléaires aide les États Membres à atteindre les objectifs de développement durable.

En plus de 60 ans d'existence, l'AIEA a affronté de nombreux défis en redynamisant constamment son rôle d'organisation intergouvernementale indépendante et prééminente sur le plan scientifique et technique au sein du système des Nations Unies. Elle est toujours intervenue rapidement en cas de crise. Depuis le milieu des années 1940, l'élaboration de cadres juridiques solides dans le domaine nucléaire a évolué à l'échelle nationale, régionale et internationale.

Comme l'explique le présent chapitre, des événements comme l'accident de Tchernobyl survenu en 1986, la découverte d'un programme clandestin d'armement nucléaire en Iraq en 1991 ou les attentats terroristes du 11 septembre 2001 ont abouti à l'élaboration de nouveaux instruments juridiques internationaux et à l'amélioration des instruments existants dans le domaine de la sûreté nucléaire, de la sûreté radiologique, de la sécurité nucléaire, des garanties et de la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires. Ils ont aussi été d'importants catalyseurs du changement au sein de l'AIEA, en renforçant son rôle concernant la vérification, la sûreté et la sécurité nucléaire.

L'une des caractéristiques fondamentales du droit nucléaire est l'accent mis sur l'évaluation des avantages des techniques nucléaires et sur la réduction maximale des risques. L'objectif est d'offrir un cadre juridique permettant de mener des activités ayant trait à l'énergie nucléaire et aux rayonnements ionisants d'une manière qui protège correctement les individus, les biens et l'environnement afin que le public puisse bénéficier de ces techniques. À cette fin, des régimes qui se complètent et concernent la sûreté, la sécurité, les garanties et la responsabilité civile ont été mis en place.

L'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl le 26 avril 1986 a servi d'avertissement à la communauté internationale et a abouti à l'adoption de normes de sûreté nucléaire plus strictes à l'échelle nationale et internationale. Les exploitants ont examiné en détail les caractéristiques de leurs réacteurs et ont établi des mécanismes de communication qui ont même franchi les lignes de fracture politiques profondes de la guerre froide, créant ainsi une culture mondiale de sûreté dont nous bénéficions encore aujourd'hui. L'accident de Tchernobyl a abouti à la formation d'un cadre juridique international en la matière, qui se compose actuellement de quatre traités adoptés sous les auspices de l'Agence. Il a aussi fortement contribué à renforcer le rôle de l'AIEA dans le domaine de la sûreté nucléaire.

Deux conventions ont été adoptées en septembre 1986, juste après l'accident de Tchernobyl : la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire (Convention sur la notification rapide)³ et la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique (Convention sur l'assistance)⁴. Ces conventions ont pour objet de limiter le plus possible les conséquences des accidents et des situations d'urgence. À cette fin, elles prévoient une notification des accidents, des échanges d'informations et la fourniture rapide d'une assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique. La Convention sur la notification rapide compte actuellement 130 Parties et la Convention sur l'assistance 124 Parties (au mois de septembre 2021).

Le degré d'adhésion aux deux conventions relatives à la sûreté qui ont été adoptées juste après l'accident de Tchernobyl est relativement élevé, mais près de 50 États Membres de l'AIEA ne sont pas encore parties à ces instruments fondamentaux. Notre mission consiste à continuer d'expliquer pourquoi tous les États devraient être parties à ces instruments. Il est à noter que les conventions forment le socle juridique sur lequel reposent la préparation et la conduite des interventions d'urgence (PCI) et sont complétées par des dispositions opérationnelles, moyens concrets par lesquels l'AIEA, ses États Membres et d'autres organisations internationales se tiennent prêts à intervenir et interviennent efficacement en cas d'incident nucléaire ou radiologique ou de situation d'urgence nucléaire ou radiologique⁵.

Fondement du cadre juridique international en matière de sûreté nucléaire, la Convention sur la sûreté nucléaire (CSN)⁶, adoptée en 1994, porte sur un sujet important : la sûreté des centrales nucléaires fixes (y compris des installations d'entreposage, de manutention et de traitement qui sont directement liées à l'exploitation des centrales). La CSN compte 91 Parties et, à quelques exceptions près, tous les pays qui exploitent des centrales sont parties à cette convention (en mars 2021).

Comme son nom l'indique, la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs,

³ Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 27 octobre 1986 (Convention sur la notification rapide).

⁴ Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 26 février 1987 (Convention sur l'assistance).

⁵ Voir AIEA 2017a ; AIEA 2018a ; AIEA 2020a ; AIEA 2020b.

⁶ Convention sur la sûreté nucléaire, ouverte à la signature le 20 septembre 1994 et entrée en vigueur le 24 octobre 1996 (CSN).

adoptée en 1997 (Convention commune)⁷, concerne la partie terminale du cycle du combustible nucléaire et les autres déchets radioactifs, thèmes qui ne sont pas abordés dans la CSN. Alors que la Convention commune est entrée en vigueur il y a 20 ans, elle ne compte aujourd’hui que 86 Parties et plus de la moitié des États Membres de l’AIEA ne sont pas encore parties à cette convention (au mois de septembre 2021). Cette situation s’explique en partie par les aspects techniques de la Convention et par le fait que les décideurs ne comprennent pas suffisamment son importance pour les pays où il n’existe aucune activité du cycle du combustible. Par exemple, la quasi-totalité des pays génèrent des déchets radioactifs, que ce soit par la production d’électricité d’origine nucléaire ou l’utilisation de radio-isotopes pour le diagnostic et le traitement des maladies, les applications industrielles et agricoles, ou encore la recherche. À ce titre, la Convention commune intéresse tous les États.

La principale innovation de la CSN et de la Convention commune est l’examen par des pairs. Lors de réunions triennales, des responsables, y compris des membres d’organismes de réglementation, soumettent les pratiques de sûreté de leur pays, telles qu’elles sont décrites dans leur rapport national, à un examen par des pairs à la fois exigeant et constructif. Par ce mécanisme, ils montrent qu’ils sont déterminés à appliquer des mesures de sûreté rigoureuses et à atteindre un haut niveau de sûreté, mais ont aussi une occasion unique d’échanger des données d’expérience et d’apprendre les uns des autres.

Le droit nucléaire est un ensemble de textes qui comprend non seulement des traités internationaux juridiquement contraignants, mais aussi des instruments et des normes de conduite qui ont un puissant effet normalisateur. En l’absence de consensus en faveur d’un traité, ces instruments juridiquement non contraignants peuvent être utiles, car ils peuvent être adoptés et actualisés plus rapidement et offrent un moyen facile et souple de répondre aux besoins du moment. Ainsi, deux codes de conduite adoptés par l’AIEA au cours des 20 dernières années portent l’un sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives et l’autre sur la sûreté des réacteurs de recherche civils⁸. Pour contrebalancer le caractère non contraignant du Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives adopté en 2003⁹ (et des deux documents d’orientation qui le complètent)¹⁰, les États peuvent apporter un soutien politique à ce code conformément aux résolutions pertinentes de la Conférence générale, organe directeur de l’AIEA, auquel chaque État Membre siège et qui adopte chaque

⁷ Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 18 juin 2001 (Convention commune).

⁸ AIEA 2004 ; AIEA 2006a.

⁹ AIEA 2004.

¹⁰ AIEA 2012a ; AIEA 2018b.

année des résolutions orientant les activités de l'Agence¹¹. Dans le cadre du Code de conduite, une procédure d'échange d'informations sur les méthodes de contrôle des sources radioactives qui sont appliquées par les pays existe depuis 2006.

Définissant des principes, des objectifs et des prescriptions de haut niveau, les conventions et les codes de conduite sont renforcés par un ensemble complet de normes techniques de sûreté détaillées et non contraignantes, qui ont été adoptées en application du Statut de l'Agence et sont l'expression d'un consensus international sur la notion de niveau élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement. Ces normes, qui s'appliquent à un large éventail d'installations et d'activités, allant des installations nucléaires à l'utilisation des rayonnements et des sources radioactives en médecine, dans l'industrie et dans l'agriculture, sont élaborées dans le cadre d'un mécanisme ouvert et transparent qui est géré par la Commission des normes de sûreté, avec l'aide d'experts des États Membres, en concertation avec l'ONU et ses institutions spécialisées¹².

La plupart des pays appliquent les normes de sûreté de l'Agence à titre volontaire. La mise en œuvre des instruments et des normes à l'échelle nationale est facilitée par des mécanismes d'application concrets et facultatifs, comme l'examen de la sûreté par des pairs et les services consultatifs, qui sont organisés par

¹¹ À ce jour (septembre 2021), 140 États ont pris l'engagement politique d'appliquer le Code de conduite, 123 États ont pris un engagement politique concernant les Orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives et 44 États concernant les Orientations sur la gestion des sources radioactives retirées du service.

¹² Quatre comités participent au programme d'élaboration des normes de sûreté de l'AIEA : dans le domaine de la sûreté nucléaire, le Comité des normes de sûreté nucléaire (NUSSC) ; dans le domaine de la sûreté radiologique, le Comité des normes de sûreté radiologique (RASSC) ; dans le domaine de la sûreté des déchets radioactifs, le Comité des normes de sûreté des déchets (WASSC) ; et concernant la sûreté du transport des matières radioactives, le Comité des normes de sûreté du transport (TRANSSC).

l'AIEA conformément à ses fonctions statutaires¹³. Il existe aussi plusieurs autres activités d'assistance, notamment le programme d'assistance législative de l'AIEA, qui permet d'aider les États à adhérer aux instruments juridiques internationaux pertinents et à les intégrer efficacement à un cadre juridique national complet en matière nucléaire.

L'accident survenu le 11 mars 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon), exploitée par la Compagnie d'électricité de Tokyo, se classe au deuxième rang des accidents ayant eu le plus de conséquences dans toute l'histoire de l'énergie nucléaire, même si des scientifiques internationaux de premier plan n'ont trouvé aucun effet sanitaire radio-induit qui lui soit imputable¹⁴. Peu de temps après l'accident, les États Membres de l'AIEA ont unanimement approuvé un Plan d'action sur la sûreté nucléaire¹⁵. En dehors du Plan d'action, plusieurs mesures ont été prises pour améliorer l'efficacité du cadre juridique international relatif à la sûreté nucléaire et renforcer les examens par des pairs et les normes de sûreté de l'AIEA. En 2015, les Parties à la CSN¹⁶ ont adopté la Déclaration de Vienne sur la sûreté nucléaire¹⁷, qui fait aujourd'hui partie intégrante de la procédure d'examen prévue par la Convention. La Déclaration permet de renforcer la mise en œuvre d'un des objectifs de la Convention, qui consiste à prévenir les accidents ayant des conséquences radiologiques et à atténuer ces conséquences au cas où de tels accidents se produiraient. Les États qui sont parties

¹³ Les examens de la sûreté par des pairs et les services consultatifs organisés par l'AIEA comprennent les activités du Service intégré d'examen de la réglementation (IRRS) et de l'Équipe d'examen de la sûreté d'exploitation (OSART), les missions d'examen de la préparation aux situations d'urgence (EPREV), les missions d'examen qui concernent le site et la conception basée sur les événements externes, les services d'examen technique de la sûreté, les missions du Service d'évaluation de la radioprotection professionnelle (ORPAS), les missions relatives aux questions de sûreté concernant l'exploitation à long terme (SALTO), les missions d'examen par des pairs de l'expérience relative à la performance en matière de sûreté d'exploitation (PROSPER), les missions d'évaluation intégrée de la sûreté des réacteurs de recherche (INSARR), les missions d'évaluation indépendante de la culture de sûreté, les missions consultatives sur l'infrastructure réglementaire de sûreté radiologique (AMRAS) (qui peuvent aussi porter sur la sécurité, comme les missions consultatives sur l'infrastructure réglementaire de sûreté radiologique et de sécurité des matières radioactives) et les missions d'évaluation de la formation théorique et pratique (EduTA). En 2014, l'AIEA a créé le Service d'examen intégré portant sur la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé, le déclassement et la remédiation (ARTEMIS).

¹⁴ AIEA 2015a.

¹⁵ AIEA 2011a. Le Plan d'action a été adopté par le Conseil des gouverneurs de l'AIEA le 13 septembre 2011 et approuvé par la Conférence générale de l'AIEA à sa cinquante-cinquième session ordinaire (2011).

¹⁶ CSN, *supra*, note 6.

¹⁷ AIEA 2015b.

aussi bien à la CSN qu'à la Convention commune¹⁸ ont renforcé les mécanismes d'examen par des pairs qui sont prévus par ces conventions. En outre, les États Membres ont été encouragés à recourir régulièrement aux examens par des pairs et aux services consultatifs de l'AIEA. Le recours accru qui s'est ensuivi et la communication des résultats, des données d'expérience et des enseignements tirés sont des démarches encourageantes, qui devraient se poursuivre. Enfin, le Secrétariat de l'AIEA a été prié de prendre des dispositions pour pouvoir établir une évaluation et un pronostic en situation d'urgence nucléaire ou radiologique¹⁹.

L'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a rappelé à la communauté internationale qu'il fallait une interprétation commune et, autant que possible, une approche commune de la PCI par les pays, même pour un accident qui se produit dans une centrale nucléaire située de l'autre côté de la terre. On considère qu'un respect global des normes de sûreté de l'AIEA est indispensable pour pouvoir harmoniser la PCI. La nécessité d'une coordination transfrontière et d'une harmonisation des dispositions relatives à la PCI est mentionnée dans les instruments juridiques internationaux et normes applicables²⁰. Le nombre de pays qui cherchent à lancer un programme électronucléaire et à construire des centrales nucléaires étant en augmentation, les discussions consacrées à l'harmonisation des stratégies de PCI à l'échelle bilatérale et régionale sont importantes. En cas d'accident nucléaire, il est indispensable que les interventions des différents pays soient harmonisées.

Depuis les années 1970, on considère de plus en plus que l'exploitation de centrales nucléaires et la gestion de sources radioactives exigent un haut niveau de sûreté et de sécurité. Fondamentalement, la sécurité nucléaire vise à faire en sorte que des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives ne tombent pas entre les mains d'acteurs non étatiques, qui pourraient s'en servir à des fins malveillantes. Elle exige par exemple de renforcer la sécurité aux frontières par l'installation de détecteurs de rayonnements dans les ports et aux postes frontière, et de veiller à ce que les policiers, les gardes frontière et d'autres agents publics soient capables de détecter et de prévenir la contrebande de matières nucléaires et d'autres matières radioactives. Elle exige aussi d'améliorer la protection physique dans les installations nucléaires et les hôpitaux, notamment par des gardiens et caméras, afin d'empêcher le vol de matières radioactives.

¹⁸ Convention commune, *supra*, note 7.

¹⁹ Indépendamment du Plan d'action, la Conférence générale de l'AIEA, à sa cinquante-septième session ordinaire (2013), a souligné que le rôle d'intervention du Secrétariat devait concerner toutes les situations d'urgence nucléaire ou radiologique. Voir AIEA 2013a, par. 103.

²⁰ Voir en particulier la CSN et la Convention commune, ainsi que les normes de sûreté de l'AIEA applicables, comme AIEA 2017b et d'autres recommandations et orientations de l'AIEA relatives à la PCI.

Dans le cadre du débat mondial sur le droit nucléaire, l'interface entre sécurité nucléaire et sûreté nucléaire est un domaine où des synergies existent. La sûreté et la sécurité ont le même objet : protéger les personnes, la population et l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Les activités relatives à la sûreté nucléaire sont toutefois différentes de celles qui concernent la sécurité nucléaire, et les mesures prises pour renforcer l'une peuvent avoir des incidences, positives ou négatives, sur l'autre. Ainsi, les dispositifs de contrôle qui limitent l'accès aux zones vitales d'une centrale nucléaire ne remplissent pas seulement une fonction de sûreté en empêchant ou en limitant l'exposition des travailleurs et en contrôlant l'accès du personnel qualifié à des fins de maintenance, mais jouent aussi un rôle de sécurité en empêchant à des intrus d'accéder à ces zones. Il est donc constamment nécessaire de veiller à ce que les mesures de sûreté et de sécurité soient conçues et appliquées de manière intégrée.

Pendant 50 ans, l'Agence a élaboré des orientations importantes sur la sécurité nucléaire, l'accent ayant à l'origine été mis sur des recommandations relatives à la protection physique des matières nucléaires²¹. Les recommandations de l'Agence ont contribué à alimenter les négociations et les débats consacrés à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires (CPPMN)²², qui a été adoptée en 1979 sous les auspices de l'AIEA. Mais ce sont les attentats terroristes commis le 11 septembre 2001 aux États-Unis d'Amérique qui ont abouti à une réévaluation rapide et approfondie des risques de terrorisme sous toutes ses formes, y compris de la menace de terrorisme nucléaire et radiologique. Ces actes horribles ont rendu encore plus urgente la nécessité de renforcer la sécurité nucléaire, sans attendre qu'un événement de sécurité nucléaire majeur incite la communauté internationale à améliorer la sécurité et à élargir la coopération internationale. Après les attentats terroristes du 11 septembre 2001, les États sont convenus d'améliorer les instruments juridiques internationaux existants, d'en créer de nouveaux pour améliorer la sécurité nucléaire dans le monde, et de renforcer le rôle de l'AIEA. Plus précisément, un amendement destiné à renforcer la CPPMN a été adopté en 2005²³. La Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire a été adoptée par les Nations Unies la même année²⁴.

²¹ AIEA 2011b.

²² Convention sur la protection physique des matières nucléaires, ouverte à la signature le 3 mars 1980 et entrée en vigueur le 8 février 1987 (CPPMN).

²³ Amendement à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, entré en vigueur le 8 mai 2016 (Amendement à la CPPMN).

²⁴ Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, ouverte à la signature le 14 septembre 2005 et entrée en vigueur le 7 juillet 2007.

Le cadre juridique relatif à la sécurité nucléaire se compose actuellement de plusieurs traités complémentaires, des résolutions pertinentes du Conseil de sécurité de l'ONU et de plusieurs instruments non contraignants²⁵. Ces instruments n'ont pas seulement été adoptés par l'AIEA et sous ses auspices, mais aussi par l'ONU et ses institutions spécialisées, en particulier l'Organisation maritime internationale (OMI) et l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), et sous leurs auspices²⁶. Le cadre comprend deux résolutions importantes du Conseil de sécurité de l'ONU, qui ont été adoptées après les attentats terroristes du 11 septembre 2001 en application du Chapitre VII de la Charte des Nations Unies, intitulé « Action en cas de menace contre la paix, de rupture de la paix et d'acte d'agression » [résolutions 1540 (2004) et 1373 (2001)]²⁷. Ces deux résolutions lient tous les États Membres de l'ONU (actuellement 193 États). L'entrée en vigueur de l'Amendement à la CPPMN en 2016 a marqué une étape importante des efforts qui ont été déployés à l'échelle internationale pour renforcer la sécurité nucléaire dans le monde. Il est à noter que la CPPMN²⁸ et son amendement restent les seuls engagements internationaux juridiquement contraignants dans le domaine de la protection physique des matières et des installations nucléaires utilisées à des fins pacifiques.

Afin de fournir un appui aux États, l'AIEA élabore des orientations sur la sécurité nucléaire, qui, comme les normes de sûreté de l'Agence, ont pour objet d'aider les États à établir, mettre en place et maintenir un régime national en matière nucléaire. La collection Sécurité nucléaire de l'AIEA contient des orientations importantes sur la protection physique, qui portent aujourd'hui aussi sur les installations nucléaires²⁹. Le Comité des orientations sur la sécurité nucléaire (NSGC), qui supervise la publication et le réexamen de toutes les publications de la collection, se compose de représentants des États Membres de l'AIEA et accueille des observateurs comme l'Institut mondial de sécurité nucléaire (WINS). En devenant des normes courantes, les orientations de l'AIEA sur la sécurité nucléaire jouiront du même statut que les normes de sûreté de l'Agence. Comme pour la sûreté nucléaire, les services consultatifs facultatifs sur la sécurité nucléaire, tels le Service consultatif international sur la protection

²⁵ AIEA 2011c.

²⁶ La plupart des traités pertinents qui n'ont pas été adoptés sous les auspices de l'AIEA portent principalement sur l'incrimination de certains actes où entrent en jeu des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives, ainsi que sur des aspects connexes, alors que les instruments adoptés sous les auspices de l'AIEA définissent aussi les mesures législatives, administratives et techniques qui permettent d'assurer la protection physique des matières et des installations, en dehors des questions d'incrimination et de coopération internationale.

²⁷ Nations Unies 2004 ; Nations Unies 2001.

²⁸ CPPMN, *supra*, note 22.

²⁹ AIEA 2011b.

physique (IPPAS) et le Service consultatif international sur la sécurité nucléaire (INSServ), contribuent de manière importante à aider les États à établir, maintenir et renforcer leur régime de sécurité nucléaire.

Notre action visant à maintenir et à améliorer des cadres juridiques déjà solides dans le domaine de la sécurité nucléaire doit se poursuivre. Nous vivons dans un monde qui compte de plus en plus d'installations et d'activités nucléaires et connexes, notamment des centrales nucléaires, des laboratoires et d'autres sites concernés par les matières correspondantes. Des individus et des groupes animés d'une intention criminelle ou délictueuse peuvent chercher à exploiter le maillon faible du régime international de sécurité nucléaire pour susciter la peur et la panique. Non seulement de tels actes provoqueraient de l'angoisse, mais ils saperaient aussi la confiance du public, qui est indispensable pour continuer d'utiliser les sciences et techniques nucléaires pour toutes sortes d'applications importantes et vitales.

Comme pour la sûreté nucléaire, la responsabilité de la sécurité nucléaire incombe à chaque pays. Tout le monde considère cependant que la coopération internationale est essentielle pour prévenir le terrorisme nucléaire et que l'AIEA sert de structure mondiale ouverte à cette fin. En dehors des orientations et des recommandations techniques que l'AIEA élabore et aide les États Membres à mettre en œuvre, une partie des activités de l'Agence concerne la fourniture de détecteurs de rayonnements, notamment des détecteurs individuels et des portiques de détection des rayonnements, qui permettent de contrôler les véhicules et les conteneurs dans les ports maritimes et aux postes frontière, ainsi que la formation du personnel. L'AIEA apporte aussi un appui concret dans le domaine de la sécurité nucléaire pour de grandes manifestations publiques. En outre, la position privilégiée de l'Agence lui permet de rapprocher et de coordonner les nombreux efforts importants qui sont déployés dans le monde entier, non seulement par les gouvernements, mais aussi par des groupes de réflexion, des organisations non gouvernementales et d'autres acteurs.

Pour pouvoir éliminer les maillons faibles du régime international de sécurité nucléaire, il est indispensable que tous les États adhèrent aux instruments pertinents et les appliquent pleinement³⁰. Nous continuons de promouvoir l'universalisation de l'Amendement à la CPPMN³¹, notamment en dialoguant avec toutes les parties prenantes aux niveaux national, régional et international. Nous donnons des conseils sur les aspects juridiques pour que ceux-ci soient connus et maîtrisés et présentons les avantages de l'adhésion à cet amendement. Nous apportons également un appui sur des aspects techniques par une assistance

³⁰ La CPPMN compte 164 Parties et l'Amendement 127 Parties (au mois de septembre 2021).

³¹ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 23.

pratique, des conseils d'experts, du matériel et des cours de formation³². Le fait d'avoir mis en place un cadre international plus solide pour la lutte contre le terrorisme nucléaire, de disposer de moyens pour que les personnes impliquées dans des actes de terrorisme et dans d'autres actes criminels où entrent en jeu des matières nucléaires puissent être traduites en justice et ne trouvent refuge nulle part, et d'avoir instauré des mécanismes de coopération internationale et régionale plus solides renforce la sécurité de tous les États, qu'ils détiennent ou non des matières nucléaires.

Conformément à la CPPMN amendée, une conférence des Parties à l'Amendement à la CPPMN a été convoquée afin d'examiner l'application de la Convention et de procéder à son évaluation compte tenu de la situation existant au moment où la conférence aura lieu. Cette conférence offre une excellente occasion d'étudier l'applicabilité de la Convention amendée aux problèmes actuels, y compris aux problèmes naissants, de se pencher sur la mise en œuvre de la Convention amendée et de maintenir la viabilité de celle-ci pour l'avenir.

Les innovations techniques, tels les systèmes de drones aériens ou l'intelligence artificielle, sont un sujet qui suscite un intérêt grandissant et resteront probablement au centre de l'attention dans les prochaines années. Ces nouveautés et leurs applications ouvrent des perspectives, mais posent aussi des défis. D'une part, les technologies émergentes sont indispensables pour apporter des améliorations fonctionnelles et peuvent jouer un rôle appréciable dans le renforcement de la sécurité nucléaire. Ainsi, les technologies qui se font jour dans des domaines tels que l'intelligence artificielle et les mégadonnées ont des applications qui touchent à la détection des événements de sécurité nucléaire, à leur retardement et aux interventions engagées pour y faire face. D'autre part, il faut être conscient des risques supplémentaires que ces technologies peuvent faire courir, en particulier sur le plan de la sécurité de l'information et de la sécurité informatique.

Devant la preuve manifeste et récurrente de la vulnérabilité des systèmes informatiques, l'attention portée à la sécurité informatique s'est intensifiée ces dix dernières années. Alors que le recours à l'intelligence artificielle et aux systèmes de contrôle et de sûreté numériques se développe, y compris pour les dispositifs qui servent à détecter les défaillances et à arrêter les centrales, des événements récents ont de nouveau montré qu'il fallait renforcer la cybersécurité. L'AIEA fournit un appui important concernant l'étude des nouvelles technologies pour

³² Voir AIEA 2021a.

des applications de sécurité nucléaire³³. L'adaptation de la sécurité nucléaire aux nouvelles technologies implique de veiller à ce que celles-ci soient conformes aux prescriptions de sécurité et au cadre législatif et réglementaire. Pour y parvenir, il faut renforcer la coopération entre le secteur public et le secteur privé. Les nouvelles technologies devraient continuer d'occuper une place importante dans le débat mondial, que ce soit dans le cadre de la Conférence d'examen de la CPPMN amendée, de l'élaboration d'orientations dans la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA ou de conférences ministérielles importantes sur la sécurité nucléaire, que l'Agence organise depuis 2013³⁴.

L'Agence joue un rôle central reconnu en renforçant le cadre de sécurité nucléaire dans le monde et en coordonnant les activités internationales dans ce domaine, notamment par la coopération avec d'autres organisations internationales et diverses initiatives en matière de sécurité nucléaire. Il est indispensable que nous gardions tous une longueur d'avance dans la prévention du terrorisme nucléaire. Le Centre de formation et de démonstration en matière de sécurité nucléaire de l'AIEA, qui sera bientôt opérationnel, renforcera le rôle central de l'Agence dans ce domaine d'importance internationale en assurant des formations dans des bâtiments ultramodernes.

Des garanties efficaces sont une composante essentielle du droit nucléaire, tout comme les hauts niveaux de sûreté et de sécurité évoqués plus haut. Le système des garanties de l'AIEA est apparu à une époque où l'on craignait beaucoup que les armes nucléaires finissent par occuper une place prépondérante dans les arsenaux de nombreux pays. Le fait que cette situation ne s'est pas produite montre l'importance du troisième pilier du droit nucléaire, qui est au cœur de la mission et de l'histoire de l'Agence, à savoir garantir que les matières et techniques nucléaires sont utilisées uniquement à des fins pacifiques. La définition et l'application de mesures de garanties sont donc devenues une

³³ Voir AIEA 2021a. Le Plan sur la sécurité nucléaire pour 2022-2025 qui a été établi par l'AIEA affirme que l'Agence a notamment le rôle reconnu d'aider les États qui le demandent à renforcer la protection des systèmes informatiques, compte tenu des menaces qui pèsent sur la sécurité nucléaire et qui découlent des cyberattaques contre des installations liées au nucléaire, et à renforcer la protection des activités associées.

³⁴ Ces conférences permettent à des ministres, à des responsables politiques, à de hauts fonctionnaires et à des experts en sécurité nucléaire d'exprimer et d'échanger des vues sur les expériences acquises et les réalisations accomplies, les approches actuelles, les orientations futures et les priorités en matière de sécurité nucléaire, y compris pour le cadre juridique.

activité essentielle de l'AIEA, en vertu de son Statut³⁵. À ce titre, l'Agence est reconnue depuis 60 ans comme l'autorité internationale chargée de vérifier et de garantir que les États ne mettent pas au point d'armes nucléaires.

Les responsabilités et la charge de travail associées aux garanties de l'AIEA augmentent régulièrement depuis la conclusion du premier accord de garanties, en 1959. À l'époque, il n'y avait qu'une seule installation nucléaire soumise aux garanties de l'AIEA, contre 156 installations nucléaires dans 32 États en 1971. Cinquante ans après 1970, année où le TNP est entré en vigueur, l'AIEA a mené 2 034 inspections dans plus de 1 300 installations et emplacements hors installation soumis aux garanties dans 183 États en 2020. Même dans des périodes très complexes, par exemple pendant la pandémie de COVID-19, les activités de vérification de l'Agence ne cessent pas un seul instant. Un cadre juridique efficace et solide est indispensable pour que le système des garanties soit fiable à l'échelle mondiale.

L'AIEA a commencé à appliquer des garanties peu après sa création, le premier accord de garanties ayant été conclu avec le Canada et le Japon en 1959. Au titre de cet accord, un seul petit réacteur de recherche et son combustible étaient soumis aux garanties de l'Agence. Entre 1959 et 1971, 32 États ont signé

³⁵ AIEA 1989, article III.A.5. En 1957, il était également prévu que l'Agence joue un rôle majeur comme intermédiaire pour obtenir d'un de ses membres qu'il fournisse à un autre membre des services, des produits, de l'équipement ou des installations. Cette activité n'a pas pris les proportions attendues, mais s'exerce dans le cadre de projets de l'AIEA et de la conclusion d'« accords de projet et de fourniture », qui imposent d'appliquer les garanties de l'Agence aux éléments fournis (*Ibid.*, article XI). À cet égard, il convient également de noter que des approches multilatérales du cycle du combustible nucléaire ont été élaborées, avec la participation de l'AIEA. Elles concernaient la partie initiale du cycle du combustible nucléaire. La première initiative de ce type a été le Centre international d'enrichissement d'uranium, créé officiellement par l'AIEA et le Gouvernement russe en mars 2010, et détenu et exploité par la Fédération de Russie. La deuxième est la banque d'uranium faiblement enrichi de l'AIEA, détenue par l'Agence et installée au Kazakhstan, qui est opérationnelle depuis octobre 2019.

avec l'AIEA des accords de garanties relatifs à des éléments particuliers³⁶, dans le cadre desquels l'AIEA appliquait les garanties uniquement aux éléments (matières nucléaires, installations ou équipement) mentionnés dans ces accords. Alors que les garanties relatives à des éléments particuliers ont été la norme pendant environ 15 ans avant 1971, l'Agence ne met aujourd'hui en œuvre des garanties au titre d'un accord relatif à des éléments particuliers que pour trois États, qui ne sont parties ni au TNP, ni à un traité portant création d'une zone exempte d'armes nucléaires : l'Inde, Israël et le Pakistan.

Les activités de l'AIEA relatives aux garanties ont radicalement changé après l'entrée en vigueur du TNP³⁷ en 1970. Les États non dotés d'armes nucléaires (ENDAN) qui sont parties à ce traité³⁸ doivent conclure un accord de garanties dites « généralisées » ou « intégrales » (AGG) avec l'Agence, qui s'applique à « toutes matières brutes ou tous produits fissiles spéciaux dans toutes les activités nucléaires pacifiques exercées sur le territoire d'un [...] État, sous sa juridiction, ou entreprises sous son contrôle en quelque lieu que ce soit ». Ce type d'accord permet à l'AIEA de vérifier l'exécution des obligations qui incombent aux ENDAN au titre de l'article III du TNP en vue d'empêcher que l'énergie nucléaire ne soit détournée de ses utilisations pacifiques vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs nucléaires explosifs. Un AGG est établi à partir du document intitulé « Structure et contenu des accords à conclure entre l'Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires », qui a été adopté par le Conseil des gouverneurs en avril 1971 (INFCIRC/153)³⁹. En septembre 2021, des AGG étaient en vigueur pour 178 ENDAN parties au

³⁶ Les accords de garanties relatifs à des éléments particuliers étaient le premier type d'accords de garanties, qui était généralement imposé par l'accord bilatéral de coopération signé entre États. L'accord de garanties lui-même était conclu entre l'AIEA et l'État destinataire (et parfois également avec l'État fournisseur). Des accords de garanties relatifs à des éléments particuliers ont été conclus conformément aux modalités d'application des garanties qui sont décrites dans plusieurs documents successifs : système initial des garanties, INFCIRC/26 (pour les réacteurs de recherche dont la puissance thermique est inférieure à 100 MW) et INFCIRC/26/Add.1 (qui porte sur tous les réacteurs) ; système révisé, publié pour la première fois dans le document INFCIRC/66 (établi à partir de INFCIRC/26/Add.1) et élargi dans les documents INFCIRC/66/Rev.1 (où sont ajoutées les usines de retraitement) et INFCIRC/66/Rev.2 (où sont ajoutées les usines de conversion et les usines de fabrication de combustible) (AIEA 1961, 1964, 1966, 1967 et 1968, respectivement).

³⁷ Reproduit dans AIEA 1970.

³⁸ TNP, *supra*, note 1.

³⁹ AIEA 1975.

TNP⁴⁰ et huit autres ENDAN parties au TNP devaient encore mettre en vigueur un AGG conformément au Traité. Des AGG sont également imposés par les traités régionaux qui portent création de zones exemptes d'armes nucléaires⁴¹.

Les cinq États dotés d'armes nucléaires qui sont parties au TNP – Chine, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, France et Royaume-Uni – ont conclu des accords de soumission volontaire (ASV) avec l'AIEA. Ces accords montrant aux ENDAN qu'ils ne seraient pas désavantagés sur le plan commercial en raison de l'application d'un AGG dans le cadre du TNP ont été signés afin d'encourager une large adhésion au Traité. Ils ont eux aussi été établis à partir du document adopté par le Conseil des gouverneurs en 1971⁴², et contiennent les mêmes modalités d'application des garanties que les AGG, mais leur champ d'application est différent⁴³. De grandes quantités de plutonium qui sont produites lors de la transformation du combustible usé sont soumises aux garanties de l'AIEA au titre des ASV conclus avec les États dotés d'armes nucléaires.

Concernant la mise en œuvre des garanties, plusieurs problèmes sont apparus depuis que l'AIEA existe. Pendant les 20 premières années d'application des garanties dans les États dotés d'un AGG, les activités relatives aux garanties consistaient principalement à vérifier les matières et installations nucléaires déclarées par ces États (c'est-à-dire à vérifier l'exactitude des déclarations des États et à garantir qu'il n'y avait aucun détournement de matières nucléaires dans les États en question). Sur cette période, l'application de garanties « classiques » pour les matières et installations nucléaires déclarées par les États dans le cadre d'un AGG reposait sur des méthodes de contrôle et des critères de garanties qui définissaient la portée, la fréquence et l'ampleur des activités de vérification nécessaires pour atteindre les objectifs des inspections menées par l'Agence.

⁴⁰ Pour 33 États, l'AGG est également conclu dans le cadre du Traité visant l'interdiction des armes nucléaires en Amérique latine et dans les Caraïbes (Traité de Tlatelolco) et, pour un État, l'AGG est également conclu dans le cadre du Traité de Bangkok. Deux AGG [reproduits dans les documents INFCIRC/193 (AIEA 1973) et INFCIRC/435 (AIEA 1994)] ont été signés par deux États parties ou plus et par les organisations régionales qui sont concernées par les garanties et dont ils sont membres – l'Agence brésilienne-argentine de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires (ABACC) et la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom).

⁴¹ Des zones exemptes d'armes nucléaires ont déjà été créées en Amérique latine et dans les Caraïbes, dans le Pacifique Sud, en Asie du Sud-Est, en Afrique et en Asie centrale.

⁴² AIEA 1975.

⁴³ Pour un ASV, l'Agence applique des garanties aux matières nucléaires dans les installations ou parties d'installations qui ont été proposées par l'État concerné pour l'application des garanties de l'Agence et que celle-ci a sélectionnées sur la liste des installations susceptibles d'être inspectées qui a été dressée par l'État en question, afin de vérifier que ces matières ne sont pas retirées des garanties, si ce n'est conformément aux dispositions de l'accord.

Au début des années 1990, la découverte de matières et d'activités nucléaires non déclarées par l'Iraq, y compris le programme clandestin d'armement nucléaire de ce pays, a montré la nécessité, dans le cadre des activités de garanties de l'AIEA, de prendre davantage en considération l'État doté d'un AGG dans son ensemble (c'est-à-dire de vérifier également l'exhaustivité des déclarations de l'État afin que l'AIEA puisse donner l'assurance crédible qu'il n'y a aucune matière ou activité nucléaire non déclarée au niveau de l'État dans son ensemble). Après cette découverte, à laquelle se sont ajoutés la détection par l'AIEA de plutonium peut-être non déclaré en République populaire démocratique de Corée (RPDC) en 1992 et les enseignements tirés de la vérification en 1993 par l'Agence de l'exhaustivité des déclarations faites par l'Afrique du Sud au titre de son AGG, des efforts ont été déployés pour renforcer la capacité de l'AIEA à veiller à ce que les garanties soient appliquées conformément à l'AGG pour toutes les matières nucléaires, dans les États qui sont dotés d'un tel accord. L'expérience acquise presque au même moment en Iraq, en RPDC et en Afrique du Sud a fortement orienté les actions qui ont été menées ultérieurement par l'AIEA pour renforcer le système des garanties.

L'expérience acquise en Iraq, en RPDC et en Afrique du Sud est directement à l'origine du « Programme 93+2 » lancé en 1993. Il s'agissait alors de l'effort le plus notable pour renforcer l'efficacité et améliorer l'efficience du système des garanties de l'AIEA, y compris son cadre juridique. Les mesures définies par ce programme visaient à améliorer la capacité de l'Agence à détecter des matières et activités nucléaires non déclarées dans les États qui étaient dotés d'un AGG. Certaines de ces mesures (communication rapide de renseignements descriptifs pour les nouvelles installations, échantillonnage de l'environnement et utilisation de l'imagerie satellitaire, par exemple) pouvaient être mises en œuvre en vertu des pouvoirs conférés par les AGG, tandis que d'autres⁴⁴ exigeaient des pouvoirs juridiques complémentaires. En mai 1997, le Conseil des gouverneurs a approuvé le modèle de Protocole additionnel⁴⁵, qui contient les mesures recommandées et marque l'aboutissement des efforts déployés pour « renforcer l'efficacité et améliorer l'efficience du système des garanties à titre de contribution aux objectifs globaux de non-prolifération nucléaire ».

⁴⁴ Ces mesures comprennent la communication par les États de renseignements sur les activités de recherche-développement relatives au cycle du combustible où n'entrent pas en jeu des matières nucléaires, sur les mines d'uranium, sur les usines de concentration de thorium et d'uranium, sur la fabrication d'équipements liés au nucléaire, sur la transformation des déchets de moyenne ou de haute activité et sur les exportations d'équipements et de matières non nucléaires spécifiés, et un plus large accès aux emplacements dans l'État.

⁴⁵ AIEA 1997.

Le modèle de Protocole additionnel a permis de renforcer sensiblement les garanties de l'Agence. Sans ce modèle, l'action des inspecteurs est limitée. Il donne à ces derniers le pouvoir de procéder à un examen approfondi, ce qui permet à l'AIEA d'assurer au monde avec plus de certitude qu'aucune matière nucléaire n'a disparu ou n'a été détournée. Les informations supplémentaires et l'accès plus large de l'AIEA prévus par le modèle de Protocole additionnel visent à combler les lacunes relatives aux informations et à l'accès requis dans le cadre des AGG. Ce modèle est donc indispensable pour que l'Agence puisse avoir une connaissance plus complète des programmes nucléaires existants et prévus, des activités du cycle du combustible et des matières nucléaires détenues par les États qui sont dotés d'un AGG. En conséquence, l'entrée en vigueur et l'application d'un protocole additionnel (PA) dans ces États revêtent une importance capitale pour que l'AIEA puisse fournir des assurances quant au caractère exclusivement pacifique du programme nucléaire d'un État.

Pour un État où un AGG et un PA sont en vigueur, l'AIEA peut donner des assurances crédibles non seulement quant au non-détournement de matières nucléaires déclarées dans le cadre d'activités nucléaires déclarées, mais aussi quant à l'absence de matières ou d'activités nucléaires non déclarées au niveau de l'État dans son ensemble, et peut donc tirer une « conclusion élargie » pour l'État concerné, selon laquelle toutes les matières nucléaires restent affectées à des activités pacifiques. En septembre 2021, des PA étaient en vigueur dans 138 États : 132 États où un AGG était en vigueur, cinq États où un ASV était en vigueur et un État où un accord de garanties relatif à des éléments particuliers était en vigueur. Quarante-sept États doivent encore mettre en vigueur un PA à leur accord de garanties.

La modification des prescriptions, des postulats et des conditions aux limites, et l'amélioration constante des moyens techniques et des méthodes de contrôle ont joué un rôle dans l'évolution des garanties de l'AIEA. Le changement des exigences fixées pour les garanties de l'AIEA et les modifications correspondantes du cadre juridique s'expliquent par l'évolution progressive des besoins des États en matière de sécurité. Ces besoins changent et l'AIEA continue de s'y adapter.

L'évolution constante des garanties applicables aux petites quantités de matières nucléaires, qui peuvent aussi induire un risque de prolifération, parce que les moyens techniques permettant de produire ou de traiter des matières nucléaires augmentent, constitue un exemple marquant de l'importance de s'adapter aux nécessités du moment. Le premier protocole relatif aux petites quantités de matières (PPQM) à un AGG a été présenté par l'AIEA en 1974 pour réduire au minimum la charge que faisait peser l'application des garanties dans les États qui étaient dotés d'un AGG et où il y avait peu ou pas d'activités nucléaires. Le PPQM d'origine a toutefois longtemps été considéré comme un point faible

du système des garanties de l'AIEA. Dans le cadre du PPQM d'origine, l'Agence ne reçoit pas de renseignements descriptifs sur une installation à un stade précoce de la construction d'une installation nucléaire, ni de rapport initial sur toutes les matières nucléaires, et ne peut pas mener d'activités de vérification sur le territoire de l'État concerné. En 2005, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a donc modifié le PPQM et a appelé tous les États ayant un PPQM à modifier ou à résilier leur protocole (selon le cas) par un échange de lettres dans les meilleurs délais. En application d'un PPQM modifié, l'État doit soumettre un rapport initial sur toutes les matières nucléaires et communiquer rapidement les renseignements descriptifs pertinents, et l'Agence peut mener des activités de vérification sur le territoire de l'État concerné⁴⁶.

Il est devenu de plus en plus difficile à l'AIEA de tirer chaque année des conclusions relatives aux garanties crédibles et solidement étayées pour les États qui n'ont pas encore modifié ou résilié le PPQM fondé sur le modèle initial. En 2020 et en 2021, l'Agence a donc redoublé d'efforts pour exhorter les États qui ne l'ont pas fait à modifier ou à résilier leur PPQM par un échange de lettres. Au 24 septembre 2021, 96 États avaient un PPQM à leur AGG opérationnel et en vigueur, dont 69 un PPQM fondé sur le modèle révisé. Dix États avaient aussi résilié leur PPQM. Vingt-sept États devaient encore modifier leur PPQM opérationnel fondé sur le modèle initial.

Dans le cadre de l'application des garanties, l'AIEA doit s'adapter aux progrès des techniques nucléaires. De nouveaux équipements et de nouvelles matières sont utilisés dans des activités du cycle du combustible, mais ne sont pas soumis à l'obligation de déclaration à l'Agence. Afin de s'adapter à l'évolution des techniques nucléaires, les États Membres pourraient envisager d'actualiser la liste des équipements nucléaires et des matières non nucléaires qui jouent un rôle dans le cycle du combustible⁴⁷ et figurent dans le modèle de Protocole additionnel. Cette mise à jour permettrait à l'AIEA d'avoir un tableau plus

⁴⁶ AIEA 2006b.

⁴⁷ Voir AIEA 1997, annexes I et II.

complet des progrès techniques et de vérifier d'autres activités et éléments utiles pour le cycle du combustible et les garanties⁴⁸.

Pour que les garanties restent efficaces à l'échelle nationale, il faut surtout disposer d'une législation et d'une réglementation solides et conformes aux obligations internationales en matière de garanties. L'Agence a activement fourni une assistance législative et réglementaire aux États, y compris pour les garanties. À titre complémentaire, elle peut apporter une aide pour renforcer les fonctions réglementaires des autorités nationales, notamment en fournissant un appui pour l'élaboration d'une réglementation relative aux garanties. La nouvelle initiative COMPASS contribue à améliorer les cadres juridiques nationaux. Lancée à la Conférence générale de l'AIEA en 2020, elle instaure un partenariat avec les États pour les aider à renforcer l'efficacité de leur autorité nationale chargée de l'application des garanties et de leur système national de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires.

L'Agence a élaboré d'importants instruments juridiques relatifs aux garanties, qui sont en vigueur dans de nombreux États. Tous les États n'ont cependant pas adhéré à ces instruments. En matière de garanties, le principal obstacle à la pleine efficacité des garanties généralisées est l'absence d'universalité. Du point de vue de l'Agence, l'universalité sera effective lorsque les conditions suivantes seront remplies : tous les ENDAN parties au TNP⁴⁹ auront exécuté l'obligation qui leur incombe au titre du paragraphe 1 de l'article III du Traité, à savoir mettre en vigueur un AGG conclu avec l'AIEA (huit ENDAN parties au Traité ne l'ont pas encore fait) ; tous les États où un AGG est en vigueur auront mis en vigueur un PA à leur accord (47 États ne l'ont pas encore fait) ; tous les États dotés d'un AGG et d'un PPQM d'origine auront modifié ou résilié leur PPQM (27 États ne l'ont pas encore fait). L'AIEA mène

⁴⁸ S'agissant de l'annexe II du document AIEA 1997, on sait que, depuis le moment où le Conseil a approuvé le modèle de Protocole additionnel (mai 1997), les membres du Groupe des fournisseurs nucléaires (GFN) ont actualisé la « liste de base » six fois pour tenir compte des progrès accomplis sur les équipements nucléaires, notamment sur les réacteurs et les composants, les matières non nucléaires pour réacteurs et les usines de retraitement, de fabrication de combustible, de production d'eau lourde et de conversion d'uranium et de plutonium pour la fabrication de combustible et la séparation des isotopes de l'uranium. Il y a plus de 15 ans, l'AIEA avait déjà fait observer que la mise à jour des listes « permettrait au système des garanties de l'Agence de suivre l'évolution de la technologie nucléaire, et les informations qu'elle permettrait d'obtenir contribueraient à améliorer la transparence des activités nucléaires d'un État et la compréhension de ces activités par l'Agence. Cela contribuerait en outre à renforcer la confiance dans la finalité exclusivement pacifique des activités ajoutées dans l'annexe I, ainsi que des équipements et matières non nucléaires ajoutés dans l'annexe II ». Voir AIEA 2006c.

⁴⁹ TNP, *supra*, note 1.

une action de sensibilisation à l'importance de ces instruments, aide les États à y adhérer et coopère au plus haut niveau pour leur mise en œuvre. Je suis certain que, en poursuivant dans cette direction, l'Agence veillera à ce que la crédibilité de ses garanties soit une caractéristique durable du paysage nucléaire.

Concernant les pouvoirs de l'Agence en matière de garanties, le dernier point important a trait au respect des accords de garanties et aux activités de vérification et de contrôle supplémentaires. Le Directeur général a signalé à plusieurs reprises au Conseil des gouverneurs les problèmes d'application des garanties rencontrés dans des États dotés d'un AGG. Dans certains cas, le Conseil a jugé que ces États ne respectaient pas leurs obligations en matière de garanties, ce qui a été signalé au Conseil de sécurité de l'ONU⁵⁰. Un accord international sur des mesures de confiance a parfois été trouvé, de sorte qu'il a été demandé à l'AIEA de procéder à une vérification et à un contrôle renforcés d'un programme nucléaire. Ces activités s'ajoutaient à celles qui étaient prévues par l'accord de garanties ou par son protocole.

Grâce à son Statut, l'AIEA a pu mener « d'autres activités de vérification » pour donner confiance dans le fait que les activités nucléaires restent pacifiques, notamment les inspections menées en Iraq entre 1991 et 2009 conformément aux résolutions pertinentes du Conseil de sécurité de l'ONU, la vérification des mesures de gel des installations nucléaires en RPDC au titre du Cadre agréé entre les États-Unis d'Amérique et la République populaire démocratique de Corée entre 1994 et 2002, les activités de contrôle et de vérification menées en RPDC entre 2007 et 2009 dans le cadre des pourparlers à six, et la vérification et le contrôle du respect des engagements pris par la République islamique d'Iran en matière nucléaire au titre du Plan d'action global commun. Conformément à son pouvoir statutaire, l'Agence a mené un large éventail d'activités de vérification à la demande d'États et avec l'accord du Conseil des gouverneurs, contribuant ainsi au maintien de la paix et de la sécurité internationales. Comme le développement des activités nucléaires se poursuivra dans le monde entier, les vérifications effectuées par l'AIEA continueront de jouer un rôle essentiel en assurant un avenir pacifique dans le domaine nucléaire.

Le droit nucléaire permet d'obtenir un haut niveau de sûreté, de sécurité et de garanties, mais prévoit aussi des mécanismes d'indemnisation adéquate et rapide dans le cas peu probable où un accident nucléaire se produirait. Il s'agit du domaine important de la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, quatrième pilier du droit nucléaire. Ce pilier a tout d'abord été érigé dans les années 1960, compte tenu de l'ampleur possible des dommages nucléaires, de leurs effets transfrontières et du besoin correspondant de créer un régime spécial de responsabilité pour faciliter l'indemnisation des victimes et répondre aux

⁵⁰ Voir AIEA 1972, par. 19.

préoccupations économiques de l'industrie nucléaire et des compagnies d'assurance. Il a pris la forme de la Convention de Paris⁵¹, adoptée en 1960 sous les auspices de l'ex-Organisation européenne de coopération économique [rebaptisée depuis Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE)]⁵², et de la Convention de Vienne⁵³, adoptée en 1963 sous les auspices de l'AIEA.

Les conventions fixent des règles uniformes et sont destinées à faciliter l'indemnisation des dommages transfrontières. Elles reposent sur plusieurs principes généraux, notamment la responsabilité exclusive de l'exploitant d'une installation nucléaire, et le fait que l'exploitant est objectivement responsable pour un montant minimum de responsabilité, lui-même garanti par une couverture financière obligatoire, généralement sous la forme d'une assurance.

L'accident survenu à Tchernobyl en 1986 a eu une incidence sur le régime international de responsabilité nucléaire, au-delà des conséquences pour la sûreté nucléaire décrites plus haut. Les États ont réagi en modernisant les instruments des années 1960 relatifs à la responsabilité nucléaire, en adoptant de nouveaux et en établissant des liens entre eux⁵⁴. L'adoption du Protocole d'amendement de la Convention de Vienne et de la Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires en 1997 sous les auspices de l'AIEA a constitué une étape

⁵¹ Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, ouverte à la signature le 29 juillet 1960 et entrée en vigueur le 1^{er} avril 1968 (Convention de Paris).

⁵² Le régime de Paris se compose de la Convention de Paris amendée par le Protocole additionnel du 28 janvier 1964 et par le Protocole du 16 novembre 1982, conclus sous les auspices de l'OCDE et ouverts aux pays membres de l'OCDE, ainsi qu'à d'autres États si toutes les Parties donnent leur accord. À cette convention s'ajoute la Convention complémentaire de Bruxelles, adoptée en 1963 et amendée par le Protocole additionnel du 28 janvier 1964 et par le Protocole du 16 novembre 1982, qui augmente l'indemnité financière versée en cas de dommages nucléaires au moyen de fonds publics nationaux et internationaux. Ces deux conventions ont été amendées par des protocoles adoptés en 1964 et en 1982.

⁵³ Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, ouverte à la signature le 21 mai 1963 et entrée en vigueur le 12 novembre 1977 (Convention de Vienne).

⁵⁴ Sous les auspices de l'AIEA, les États ont adopté les textes suivants : Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris, ouvert à la signature le 21 septembre 1988 et entré en vigueur le 27 avril 1992 (Protocole commun) (voir également AIEA 2013b) ; Convention de Vienne ; Protocole d'amendement de la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, ouvert à la signature le 29 septembre 1997 et entré en vigueur le 4 octobre 2003 (Protocole de Vienne de 1997) ; Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 15 avril 2015 (CRC) (voir également AIEA 2020c). Sous les auspices de l'OCDE, les Conventions de Paris et de Bruxelles seront à nouveau modifiées par les protocoles adoptés le 12 février 2004, qui devraient entrer en vigueur au début de l'année 2022 : Protocole portant modification de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine nucléaire, qui est ouvert à la signature depuis le 12 février 2004 et n'est pas encore en vigueur ; Protocole portant modification de la Convention complémentaire de Bruxelles sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, qui est ouvert à la signature depuis le 12 février 2004 et n'est pas encore en vigueur.

majeure de l'évolution du régime international de responsabilité nucléaire. Ces deux instruments apportent des améliorations importantes en ce qui concerne le montant de la réparation, la couverture des dommages et la compétence juridictionnelle.

Plus récemment, l'accident survenu en 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a rendu évidente la nécessité de mettre en place des mécanismes de responsabilité avant qu'un accident ne se produise et d'augmenter le nombre d'États ayant des relations conventionnelles, afin d'instaurer un véritable régime mondial de responsabilité nucléaire. À la suite de l'appel lancé dans le Plan d'action de l'AIEA sur la sûreté nucléaire adopté en 2011, le Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX), organe consultatif d'experts qui rend compte au Directeur général de l'AIEA, a adopté en 2012 des recommandations sur les mesures destinées à faciliter la mise en place d'un régime mondial de responsabilité nucléaire et à mieux protéger les victimes de dommages nucléaires⁵⁵. Plus de dix ans après l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi et l'adoption du Plan d'action, l'Agence axe encore son action sur la création d'un tel régime.

La Conférence générale annuelle de l'AIEA continue d'encourager les États Membres à examiner dûment la possibilité d'adhérer aux instruments relatifs à la responsabilité nucléaire et à œuvrer en faveur de l'instauration d'un régime mondial fondé sur les principes de la responsabilité nucléaire. Depuis l'entrée en vigueur de la CRC en avril 2015, la communauté internationale a fait un pas de plus dans cette direction. Cette convention met en place le cadre d'établissement d'un régime mondial susceptible de bénéficier d'une large adhésion des pays nucléaires et non nucléaires. Elle est aujourd'hui l'instrument unique qui s'applique au plus grand nombre de réacteurs nucléaires de puissance du monde. Un régime répondant aux préoccupations de tous les États qui pourraient être touchés par un accident nucléaire est à notre portée. Nous devons donc continuer de promouvoir une plus large adhésion aux instruments relatifs à la responsabilité nucléaire qui ont été adoptés sous les auspices de l'AIEA⁵⁶.

L'électronucléaire, thème transversal du droit nucléaire, est d'une importance primordiale et exige toute notre attention, car il occupe une place de plus en plus essentielle dans les bouquets énergétiques à faible émission de carbone. L'exploitation de centrales nucléaires impose une vigilance particulière

⁵⁵ AIEA 2012b.

⁵⁶ La Convention de Vienne (*supra*, note 53) ne compte que 43 Parties, le Protocole de Vienne de 1997 (*supra*, note 54) 15 Parties, la CRC (*supra*, note 54), qui est finalement entrée en vigueur en 2015, 11 Parties (mais s'applique à environ 177 réacteurs) et le Protocole commun (*supra*, note 7) 31 Parties. La plupart des États qui sont parties à la Convention de Paris sont également parties au Protocole commun, mais aucun d'entre eux n'est partie à la CRC. En outre, quelques pays dotés de centrales nucléaires ne sont pas encore parties à ces instruments.

en matière de sûreté, de sécurité et de garanties. Plus de 440 réacteurs de puissance sont en service dans le monde. Ils représentent environ 10 % de la production totale d'électricité et plus d'un quart de la production totale d'électricité bas carbone. Sur plus de 50 réacteurs actuellement en construction, neuf se trouvent dans des pays primo-accédants. Quelque 28 pays ont exprimé leur intérêt pour l'électronucléaire et envisagent, prévoient ou s'efforcent activement de l'intégrer dans leur bouquet énergétique. Vingt-quatre autres États Membres participent aux activités de l'AIEA relatives à l'infrastructure nucléaire ou à des projets de planification énergétique menés dans le cadre du programme de coopération technique⁵⁷. Afin de favoriser le développement nucléaire, des solutions de financement et des politiques d'appui novatrices, notamment proposées par des institutions de financement du développement, seront très utiles pour faciliter la transition vers une économie à faibles émissions de carbone.

Lancer un programme électronucléaire est une entreprise considérable qui nécessite une planification et une préparation minutieuses et à laquelle il faut consacrer du temps, des moyens institutionnels et des ressources humaines. La décision de lancer un programme électronucléaire suppose de prendre l'engagement de se servir de l'électronucléaire dans de bonnes conditions de sûreté et de sécurité et à des fins pacifiques. Cet engagement consiste notamment à adhérer à tous les instruments juridiques internationaux pertinents, ce qui est normalement attendu par les États Membres de l'AIEA. Le cadre juridique international fixe des obligations minimales et permet d'assurer la sûreté et la sécurité. L'expérience actuelle de construction de nouveaux réacteurs nucléaires montre la place à accorder au développement d'une infrastructure nucléaire nationale de qualité, y compris d'un cadre législatif et réglementaire de sécurité nucléaire efficace et complet. Il importe que le cadre juridique soit solide afin que les niveaux de sûreté et de sécurité restent élevés⁵⁸.

Le choix du site d'une centrale nucléaire peut provoquer une controverse politique, surtout si le site est proche d'une frontière ou d'une voie navigable commune. Il peut susciter des préoccupations juridiques et politiques particulières, surtout dans les pays voisins. Le nombre de pays qui cherchent à lancer un programme électronucléaire et à construire des centrales nucléaires étant en augmentation, il faut engager des discussions approfondies sur des mécanismes

⁵⁷ AIEA 2021b.

⁵⁸ La publication consacrée à l'approche par étapes est la principale publication dont les États Membres peuvent se servir pour l'élaboration de programmes électronucléaires nouveaux ou en expansion (AIEA 2019). Elle est étayée par les missions d'examen intégré de l'infrastructure nucléaire (INIR), qui fournissent des évaluations par des experts et par des pairs pour aider les États Membres qui en font la demande à déterminer le stade de développement de leur infrastructure nucléaire et leurs besoins en la matière.

efficaces et harmonisés permettant de régler les problèmes transfrontières, y compris les questions d'impact sur l'environnement. De tels mécanismes peuvent contribuer à éviter ou à réduire au minimum des litiges qui peuvent remettre en cause le rôle important de l'énergie nucléaire.

Les questions connexes qui se posent sont celles du droit d'accès aux informations sur l'environnement et de la participation du public au processus décisionnel et de l'accès à la justice en matière d'environnement. À cet égard, une des initiatives régionales récentes lancées à l'échelle régionale est l'Accord régional sur l'accès à l'information, la participation publique et l'accès à la justice à propos des questions environnementales en Amérique latine et dans les Caraïbes (Accord d'Escazú)⁵⁹. Il convient de noter qu'il s'agit du premier traité international consacré à l'environnement en Amérique latine et dans les Caraïbes⁶⁰.

Les nouvelles technologies constituent un autre thème transversal important du droit nucléaire, surtout avec l'arrivée des réacteurs avancés, notamment les PRM et les centrales nucléaires transportables. Plusieurs États Membres poursuivent leurs activités de recherche, de mise au point ou de construction de réacteurs à fission avancés, qui peuvent être des réacteurs évolutifs ou des réacteurs innovants, dans lesquels le caloporteur et le modérateur peuvent ne pas être de l'eau, mais un gaz, des sels fondus ou des métaux liquides⁶¹. Ces réacteurs de dernière génération sont généralement conçus pour produire jusqu'à 300 MW d'électricité, et sont constitués de composants et de systèmes qui peuvent être fabriqués en atelier, puis transportés sous forme de modules jusqu'au site pour y être installés lorsque cela est nécessaire. Plus de 70 modèles de PRM sont actuellement à divers stades de conception et de mise au point, et quelques-uns sont en passe d'être déployés.

⁵⁹ Accord régional sur l'accès à l'information, la participation publique et l'accès à la justice à propos des questions environnementales en Amérique latine et dans les Caraïbes, ouvert à la signature le 27 septembre 2018 et entré en vigueur le 22 avril 2021 (Accord d'Escazú).

⁶⁰ Cet accord a été adopté par les représentants des 24 États membres de la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC) à la neuvième réunion du comité de négociation, le 4 mars 2018 à Escazú (Costa Rica). Il est ouvert aux 33 pays d'Amérique latine et des Caraïbes et a été ratifié par 12 pays sur les 24 signataires. Après l'adhésion de l'Argentine et du Mexique le 22 janvier 2021, l'Accord est entré en vigueur le 22 avril 2021. Son objet est de garantir la mise en œuvre pleine et effective en Amérique latine et dans les Caraïbes des droits d'accès à l'information, à la participation publique aux processus décisionnels environnementaux et à la justice à propos des questions environnementales, ainsi que la création et le renforcement des capacités et de la coopération, contribuant à la protection du droit de toute personne, des générations présentes et futures, à vivre dans un environnement sain et au développement durable.

⁶¹ AIEA 2020d.

Comme les grands réacteurs nucléaires, les PRM produisent de l'énergie à faible émission de carbone, mais ils sont plus petits, plus modulables et moins coûteux. Ils constituent un moyen flexible de produire de l'électricité pour un large éventail d'utilisateurs et d'applications, et peuvent remplacer des centrales à combustible fossile vieillissantes. Ils peuvent aussi être raccordés à des réseaux électriques plus petits, notamment dans les pays en développement, et être construits dans des endroits difficiles d'accès, par exemple dans des localités reculées, où les infrastructures sont moins développées et où il serait difficile d'implanter un grand réacteur. Les principales raisons de la mise au point de PRM sont les caractéristiques propres de ces réacteurs : petite taille, recours à des techniques novatrices, conception modulaire et méthodes de déploiement plus souples. Les approches novatrices de la conception et du déploiement des PRM et les différences par rapport aux projets de construction de centrales nucléaires fixes, par exemple sur le plan de la fabrication et des essais en usine, ainsi que les nouvelles méthodes de construction et de mise en service, offrent l'occasion d'adopter des approches sur mesure, notamment pour la délivrance des licences. Les normes de sûreté de l'AIEA peuvent globalement être appliquées aux PRM, mais les experts internationaux du Forum des responsables de la réglementation des petits réacteurs modulaires sont en train d'élaborer une solution sur mesure pour aider les autorités nationales à réglementer cette nouvelle catégorie de réacteurs. Dans certaines instances, des voix s'élèvent pour demander une harmonisation des normes, des recommandations et des guides de sûreté afin de faciliter le déploiement des PRM.

L'AIEA aide ses États Membres par une coopération dans les domaines de la conception, de la mise au point et du déploiement des PRM et en jouant un rôle central dans les échanges de connaissances et de données d'expérience sur leur réglementation. Ayant constaté que ces réacteurs suscitaient un intérêt croissant, elle a récemment mis en place une plateforme PRM à l'échelle de l'Agence pour fournir aux États Membres un appui intégré sur tous les aspects de leur mise au point, de leur déploiement et de leur surveillance.

L'AIEA est parfaitement consciente des défis que posent les PRM et les centrales nucléaires transportables pour la mise en œuvre des garanties, et collabore avec les parties prenantes pour étudier comment des mesures de contrôle pourront être appliquées lorsque de tels réacteurs seront construits, exportés, déployés ou exploités. Ces réacteurs peuvent être une solution appropriée pour les pays ayant des besoins énergétiques sur des îles et dans des zones reculées où les réseaux électriques ne sont pas interconnectés, ou pour des pays qui ont des besoins énergétiques urgents, mais qui ne disposent pas de toute l'infrastructure requise pour une centrale nucléaire fixe. Selon les conditions d'utilisation, les centrales de ce type peuvent être exploitées par le fournisseur ou par une entité du pays acquéreur.

Pour une application efficace et efficiente des garanties dans les nouveaux types d'installations, les mesures de contrôle doivent être prises en compte aux stades initiaux de planification de la conception. L'AIEA a fourni un appui aux États et à l'industrie nucléaire sur cette question en publiant des orientations sur l'« intégration des garanties dans la conception », afin de faciliter l'application efficace et efficiente des garanties. Pour les installations qui sont en phase de conception ou en construction, elle collabore étroitement avec l'État ou l'autorité régionale concernés et avec l'exploitant de l'installation afin d'intégrer des caractéristiques favorisant l'application des garanties dans la conception des nouvelles installations. L'AIEA poursuit par exemple des coopérations étroites : avec la Finlande, la Suède et la Commission européenne pour la planification de l'application des garanties dans des usines d'encapsulation et des dépôts géologiques ; avec la République de Corée sur la planification de l'application des garanties dans de futures usines de traitement thermique ; avec la Chine pour l'élaboration de méthodes de contrôle du réacteur à lit de boulets à haute température refroidi par gaz ; avec le Japon concernant les méthodes de contrôle de l'usine de fabrication de combustible à mélange d'oxydes, en cours de construction sur le site de Rokkasho.

De nouvelles techniques et de nouveaux types de réacteurs sont utilisés, mais le droit nucléaire ne néglige pas les modèles plus anciens qu'ils peuvent remplacer. Plus de la moitié des réacteurs aujourd'hui en service dans le monde ont plus de 30 ans. L'exploitation à long terme ou la prolongation de la durée de vie d'une centrale nucléaire est de plus en plus souvent envisagée. En outre, le déclassement des installations nucléaires gagne en importance, car un nombre croissant de réacteurs et d'installations connexes sont définitivement mis à l'arrêt ou le seront prochainement. Les prescriptions juridiques sont essentielles pour que les ressources financières soient suffisantes et disponibles pour couvrir tous les coûts du déclassement. Le cadre juridique international repose sur des principes généraux importants à cet égard.

La conception du déclassement évolue en raison de nouvelles tendances et de nouvelles notions, comme les principes du développement durable et de l'économie circulaire. L'état final n'est donc plus défini uniquement par des critères purement radiologiques, mais aussi de plus en plus souvent par des considérations environnementales, voire culturelles. Cette situation pose de nouveaux défis pour la prise de décisions et la participation des parties prenantes. Les cadres juridiques nationaux doivent évoluer pour tenir compte de nouvelles pratiques comme la cession du site par le propriétaire à une société de déclassement. Ces approches peuvent par exemple avoir des conséquences pour la responsabilité nucléaire et l'adéquation des fonds accumulés et transférés, ce qui peut empêcher d'atteindre les objectifs du déclassement.

Peu de sujets jouent un rôle aussi central dans l'acceptation des techniques nucléaires par le public que la gestion et le stockage définitif du combustible usé et des déchets radioactifs de haute activité. À l'autre bout du spectre, il est souvent difficile à de nombreux États qui disposent d'un stock relativement faible de déchets radioactifs, qui résultent d'une utilisation limitée des techniques nucléaires, par exemple pour des applications en médecine, dans l'alimentation et dans la recherche, de trouver une solution satisfaisante.

Ces dernières années, la création de dépôts géologiques profonds nationaux pour les déchets radioactifs de haute activité a sensiblement progressé⁶². Les programmes les plus avancés sont proches d'une recommandation formelle pour un site de stockage définitif ou en sont aux stades de la préparation de la construction et de l'exploitation d'une installation de stockage en formations géologiques profondes ou de la préparation d'une demande d'autorisation pour le placement de combustible usé dans une installation en construction. À l'avenir, il sera essentiel d'accorder une attention accrue non seulement aux questions scientifiques et techniques, mais aussi aux aspects sociaux, politiques, juridiques et économiques qui influent sur la perception du public concernant la sûreté et la possibilité d'assurer un stockage géologique.

Il n'existe actuellement aucun dépôt multinational, régional ou international. Des faits nouveaux se produisant dans certains pays pourraient toutefois susciter un regain d'intérêt pour ce type de dépôts, qui peuvent être pertinents sur le plan technique et économique, et présenter des avantages en matière de sûreté, de sécurité et de non-prolifération. Du point de vue de l'environnement, il peut aussi être préférable d'avoir un petit nombre de grands dépôts, plutôt qu'un grand nombre de petits dépôts. Ces idées vont probablement continuer de susciter une réflexion.

Pour pouvoir rester souples et prêts à relever les nouveaux défis du droit nucléaire, nous devons être prêts pour l'arrivée d'autres techniques qui changent la donne et sont à notre portée, comme la fusion nucléaire. Cette dernière nous promet une énergie illimitée et à faible émission de carbone, et pourrait révolutionner la lutte contre le changement climatique. La fusion est en train de quitter la sphère universitaire et devient de plus en plus technique, et les installations les plus modernes produiront des quantités de substances radioactives beaucoup plus importantes que les installations expérimentales existantes. Dans plusieurs pays, il existe aujourd'hui différents projets qui consistent à concevoir des installations de fusion. Quelques grands progrès ont récemment été enregistrés, mais il est peu probable que la fusion permette de produire de l'électricité avant 2050.

⁶² AIEA 2021b, par. 49 et 50.

Comme les investissements et les actions se multiplient dans le domaine de la fusion nucléaire, il faut définir quels cadres juridiques seront nécessaires pour que des installations de fusion sûres puissent être vendues et déterminer si les cadres juridiques qui régissent les réacteurs à fission devraient s'appliquer ou être adaptés pour la fusion, ou si un cadre juridique et une approche réglementaire particuliers devraient être adoptés pour cette technique.

On considère généralement que le cadre juridique qui protège l'environnement contre les répercussions des activités nucléaires se compose de deux branches distinctes du droit : le droit nucléaire, qui concerne principalement la radioactivité, et le droit de l'environnement, qui porte sur tous les types de risques, mais peut aussi prévoir des prescriptions sur la protection de l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Les synergies entre le droit nucléaire et le droit de l'environnement, qui visent tous deux à protéger l'environnement, sont essentielles à cette fin.

Certains principes juridiques internationaux de base et certains instruments fondamentaux de droit de l'environnement, qui portent sur des questions de fond et de procédure, sont pertinents pour les activités nucléaires. On peut en particulier citer la Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement (Convention d'Aarhus)⁶³, adoptée en 1998 sous les auspices de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) et la Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière (Convention d'Espoo)⁶⁴ et le Protocole de 2003, relatif à l'évaluation stratégique environnementale (Protocole de Kiev)⁶⁵, qui ont été adoptés sous les auspices de la CEE-ONU.

Au cours des dernières décennies, le droit nucléaire international a aussi davantage visé à protéger l'environnement et à lui accorder un statut particulier. À l'avenir, l'accent sera probablement encore mis sur la protection de l'environnement dans le secteur nucléaire, surtout pour des sujets comme le renforcement des normes de sûreté de l'AIEA, l'accès des parties prenantes à l'information nucléaire, la participation des parties prenantes à la prise de décisions en matière nucléaire et la prévention et la réparation des dommages environnementaux qui seraient causés par des accidents nucléaires.

⁶³ Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, ouverte à la signature le 25 juin 1998 et entrée en vigueur le 30 octobre 2001 (Convention d'Aarhus).

⁶⁴ Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière, ouverte à la signature le 25 février 1991 et entrée en vigueur le 10 septembre 1997 (Convention d'Espoo).

⁶⁵ Protocole à la Convention d'Espoo, relatif à l'évaluation stratégique environnementale, ouvert à la signature le 21 mai 2003 et entré en vigueur le 11 juillet 2010 (Protocole de Kiev).

L'AIEA est une plaque tournante qui permet à des experts et à des représentants des États Membres d'échanger des données d'expérience et d'examiner des questions d'actualité dans ce domaine. Lorsqu'ils contribuent à façonner le futur droit nucléaire, l'AIEA et ses États Membres continuent d'étudier avec attention si les cadres juridiques qui régissent les utilisations sûres, sécurisées et pacifiques des techniques nucléaires et leurs applications conviennent pour faire face aux futurs défis. L'Agence s'efforce de rendre le cadre juridique et normatif actuel aussi solide que possible. Il existe des possibilités de dialogue avec des organisations régionales comme l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ASEAN), la Commission africaine de l'énergie nucléaire, le Forum des organismes de réglementation nucléaire en Afrique (FNRBA) et le Forum ibéro-américain d'organismes de réglementation radiologique et nucléaire (FORO), ainsi qu'avec des parlementaires nationaux ou internationaux par une collaboration avec des organisations comme l'Union interparlementaire (UIP). Il est également possible de promouvoir l'universalisation avec des pays qui ont le même objectif, sont parties aux instruments juridiques internationaux pertinents et souhaitent jouer un rôle de premier plan en contribuant à sensibiliser les États qui ne sont pas encore parties à ces instruments.

En raison de la complexité des techniques, des politiques, de la législation et de la réglementation nucléaires, les rédacteurs de textes de loi doivent avoir des connaissances et des compétences particulières. Les formations de l'AIEA visent en grande partie depuis longtemps à aider des fonctionnaires des États Membres à développer les compétences nécessaires pour rédiger des textes de loi dans le domaine nucléaire. Il importe de noter que, dans le cadre du programme d'assistance législative, nous aidons les États à adhérer à tous les instruments juridiques internationaux, à étudier, analyser et élaborer une législation nucléaire, à mieux comprendre les instruments juridiques internationaux et à s'acquitter de leurs obligations internationales. Notre appui législatif comprend également des possibilités de visites scientifiques et de places de boursier au Bureau des affaires juridiques de l'AIEA et dans des organismes de réglementation nationaux.

La vie et les moyens de subsistance de milliards de personnes reposent sur des cadres juridiques nationaux et internationaux efficaces et complets pour une utilisation sûre, sécurisée et pacifique des sciences et techniques nucléaires, qui permettent à chacun d'essayer de mieux vivre aujourd'hui et demain. Ces cadres permettent de gagner la confiance du public, afin que les sciences et techniques nucléaires soient bénéfiques pour tous. En raison de l'utilisation croissante des techniques nucléaires et du nombre important d'États Membres qui élaborent ou révisent leur législation nucléaire, ou prévoient de le faire, la demande d'examen d'avant-projets de loi et de textes législatifs en vigueur et la demande de formation de rédacteurs restent fortes. Ces demandes resteront traitées dans le cadre du cours annuel de l'Institut de droit nucléaire de l'AIEA et de son

programme interactif, auquel s'ajouteront au besoin et sur demande des activités nationales sur mesure. Depuis le lancement de l'Institut de droit nucléaire en 2011, environ 550 professionnels de toutes les régions du monde (dont près de la moitié de femmes) ont suivi ce cours.

Les gouvernements continuent d'appeler l'AIEA à sensibiliser les responsables politiques, les décideurs et les hauts fonctionnaires à l'importance et aux avantages des instruments juridiques et à l'importance de mettre en place et de maintenir un cadre juridique national approprié dans le domaine nucléaire. Ils nous appellent aussi de plus en plus à les aider à sensibiliser les parlementaires sur ces questions.

Dans les années à venir, les approches régionales de la formation au droit nucléaire joueront probablement un rôle de plus en plus important et tiendront compte des besoins, des priorités et des intérêts régionaux. Ces approches pourraient être facilitées par des accords de collaboration conclus avec des centres de formation régionaux ou nationaux, et certains États Membres ont manifesté le souhait d'ouvrir sur leur territoire un centre de formation au droit nucléaire à l'échelle régionale.

Comme le nombre d'États Membres de l'AIEA augmente et ces États utilisent davantage les techniques nucléaires, il sera probablement de plus en plus souvent demandé à l'Agence d'apporter une assistance législative. Afin qu'un droit nucléaire solide puisse répondre à ce besoin, le Secrétariat de l'AIEA se tient prêt à fournir des services pour des réunions organisées dans le cadre des conventions et des codes de conduite. L'Agence continuera aussi d'attirer l'attention sur sa fonction unique en son genre, à savoir établir des normes de sûreté et jouer un rôle central dans l'élaboration de publications d'orientations détaillées sur la sécurité nucléaire, selon les priorités définies par les États Membres. Enfin, on comptera sur l'AIEA pour optimiser sa capacité à fournir, sur demande, des services d'examen par des pairs et des services consultatifs à titre de retour d'information afin de faciliter l'application des normes de sûreté et des orientations sur la sécurité nucléaire. En restant dynamique pour la fourniture de ces services, l'Agence contribuera à ce que les techniques nucléaires continuent de faire progresser l'humanité.

Il est essentiel de rendre le débat mondial sur le droit nucléaire accessible afin que les États puissent prendre des décisions éclairées. L'AIEA a un rôle important à jouer à cet égard. Comme toutes les conférences techniques organisées par l'Agence, la Conférence internationale de 2022 sur le droit nucléaire offre une occasion unique à de grands experts internationaux de gouvernements, d'organisations internationales, d'organisations non gouvernementales, de l'industrie et de ses conseillers, des milieux universitaires et de la société civile d'échanger des données d'expérience et d'examiner des questions d'actualité. Les

débats qui ont lieu aujourd'hui et les décisions qui en résulteront auront cependant une incidence directe ou indirecte sur les intérêts des générations futures.

L'évolution des techniques nucléaires et leurs avantages ont concerné et continueront de concerner plusieurs générations humaines. Pour répondre de manière optimale aux besoins de tous, nous devons donc prendre en compte aussi bien le point de vue de notre génération de juristes, de décideurs et de scientifiques spécialisés dans le domaine nucléaire, que l'avis de la génération suivante. Il incombe à chaque génération de réimaginer le rôle que peut jouer le secteur nucléaire dans la construction d'un monde meilleur. Ceux qui seront chargés de façonner le droit nucléaire à l'avenir doivent donc participer à notre débat.

La promesse du futur bien-être de l'humanité peut être accomplie si l'on utilise des techniques qui contribuent à obtenir une énergie propre, à lutter contre la pollution de l'air et de l'eau, à renforcer les systèmes agricoles et à dispenser des soins médicaux de très haute qualité. Les techniques nucléaires peuvent nous conduire sur une voie durable dans chacun de ces domaines. Une application effective du droit nucléaire est indispensable pour que nous puissions tracer cette voie de manière sûre, sécurisée et pacifique.

Le droit nucléaire restera un des piliers permettant d'atteindre l'objectif d'exploiter les possibilités des techniques nucléaires afin de réaliser le rêve décrit dans le discours « Atomes pour la paix », à savoir concevoir des méthodes pour que ces techniques servent à la réalisation des buts pacifiques que se propose l'humanité, faire en sorte que des experts soient appelés à les appliquer aux besoins de l'agriculture, de la médecine ou d'autres activités pacifiques, et fournir de l'électricité pour le développement durable. Par ce débat, nous pouvons façonner le monde dans lequel nous voulons vivre dans 50 ans – le monde que nous souhaitons laisser aux générations futures.

L'AIEA est le centre mondial de la coopération dans le domaine nucléaire et continuera de contribuer de manière essentielle à ce que les techniques nucléaires soient porteuses d'avenir, en partenariat avec nos États Membres et d'autres organisations. Le droit nucléaire, qui fait partie intégrante de l'architecture nucléaire mondiale, est indispensable à son avenir. En tant que principale enceinte pour le débat mondial sur les questions de droit nucléaire, l'AIEA, avec tous ceux qui souhaitent se joindre à elle, poursuivra ses efforts pour construire un avenir meilleur dans le domaine nucléaire.

Que le débat mondial commence.

RÉFÉRENCES

- Eisenhower, D. D. (1953), Discours à l'Assemblée générale des Nations Unies, 8 décembre 1953, New York.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1961) The Agency's Safeguards, INFCIRC/26.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1964) The Agency's Safeguards: Extension of the system to large reactor facilities, INFCIRC/26/Add.1.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1966), Système de garanties de l'Agence (1965), INFCIRC/66.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1967), Le Système de garanties de l'Agence (1965, provisoirement étendu en 1966), INFCIRC/66/Rev.1.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1968), Le Système de garanties de l'Agence (1965, provisoirement étendu en 1966 et 1968), INFCIRC/66/Rev.2.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1970), Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires : notification d'entrée en vigueur, INFCIRC/140.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1973), Texte de l'Accord entre la Belgique, le Danemark, la République fédérale d'Allemagne, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la Communauté européenne de l'énergie atomique et l'Agence en application du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/193.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1975), Structure et contenu des accords à conclure entre l'Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/153 (corrigé).
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1989), Statut. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1994), Accord du 13 décembre 1991 entre la République argentine, la République fédérative du Brésil, l'Agence brésilienne de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif à l'application de garanties, INFCIRC/435.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1997), Modèle de Protocole additionnel à l'accord (aux accords) entre un État (des États) et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif(s) à l'application de garanties, INFCIRC/540 (corrigé).
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2004), Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2006a), Code de conduite pour la sûreté des réacteurs de recherche. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2006b), Modèle pour les accords de garanties conclus dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, Révision du texte standard du protocole relatif aux petites quantités de matières, GOV/INF/276/Mod.1.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2006c), Recommandations visant à améliorer encore l'efficacité et l'efficacité du système des garanties à soumettre pour examen au Comité consultatif sur les garanties et la vérification dans le cadre du Statut de l'AIEA, GOV/2006/Note 45.

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2011a), Projet de plan d'action de l'AIEA sur la sûreté nucléaire, GOV/2011/59-GC(55)/14.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2011b), Recommandations de sécurité nucléaire sur la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (INFCIRC/225/Révision 5), n° 13 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011c) The International Legal Framework for Nuclear Security. International Law Series No. 4. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2012a), Orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012b) IAEA Action Plan on Nuclear Safety – Nuclear Liability. <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/actionplan-nuclear-liability.pdf>, page consultée le 8 octobre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2013a), Mesures pour renforcer la coopération internationale dans les domaines de la sûreté nucléaire et radiologique et de la sûreté du transport et des déchets, GC(57)/RES/9.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013b) The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention – Explanatory Text, IAEA International Law Series, No. 5. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2015a), L'accident de Fukushima Daiichi : Rapport du Directeur général. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2015b), Déclaration de Vienne sur la sûreté nucléaire, Principes relatifs à la mise en œuvre de l'objectif de la Convention sur la sûreté nucléaire qui est de prévenir les accidents et d'atténuer les conséquences radiologiques, CNS/DC/2015/2/Rev.1.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017a) Joint Radiation Emergency Management Plan of the International Organizations. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2017b), Préparation et conduite des interventions en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique. Coparrainé par l'Agence internationale de l'énergie atomique, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, le Bureau de la coordination des affaires humanitaires de l'ONU, la Commission préparatoire de l'Organisation du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires, l'Organisation de l'aviation civile internationale, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation internationale de police criminelle, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation maritime internationale, l'Organisation météorologique mondiale, l'Organisation mondiale de la Santé, l'Organisation panaméricaine de la Santé et le Programme des Nations Unies pour l'environnement. N° GSR Part 7 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018a) IAEA Response and Assistance Network. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2018b), Orientations sur la gestion des sources radioactives retirées du service. AIEA, Vienne.

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2019), Étapes du développement d'une infrastructure nationale pour l'électronucléaire, n° NG-G-3.1 (Rev. 1) de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Operations Manual for IAEA Assessment and Prognosis during a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) Operations Manual for Incident and Emergency Communication. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020c) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage – Explanatory Texts. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020d) Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2021a), Plan sur la sécurité nucléaire pour 2022-2025, Rapport du Directeur général, GC(65)/24.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2021b), Situation et perspectives internationales de l'électronucléaire 2017 – Rapport du Directeur général, GOV/INF/2021/32-GC(65)/INF/6.
- Résolution 1373 (2001) du Conseil de sécurité de l'ONU, Résolution 1540 (2004) du Conseil de sécurité de l'ONU.

2. LE DROIT NUCLÉAIRE À L'APPUI DES UTILISATIONS PACIFIQUES DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Deng Ge

Autorité chinoise de l'énergie atomique, Beijing

Résumé Le développement et l'utilisation de l'énergie nucléaire sont l'une des plus grandes réussites du XX^e siècle. Ils ont grandement accru la capacité de l'humanité à comprendre et à façonner le monde, et ont eu une influence importante sur l'évolution des techniques et de la civilisation. Au XXI^e siècle, l'Organisation des Nations Unies (ONU) a élaboré les « objectifs du Millénaire pour le développement » et les « objectifs de développement durable à l'horizon 2030 » pour promouvoir une solution globale aux problèmes sociaux, économiques et environnementaux de la planète. Dans ce cadre, l'énergie nucléaire offre des avantages incomparables, mais les risques et les défis que présentent son utilisation et son développement futurs doivent être pris en considération. Le droit nucléaire est un outil précieux qui permet de réglementer le développement de l'énergie nucléaire et de faire face à ces risques et défis. Le Gouvernement chinois a toujours développé cette énergie à des fins pacifiques et de manière sûre et innovante. Au Sommet sur la sécurité nucléaire qui s'est tenu en 2014, le Président Xi Jinping a proposé d'adopter une approche rationnelle, coordonnée et équilibrée de la sécurité nucléaire et de promouvoir un régime de sécurité nucléaire équitable, coopératif et avantageux pour tous. Cette démarche n'est pas seulement un condensé de l'expérience acquise par la Chine lorsqu'elle a mis en place un cadre juridique dans le domaine nucléaire et a développé son industrie nucléaire, mais permettrait aussi de renforcer la gouvernance nucléaire internationale et de promouvoir l'énergie nucléaire afin que l'humanité en tire un meilleur parti. Tous les pays devraient s'acquitter strictement de leurs obligations internationales, assumer réellement leurs responsabilités nationales et maintenir conjointement le régime et l'ordre juridique internationaux organisés autour de l'ONU, contribuant ainsi à atteindre un objectif commun, « l'atome pour la paix et le développement ».

Mots clés Énergie nucléaire • Techniques nucléaires • Cadre juridique • Développement • Sécurité nucléaire • Gouvernance nucléaire

2.1. MISE EN PLACE ET AMÉLIORATION DU CADRE JURIDIQUE INTERNATIONAL DANS LE DOMAINE NUCLÉAIRE

L'expression « énergie nucléaire », synonyme d'énergie atomique, désigne l'énergie qui est libérée lorsque la structure du noyau change. Contrairement à d'autres découvertes plus anciennes, l'énergie nucléaire a révolutionné la société et le développement industriel, alors qu'à peine 100 ans se sont écoulés de la recherche théorique à l'industrialisation. L'énergie nucléaire est une arme à double tranchant : la quantité considérable d'énergie qui est produite par la fission nucléaire est utile pour l'humanité, mais crée aussi des risques et des problèmes. Le premier risque concerne la sûreté nucléaire. Des accidents, notamment ceux qui se sont produits à Tchernobyl en 1986 et à Fukushima Daiichi en 2011, ont provoqué une grave contamination radioactive, ont mis en péril la vie et la santé de la population et l'environnement, et ont freiné le développement de l'industrie électronucléaire dans le monde entier. Le deuxième risque concerne la sécurité nucléaire. La complexité de la situation internationale, des problèmes de sécurité importants et inconnus auparavant et la menace que représente le terrorisme nucléaire ne peuvent aujourd'hui être ignorés. La perspective que des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives tombent entre les mains de terroristes constitue un défi de taille pour la sécurité internationale. Le troisième risque concerne la prolifération nucléaire, car l'énergie nucléaire est une technologie à double usage. Si les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire ne sont pas contrôlées efficacement, le détournement de technologies et de matières nucléaires utilisées dans ce cadre afin de fabriquer des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires peut provoquer une immense catastrophe pour l'humanité.

Le cadre juridique international en matière nucléaire a vu le jour parallèlement au développement de l'énergie nucléaire dans le monde entier. Il s'améliore à mesure que les problèmes sociaux, économiques, scientifiques et techniques que pose ce développement sont réglés, ce qui favorise le développement sûr, sécurisé et durable des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire.

2.1.1. Mise en place du cadre juridique international dans le domaine nucléaire

Créée en 1928, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) s'est immédiatement consacrée à l'élaboration de normes internationales de radioprotection. Elle est peut-être la première organisation internationale à s'être intéressée aux utilisations de l'énergie nucléaire. À l'époque, il n'était pas impératif de développer le droit nucléaire, car cette énergie était peu utilisée.

En 1945, la première utilisation militaire de la bombe atomique a montré que les armes nucléaires pouvaient provoquer des destructions massives et être dissuasives. En 1954, le raccordement de la centrale nucléaire d'Obninsk au réseau électrique a inauguré l'ère de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Dans les années 1960, l'industrie électronucléaire a commencé à se développer à grande échelle. La crise pétrolière de 1973 a ouvert de nouvelles perspectives à cette industrie. Sur le plan juridique, l'*Atomic Energy Act* a été promulgué par les États-Unis d'Amérique en 1946. En décembre 1953, le Président des États-Unis, M. Eisenhower, a prononcé une allocution sur les « Atomes pour la paix » devant l'Assemblée générale des Nations Unies¹. Le Statut de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) est entré en vigueur le 29 juillet 1957, ce qui a marqué une étape importante dans l'élaboration du cadre juridique international en matière nucléaire. Le Statut stipule que la mission de l'AIEA consiste à « s'efforce[r] de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier » et à s'assurer « que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires² ».

Dès sa création, l'AIEA a lancé le programme de coopération technique pour aider les États Membres en développement à créer des capacités, à introduire et développer des techniques nucléaires et à les utiliser de manière sûre et efficace³. Elle a également élaboré des documents sur les garanties pour « garantir que les produits fissiles spéciaux et autres produits, les services, l'équipement, les installations et les renseignements fournis par l'Agence ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle ne sont pas utilisés de manière à servir à des fins militaires⁴ ». Le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) est entré en vigueur en mars 1970. Il impose aux États non dotés d'armes nucléaires de ne pas acquérir ou fabriquer directement ou indirectement des armes nucléaires ou d'autres dispositifs nucléaires explosifs, et leur demande de négocier et de conclure un accord de garanties généralisées avec l'AIEA⁵. Le Comité Zangger, institué en 1971, et le Groupe des fournisseurs nucléaires, créé en 1974, ont élaboré des directives et une liste de base pour les transferts nucléaires. La Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire (Convention de Paris), adoptée par la Communauté européenne de l'énergie

¹ Eisenhower 1953.

² AIEA 1989.

³ <https://www.iaea.org/services/technical-cooperation-programme/history>, page consultée le 2 novembre 2021.

⁴ AIEA 1968.

⁵ AIEA 1972 ; ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968, le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires est entré en vigueur le 5 mars 1970 (TNP).

atomique en 1960, et la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires (Convention de Vienne), adoptée sous les auspices de l'AIEA en 1963, ont établi un régime international de responsabilité en matière de dommages nucléaires afin de faire face au risque de dommage aux personnes et de perte de biens qui peuvent être causés par des accidents nucléaires transfrontières⁶. Un cadre juridique international pour la non-prolifération des armes nucléaires et la prévention des risques de l'utilisation de l'énergie nucléaire a ainsi commencé à se former.

2.1.2. Amélioration du cadre juridique international dans le domaine nucléaire

Les graves accidents qui se sont produits à la centrale nucléaire de Three Mile Island en 1979 et à la centrale de Tchernobyl en 1986 ont constitué une alerte pour la sûreté de l'énergie nucléaire dans le monde entier et ont donné à la communauté internationale l'occasion de réexaminer et d'améliorer le cadre juridique international en matière nucléaire. Au début des années 1990, les activités nucléaires clandestines de certaines Parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires ont été découvertes, ce qui a amené la communauté internationale à renforcer les systèmes de garanties généralisées et de contrôle des exportations. En 2001, les attentats du 11 septembre ont suscité de graves inquiétudes au sujet du terrorisme nucléaire dans la communauté internationale. En 2011, l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi a de nouveau attiré l'attention de la communauté internationale sur les problèmes de sûreté nucléaire. Le cadre juridique international dans le domaine nucléaire a été renforcé et amélioré en réponse à ces nouveaux défis.

2.1.2.1. Sûreté nucléaire

La Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire (Convention sur la notification rapide) et la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique (Convention sur l'assistance), adoptées en 1986, énoncent qu'un mécanisme de coopération internationale doit être établi pour renforcer la communication d'informations et l'assistance technique afin d'atténuer les conséquences des accidents nucléaires

⁶ <https://www.iaea.org/fr/themes/conventions-sur-la-responsabilite-nucleaire>, page consultée le 2 novembre 2021.

et des situations d'urgence radiologique⁷. La Convention sur la sûreté nucléaire (CSN), adoptée en 1994, renforce encore les responsabilités nationales en matière de sûreté nucléaire et de coopération internationale. Elle est l'expression d'un consensus international sur la notion de niveau élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants⁸. La Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (Convention commune), adoptée en 1997, fixe les responsabilités et les obligations de tous les pays quant à la sûreté de la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs pendant toute leur durée de vie. L'AIEA a élaboré et publié plusieurs types de normes de sûreté nucléaire, notamment des fondements de sûreté, des Prescriptions générales de sûreté, des guides généraux de sûreté, des Prescriptions de sûreté particulières et des guides de sûreté particuliers afin d'aider les États à s'acquitter efficacement des obligations internationales qui leur incombent au titre de la CSN et de la Convention commune. Ces normes forment un ensemble de principes de sûreté qui s'applique à toutes les étapes de l'utilisation de l'énergie nucléaire et jouent un rôle important dans la capacité des pays à mettre en place un régime et des mesures techniques de sûreté nucléaire efficaces pour atteindre et maintenir un niveau élevé de sûreté nucléaire dans le monde entier.

2.1.2.2. *Sécurité nucléaire*

La Convention sur la protection physique des matières nucléaires (CPPMN) a été élaborée en 1979 sous les auspices de l'AIEA. Elle vise à renforcer la sécurité des matières nucléaires pendant un transport international⁹. Les attentats du 11 septembre ont accéléré le processus de révision de cette convention. L'Amendement à la CPPMN, adoptée en juillet 2005, étend la portée de la Convention à la protection des installations nucléaires et des matières nucléaires en cours d'utilisation, en entreposage et en cours de transport sur le territoire national et ajoute des dispositions destinées à protéger les matières et

⁷ Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 27 octobre 1986 (Convention sur la notification rapide) ; Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 26 février 1987 (Convention sur l'assistance).

⁸ Convention sur la sûreté nucléaire, ouverte à la signature le 20 septembre 1994 et entrée en vigueur le 24 octobre 1996 (CSN).

⁹ Convention sur la protection physique des matières nucléaires, ouverte à la signature le 3 mars 1980 et entrée en vigueur le 8 février 1987 (CPPMN).

installations nucléaires contre le sabotage¹⁰. L'AIEA a également établi un Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives et les publications de la collection Sécurité nucléaire pour donner des orientations sur les actions à mener par les États Membres et la communauté internationale en matière de sécurité¹¹. En outre, la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, élaborée sous les auspices de l'ONU et adoptée en avril 2005, est entrée en vigueur en juillet 2007¹².

2.1.2.3. *Non-prolifération nucléaire*

En 1993, l'AIEA a lancé le « Programme 93+2 », destiné à renforcer l'efficacité et à améliorer l'efficacité du système des garanties. L'adoption du modèle de Protocole additionnel en 1997 a accru l'aptitude de l'Agence à détecter des matières et des activités nucléaires non déclarées¹³. En 1992, le Groupe des fournisseurs nucléaires a fait de la conclusion d'un accord de garanties généralisées entre les États non dotés d'armes nucléaires et l'AIEA une condition des transferts nucléaires, a élaboré les Directives applicables aux transferts d'équipements, de matières et de logiciels à double usage dans le domaine nucléaire, ainsi que de technologies connexes, et a amélioré le contrôle des exportations nucléaires¹⁴.

2.1.2.4. *Responsabilité nucléaire*

Le Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris (Protocole commun) a été adopté en 1988 sous les auspices conjoints de l'AIEA et de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Conclue en 1997, la Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires favorise l'instauration d'un régime mondial de responsabilité en matière de dommages nucléaires¹⁵.

¹⁰ Amendement à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, adopté en 2005 et entré en vigueur le 8 mai 2016 (Amendement à la CPPMN).

¹¹ AIEA 2005.

¹² Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, ouverte à la signature le 14 septembre 2005 et entrée en vigueur le 7 juillet 2007.

¹³ AIEA 1997.

¹⁴ AIEA 2019.

¹⁵ <https://www.iaea.org/fr/themes/conventions-sur-la-responsabilite-nucleaire>, page consultée le 2 novembre 2021.

2.1.2.5. *Coopération nucléaire*

Avec l'appui de l'AIEA, quatre accords régionaux de coopération visant à promouvoir la science et la technologie nucléaires ont été signés en Asie, en Afrique et en Amérique latine. À la fin de l'année 2020, des accords complémentaires révisés concernant la fourniture d'une assistance technique par l'AIEA avaient été conclus avec 146 pays et régions. Au total, 1 139 projets de coopération technique et 124 projets de recherche coordonnée sont actuellement mis en œuvre dans le domaine de la santé et de la nutrition, de l'alimentation et de l'agriculture, de l'eau et de l'environnement, des applications industrielles et de la technologie des rayonnements, de la sûreté et de la sécurité, de la planification énergétique, de l'électronucléaire et du développement et de la gestion des connaissances nucléaires, apportant ainsi un appui solide aux États Membres pour le renforcement des capacités et la formation des ressources humaines sur les applications nucléaires¹⁶.

2.1.3. **Le rôle essentiel de l'Agence internationale de l'énergie atomique**

Organisation intergouvernementale la plus importante dans le domaine nucléaire, l'AIEA contribue de manière essentielle à établir et à améliorer le cadre juridique international dans ce domaine. Elle favorise également la mise en œuvre effective et l'application universelle du droit nucléaire international en fournissant une assistance législative, en organisant des examens par des pairs, en donnant des conseils d'experts et en proposant des formations pour les professionnels, et aide les États Membres à mettre en place un cadre juridique national en matière nucléaire. À la fin de l'année 2020, l'AIEA avait publié 129 normes de sûreté nucléaire et 39 orientations relatives à la sécurité nucléaire pour aider les États Membres à développer et à utiliser l'énergie et les techniques nucléaires de manière sûre et sécurisée. Elle avait également signé des accords de garanties avec 184 pays, des protocoles additionnels avec 136 pays et des protocoles relatifs aux petites quantités de matières avec 94 pays afin de pouvoir contrôler les matières, les installations et les activités nucléaires des États concernés¹⁷.

¹⁶ AIEA 2020.

¹⁷ *Ibid.*

2.1.4. Le cadre juridique international dans le domaine nucléaire, à l'appui d'un développement sain et harmonieux de l'énergie nucléaire

Depuis 1957, année où l'AIEA a été créée, des dizaines de conventions internationales multilatérales et un grand nombre d'accords bilatéraux ou multilatéraux entre pays et avec des organisations internationales, qui portent sur l'utilisation de l'énergie nucléaire, ont été conclus. Dans le domaine nucléaire, ils forment un cadre juridique international assez complet, qui repose sur les principes de la paix, de la sûreté, de la sécurité, de la responsabilité et de la coopération, et donne un fondement juridique au développement des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire dans le monde entier.

À la fin de l'année 2020, 442 tranches nucléaires étaient en service dans le monde, pour une capacité totale installée de plus de 393 gigawatts (GW), et 52 tranches nucléaires étaient en construction, pour une capacité totale installée de plus de 54,4 GW¹⁸. L'électronucléaire représente plus d'un quart de la production d'électricité à faible émission de carbone. Au cours des 50 dernières années, quelque 70 gigatonnes de CO₂ n'ont pas été émises grâce au recours à l'électronucléaire dans le monde entier. De même, les émissions de CO₂ peuvent aujourd'hui être réduites de plus de 1,2 gigatonne chaque année¹⁹. Compte tenu des politiques et des mesures qui sont adoptées par tous les pays pour faire face au changement climatique mondial et des innovations techniques qui ont permis d'améliorer la sûreté et la rentabilité de l'électronucléaire, le rôle de l'énergie nucléaire dans la réduction des émissions de CO₂ continuera de s'accroître. Selon les estimations portant sur l'énergie, l'électricité et l'électronucléaire jusqu'en 2050 qui ont été publiées par l'AIEA en septembre 2021, dans l'hypothèse haute, la capacité nucléaire installée dans le monde entier sera plus de deux fois supérieure à la capacité actuelle en 2050 (792 GW) et la part de l'électronucléaire dans la production d'électricité atteindra 12,3 %. De nombreux pays en développement d'Asie, d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Europe orientale connaîtront une très forte demande d'électricité nucléaire et un développement très rapide à l'avenir²⁰.

¹⁸ AIEA 2021.

¹⁹ AIE 2019.

²⁰ AIEA 2021.

2.2. CRÉATION D'UN CADRE JURIDIQUE EN MATIÈRE NUCLÉAIRE ET DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN CHINE

2.2.1. Création d'un cadre juridique dans le domaine nucléaire en Chine

L'industrie nucléaire chinoise est apparue en 1955. Dès les années 1960, le Gouvernement chinois a édicté le règlement provisoire sur la protection de la santé dans le cadre des activités de radiologie, où sont décrits les problèmes de radioprotection qui peuvent se poser au cours du développement de l'industrie nucléaire.

Au début des années 1980, le Gouvernement chinois a lancé des réformes et a ouvert le pays de manière massive et stratégique, et a décidé de développer intensivement l'électronucléaire à l'appui du développement économique. La construction de la centrale nucléaire de Qinshan a commencé en mars 1985. C'est la première centrale nucléaire à avoir été conçue, construite et exploitée exclusivement par la Chine. En décembre 1991, elle a été raccordée avec succès au réseau électrique, ce qui a marqué le point de départ de l'électronucléaire en Chine continentale. Pour que l'électronucléaire puisse se développer, le Gouvernement chinois a promulgué un règlement sur les contrôles de sûreté et la gestion de la sûreté dans les installations nucléaires civiles et une approbation du Conseil d'État concernant la réparation des dommages en cas d'accident nucléaire en 1986, le règlement sur la gestion et le contrôle des matières nucléaires en 1987, la politique environnementale relative au stockage définitif des déchets de moyenne ou faible activité produits par la Chine en 1992, le règlement relatif à la gestion des situations d'urgence en cas d'accident nucléaire dans une centrale nucléaire en 1993 et le règlement relatif à la sûreté et à la sécurité des centrales nucléaires en 1997. Ces règlements, qui ont trait à la sûreté nucléaire, à la sécurité nucléaire, au contrôle des matières nucléaires, à la responsabilité nucléaire, aux interventions en cas d'urgence nucléaire, à la gestion des déchets radioactifs et à d'autres sujets, forment un cadre juridique qui permet de contrôler et de favoriser le développement de l'énergie nucléaire²¹.

Depuis le début du troisième millénaire, la stratégie de développement de l'électronucléaire en Chine est passée par les étapes suivantes : « développement modeste », « développement actif », « développement sûr et efficace » et « développement volontariste et harmonieux, la sûreté et la sécurité étant prioritaires ». Pour que le développement de l'énergie nucléaire soit sûr, efficace et durable, la Chine a renforcé son cadre juridique en matière nucléaire. Depuis 2003, le pays a successivement promulgué la loi sur la prévention et le contrôle

²¹ Conseil d'État de la République populaire de Chine 1986, 1987 et 1993.

de la pollution radioactive, le règlement relatif à la sûreté et à la protection des radio-isotopes et des appareils à rayonnement, le règlement relatif à la gestion et au contrôle des équipements de sûreté nucléaire à usage civil, le règlement relatif à la gestion et au contrôle du transport de matières radioactives et le règlement relatif à la gestion de la sûreté des déchets radioactifs, a révisé le règlement relatif à la gestion des situations d'urgence en cas d'accident nucléaire dans une centrale nucléaire et l'approbation du Conseil d'État concernant la réparation des dommages en cas d'accident nucléaire et a promulgué, mis en œuvre et régulièrement actualisé le plan national pour les situations d'urgence nucléaire²². La loi de sûreté nucléaire a été officiellement mise en œuvre à partir de 2018. Enfin, la loi relative à l'énergie atomique va bientôt être présentée au Comité permanent de l'Assemblée populaire nationale pour examen. Plusieurs règlements et lignes directrices normalisées concernant la sûreté nucléaire, la sécurité nucléaire et la gestion des importations et des exportations nucléaires ont été promulgués l'un après l'autre, et un cadre juridique composé de lois, de règlements administratifs et de règles ministérielles en matière nucléaire a été mis en place. En juin 2019, dans le domaine nucléaire, la Chine avait promulgué neuf règlements administratifs, près de 40 règles ministérielles et plus de 100 lignes directrices de sûreté, et avait élaboré plus de 1 000 normes nationales et industrielles applicables, et 31 provinces, régions autonomes et communes avaient élaboré plus de 200 règlements locaux, ce qui a joué un rôle important dans le développement sûr et efficace de l'industrie nucléaire chinoise.

La Chine participe activement aux activités de coopération internationale et régionale qui concernent l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire et la non-prolifération. Elle est devenue membre de l'AIEA en 1984 et a adhéré au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires en 1992. Le pays est ultérieurement devenu membre du Comité Zangger, du Groupe des fournisseurs nucléaires et d'autres mécanismes de contrôle des exportations. La Chine a successivement adhéré à la Convention sur la notification rapide, à la Convention sur l'assistance, à la Convention sur la sûreté nucléaire, à la Convention commune et à d'autres conventions internationales relatives à la sûreté nucléaire, ainsi qu'à la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, à son amendement et à d'autres conventions internationales relatives à la sécurité nucléaire. Elle honore strictement ses obligations et ses engagements internationaux et a donc amélioré son cadre juridique national en matière nucléaire. En 1997, le Gouvernement chinois a publié la circulaire du Conseil d'État sur des questions relatives à la stricte application de la politique

²² Gouvernement populaire central chinois 2003 ; Conseil d'État de la République populaire de Chine 2005, 2007, 2009 et 2011.

nationale en matière d'exportations nucléaires, où il est clairement précisé que les exportations nucléaires doivent être soumises au régime des garanties de l'AIEA, puis a promulgué le règlement sur le contrôle des exportations nucléaires, le règlement sur le matériel nucléaire à double usage et les technologies connexes et d'autres règlements administratifs. En 2004, les règlements applicables ont été révisés conformément aux engagements qui avaient été pris lorsque le pays est devenu membre du Groupe des fournisseurs nucléaires, et les mesures de contrôle des exportations nucléaires et à double usage sont depuis lors conformes aux pratiques internationales en la matière²³.

2.2.2. Le développement de l'énergie nucléaire en Chine

Un cadre juridique efficace ayant été mis en place dans le domaine nucléaire, l'énergie nucléaire s'est beaucoup développée en Chine. Le pays n'a pour l'instant enregistré aucun incident nucléaire de niveau 2 ou plus, et applique un principe baptisé « laisser les matières nucléaires sous clé », ce qui a favorisé le développement de l'énergie nucléaire. La Chine est aujourd'hui le pays où la croissance de l'électronucléaire est la plus élevée au monde. Fin septembre 2021, 51 tranches nucléaires étaient en service dans le pays, pour une capacité installée de 53,3 GW, et 18 tranches nucléaires étaient en construction, pour une capacité installée de 19 GW²⁴. En 2020, la capacité de production d'électricité nucléaire en Chine s'est élevée à 366,243 milliards de kWh, en hausse de 5,02 % d'une année sur l'autre, ce qui représente environ 4,94 % de la production électrique totale du pays. Comparée à l'électricité produite par les centrales au charbon, la production annuelle d'électricité nucléaire permet de réduire de 104,7 mégatonnes la quantité de charbon ordinaire brûlée, d'où une réduction des émissions de CO₂ de 274,4 mégatonnes, de dioxyde de soufre de 0,89 mégatonne et d'oxydes d'azote de 0,78 mégatonne, ce qui équivaut à un boisement de 771 400 hectares²⁵. Pour la période 2021-2025, le Gouvernement chinois prévoit de développer intensivement les nouvelles énergies, de développer l'énergie nucléaire de manière volontariste et harmonieuse, la sûreté et la sécurité étant prioritaires, et de continuer à promouvoir l'utilisation propre et efficace du charbon afin de réduire la consommation d'énergie par unité de PIB de 13,5 % et

²³ Conseil d'État de la République populaire de Chine 1998 et 1997.

²⁴ D'après les derniers chiffres publiés par l'Autorité chinoise de l'énergie atomique.

²⁵ Tingke *et al.* 2021.

les émissions de CO₂ de 18 %²⁶. S'agissant des pics d'émission de CO₂ et de la neutralité carbone, la transition du système énergétique et électrique chinois vers un système plus propre et à faible émission de carbone s'accéléra davantage. L'énergie nucléaire étant une énergie propre et à zéro émission nette, elle disposera d'une plus grande marge de développement. On estime que, en 2025, la capacité électronucléaire installée et en service en Chine atteindra plus de 70 GW, et que la capacité installée en construction s'élèvera à environ 50 GW. En 2030, la capacité électronucléaire installée et en service dans le pays dépassera 100 GW et la capacité installée en construction sera supérieure à 50 GW. La production d'électricité nucléaire représentera alors 8 % de la production totale d'électricité du pays²⁷. L'énergie nucléaire jouera un rôle indispensable en ce qu'elle appuiera la stratégie chinoise et permettra d'atteindre l'objectif de pic d'émission de CO₂ et de neutralité carbone.

Au cours des dernières décennies, les applications non énergétiques des techniques nucléaires ont continué de se développer en Chine. Elles forment aujourd'hui un secteur industriel relativement complet dans le domaine de la modification des matériaux, des essais non destructifs, de la sélection par irradiation, du radiotraitement des produits alimentaires et agricoles et de la médecine nucléaire. Surtout depuis quelques années, le chiffre d'affaires annuel a augmenté de plus de 20 %, et ces activités sont devenues un secteur phare qui favorise le développement de l'économie nationale. Depuis que l'épidémie de COVID-19 est apparue, la Chine a pleinement tiré parti de ses atouts incomparables dans le domaine des techniques nucléaires, en pratiquant la stérilisation par irradiation au lieu de la stérilisation chimique, ce qui a permis de ramener le délai de stérilisation à une journée, alors qu'il était compris entre 7 et 10 jours, de sorte qu'il a été possible de répondre en grande partie au besoin urgent de 100 000 vêtements de protection par jour à Wuhan et dans d'autres régions. Fin 2020, 80 414 entreprises produisaient, vendaient ou utilisaient des radio-isotopes ou des appareils à rayonnement en Chine, ce qui représente une hausse de 22,7 % par rapport à 2015. En outre, 149 452 sources radioactives et 205 280 appareils à rayonnement de différents types étaient utilisés, chiffres en hausse de respectivement 22,1 % et 49,5 % par rapport à 2015²⁸. La Chine continuera de développer les applications non énergétiques des techniques

²⁶ Voir la déclaration sur l'action du Gouvernement qui a été prononcée par le Premier Ministre du Conseil d'État chinois, Li Keqiang, à la quatrième séance de la treizième Assemblée populaire nationale, le 5 mars 2021 : http://english.www.gov.cn/premier/news/202103/13/content_WS604b9030c6d0719374afac02.html, page consultée le 2 novembre 2021.

²⁷ Données extraites de Tingke *et al.* 2021.

²⁸ NNSA 2020.

nucléaires et de coopérer avec d'autres pays dans le respect du principe des avantages complémentaires et mutuels.

2.3. PERSPECTIVES

L'énergie nucléaire, qui est une énergie propre, à faible émission de carbone, à haut rendement et permettant de produire de l'électricité de base pourrait fortement contribuer à atteindre les objectifs de développement durable à l'horizon 2030 qui ont été fixés par l'ONU et à faire face aux problèmes que pose le changement climatique mondial. L'AIEA, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et d'autres organisations publient des prévisions depuis de nombreuses années et estiment que la part qu'occupe l'énergie nucléaire dans le bouquet énergétique permettra de maintenir une dynamique de croissance à long terme dans les années à venir²⁹. La communauté internationale devrait soutenir le principe d'une communauté de destin en matière de sûreté nucléaire, promouvoir activement la mise en œuvre universelle et l'amélioration continue du cadre juridique international dans le domaine nucléaire et ne ménager aucun effort en faveur du développement sain et à long terme des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire dans le monde.

2.3.1. Promouvoir la mise en œuvre universelle du cadre juridique international dans le domaine nucléaire

Les peuples de tous les pays vivent dans un village planétaire et forment une communauté de destin. Chaque pays devrait non seulement jouir du droit d'utiliser pacifiquement l'énergie nucléaire, mais aussi assumer la responsabilité et l'obligation de prévenir la prolifération nucléaire et de maintenir la sûreté et la sécurité nucléaires. Au Sommet sur la sécurité nucléaire qui s'est tenu en 2014 à La Haye, le Président Xi Jinping a souligné que « rien ne pouvait s'accomplir sans normes »³⁰. Tous les pays devraient s'acquitter consciencieusement des obligations que leur impose le cadre juridique international sur la sûreté nucléaire, appliquer pleinement les résolutions pertinentes du Conseil de sécurité de l'ONU, renforcer et élargir le cadre juridique international existant en matière de sûreté nucléaire et donner des garanties institutionnelles et des orientations universellement acceptées pour la gouvernance de l'industrie nucléaire internationale.

²⁹ AIE 2019.

³⁰ Le texte intégral est accessible à l'adresse suivante : http://en.qsttheory.cn/2021-01/11/c_607626.htm.

Les textes fondamentaux actuels du droit nucléaire international, comme le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, la Convention sur la protection physique des matières nucléaires et son amendement et les accords de garanties généralisées conclus avec l'AIEA et leurs protocoles additionnels, ne sont toutefois pas encore universellement appliqués, ce qui limite l'efficacité du cadre juridique international dans le domaine nucléaire. Il faudrait que la communauté internationale favorise activement la mise en œuvre universelle du cadre juridique international dans le domaine nucléaire, veille à ce que tous les pays qui utilisent l'énergie nucléaire à des fins pacifiques appliquent les prescriptions et les principes fondamentaux prévus par le cadre juridique national en matière nucléaire, et renforce le régime de non-prolifération, de sûreté nucléaire et de sécurité nucléaire. En effet, l'humanité doit bénéficier des avantages de l'énergie nucléaire, mais nous devons aussi protéger notre maison commune sur terre.

2.3.2. Aider les pays à mettre en place et à élargir un cadre juridique national en matière nucléaire

L'AIEA a présidé à l'élaboration d'une série de conventions internationales dans le domaine nucléaire, ainsi que d'orientations relatives à la sûreté et à la sécurité nucléaires. Tous les pays concernés doivent intégrer les prescriptions qui figurent dans les conventions internationales à leur législation nationale afin que les obligations internationales et les prescriptions correspondantes soient réellement mises en œuvre. Tout au début du développement de l'énergie nucléaire, les pays primo-accédants doivent mettre en place un cadre juridique qui régleme et favorise le développement sûr de cette énergie.

L'AIEA a une longue expérience de la mise en place d'un cadre juridique national en matière nucléaire et a accompli de nombreux travaux pour aider les États Membres à établir un tel cadre. Elle a par exemple rédigé le *Manuel de droit nucléaire* et son second volume (*Manuel de droit nucléaire : Législation d'application*) et a mis en œuvre un programme d'assistance législative³¹. Vu le développement de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire dans le monde, l'AIEA devrait renforcer l'assistance législative en matière nucléaire pour les États Membres qui en ont besoin, mieux faire connaître aux États Membres les instruments juridiques internationaux dans le domaine nucléaire et les aider à honorer leurs obligations et leurs engagements internationaux et à élaborer une législation nucléaire nationale.

³¹ AIEA 2006 ; AIEA 2011.

2.3.3. Continuer d'élargir et d'améliorer le cadre juridique international en matière nucléaire

Le cadre juridique international en matière nucléaire est renforcé par l'utilisation de l'énergie nucléaire et continuera certainement de s'améliorer avec le développement de cette énergie dans le monde. À l'heure actuelle, la recherche-développement sur la quatrième génération de systèmes d'énergie nucléaire s'intensifie, des modèles de petit réacteur modulaire (PRM) apparaissent l'un après l'autre et la mise au point de la fusion nucléaire progresse régulièrement, ce qui amène de nouvelles exigences pour l'élargissement et l'amélioration du cadre juridique international en matière nucléaire. En outre, la vérification des installations électronucléaires militaires au titre des garanties dans les États non dotés d'armes nucléaires pose de nouveaux défis pour le cadre juridique international en matière nucléaire.

Les PRM avancés ayant une conception normalisée et modulaire, et l'investissement initial et les exigences relatives à la sélection des sites étant moindres que pour les autres réacteurs, ils peuvent être installés avec une certaine liberté. Certains PRM peuvent être installés dans des zones urbaines où la consommation d'électricité et la densité de population sont fortes, et d'autres peuvent être installés en mer, loin des côtes. La gestion de la sûreté et de la sécurité dans des scénarios particuliers d'utilisation des PRM et la définition des prescriptions techniques et réglementaires applicables sont des questions importantes, que la communauté internationale doit résoudre dans les plus brefs délais.

À terme, la fusion nucléaire est l'un des moyens qui permettent de résoudre les problèmes énergétiques et environnementaux. Elle est une forme de production d'énergie nucléaire et les risques radiologiques ne peuvent être complètement éliminés. La conception, la construction, l'exploitation et le déclassé des installations de fusion devraient faire l'objet de contrôles de sûreté nucléaire et être soumis au cadre législatif et réglementaire correspondant. En outre, on ne peut exclure que, lors d'utilisations pacifiques de la fusion nucléaire, les matières et les technologies concernées soient exploitées pour fabriquer des armes thermonucléaires. La communauté internationale doit donc sans retard intensifier les recherches afin de définir les prescriptions relatives à la sûreté, à la sécurité et à l'utilisation pacifique dans les plus brefs délais pour la mise au point et l'utilisation de la fusion nucléaire, afin d'établir un cadre juridique pour l'emploi de ce procédé à grande échelle.

L'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire est une aspiration commune à tous les pays du monde, et il est de notre responsabilité collective de veiller à la sûreté, à la sécurité et au développement durable de l'énergie nucléaire. La communauté internationale devrait s'efforcer de promouvoir l'énergie nucléaire pour le bien de l'humanité, et favoriser l'amélioration continue du cadre juridique international dans le domaine nucléaire conformément aux principes de la paix, de

la sûreté, de la sécurité, de la responsabilité et de la coopération, en œuvrant sans relâche pour renforcer la gouvernance nucléaire mondiale, atteindre l'objectif de « l'atome pour la paix et le développement » et bâtir une communauté de destin pour les êtres humains.

RÉFÉRENCES

- Eisenhower, D. D. (1953), Discours à l'Assemblée générale des Nations Unies, 8 décembre 1953, New York.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1968), Le Système de garanties de l'Agence, (1965, provisoirement étendu en 1966 et 1968), INFCIRC/66/Rev.2.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1973), Structure et contenu des accords à conclure entre l'Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/153 (corrigé).
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1989), Statut. AIEA, Vienne
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1997), Modèle de Protocole additionnel à l'accord (aux accords) entre un État (des États) et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif(s) à l'application de garanties, INFCIRC/540.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2005), Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives : Orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2006), Manuel de droit nucléaire. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2011), Manuel de droit nucléaire : Législation d'application. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2019), Communication reçue de la mission permanente de la République du Kazakhstan auprès de l'Agence internationale de l'énergie atomique au nom des gouvernements participant au Groupe des fournisseurs nucléaires, INFCIRC/539/Rev.7.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020), Rapport annuel de l'AIEA 2020. https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2020/gc65-5_fr.pdf, page consultée le 2 novembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021) Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, Reference Data Series. IAEA, Vienna.
- International Energy Agency (IEA) (2019) Nuclear Power in a Clean Energy System. <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>, page consultée le 2 novembre 2021.
- National Nuclear Safety Administration (NNSA) of the People's Republic of China (2020) 2020 Annual Report. <https://nnsa.mee.gov.cn/ztlz/haqnb/202106/P020210629665594621226.pdf>, page consultée le 2 novembre 2021.

- State Council of the People's Republic of China (1986) Regulations on the Safety Supervision and Administration of Civil Nuclear Facilities. http://www.nea.gov.cn/2017-11/03/c_136725275.htm, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (1987) Regulations on the Management and Control of Nuclear Materials. http://www.nea.gov.cn/2017-11/03/c_136725276.htm, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (1993) Regulations on the Emergency Management of Nuclear Power Plant Accidents. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn150237.pdf>, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (1997) Regulations on Nuclear Export Control. <https://www.fmprc.gov.cn/ce/cgvienna/eng/dbtyw/fks/t127622.htm>, page consultée le 2 novembre 2021. State Council of the People's Republic of China (1998) Regulations on Export Control of Nuclear Dual-Use Products and Related Technologies. <https://www.fmprc.gov.cn/ce/cgvienna/eng/dbtyw/fks/t127623.htm>, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (2005) Regulations on the Safety and Protection of Radioisotopes and Radiation Devices. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn152926.pdf>, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (2007) Regulations on the Supervision and Administration of Civil Nuclear Safety Equipment. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn149833.pdf>, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (2009) Regulations on Supervision and Administration of the Transport of Radioactive Materials. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn153827.pdf>, page consultée le 2 novembre 2021.
- State Council of the People's Republic of China (2011) Regulations on the Safety Management of Radioactive Waste. http://www.gov.cn/zwgk/2011-12/29/content_2033177.htm, page consultée le 2 novembre 2021.
- The Central People's Government of China (2003) Law on the Prevention and Control of Radioactive Pollution (PRC Presidential Order No. 6 of 2003) https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p_lang=en&p_isn=76093, page consultée le 2 novembre 2021.
- Tingke Z, Minrong L, Qilong P (2021) China Nuclear Energy Development Report. Social Sciences Literature Press, Beijing.

Les opinions exprimées dans le présent chapitre sont celles de l'auteur ou des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

3. CADRE JURIDIQUE INTERNATIONAL DANS LE CONTEXTE DES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES ET DES CENTRALES NUCLÉAIRES TRANSPORTABLES : PROBLÈMES ET PERSPECTIVES, SOUS L'ANGLE DE VUE RUSSE

Andrey Popov

Résumé Les petits réacteurs modulaires (PRM) pourraient jouer un rôle déterminant dans la fourniture d'une électricité propre et abordable (et d'un bon rapport coût-efficacité) aux régions en développement. Le déploiement de réacteurs de ce type nécessite un cadre juridique transparent et équilibré, qui définira les modalités et les limites de la responsabilité partagée entre le pays hôte et le pays fournisseur, en particulier dans le cas de projets innovants de PRM flottants. L'expérience juridique acquise dans le domaine des navires à propulsion nucléaire et des installations nucléaires peut être mise à profit aux fins de l'élaboration d'approches réglementaires adaptées aux PRM flottants. Le présent chapitre propose une analyse de l'applicabilité aux PRM flottants des conventions internationales en vigueur, notamment de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (1974), des accords de garanties de l'AIEA et des instruments relatifs à la responsabilité civile. On y trouve également quelques pistes de réflexion en vue de l'élaboration d'un futur cadre juridique pour les PRM flottants.

Mots clés Petits réacteurs modulaires (PRM) • Unité flottante de production d'électricité • Convention internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (Convention SOLAS) • Garanties de l'AIEA • Responsabilité civile • Technologie des réacteurs

3.1. INTRODUCTION

Dans un contexte marqué par une prise de conscience grandissante des enjeux environnementaux, il devient pressant de relever le défi de la décarbonation et de trouver de nouveaux moyens permettant de répondre efficacement à l'accroissement des besoins en énergie. Si nous voulons atteindre les objectifs de développement durable (ODD) définis par les Nations Unies dans



*Fig. 3.1 L'unité flottante de production d'électricité Akademik Lomonosov sur le site de Pevek.
Source : Rosatom (2019).*

le Programme de développement durable à l'horizon 2030¹, nous devons fournir aux régions en développement une électricité qui soit propre et abordable (et d'un bon rapport coût-efficacité).

Selon le rapport de l'AIEA intitulé « Advances in Small Modular Reactor Technology Developments² », il existe plus de 70 projets différents de petits réacteurs modulaires (PRM) terrestres, marins et sous-marins dans le monde, dont 17 ont été développés par des concepteurs russes. Pour les besoins de cet article, et en l'absence de définition commune, on entend par « petit réacteur modulaire » ou « PRM » une centrale nucléaire dotée d'un réacteur modulaire d'une capacité pouvant aller jusqu'à 300 MWe.

La plupart des projets de PRM existants reposent sur la technologie éprouvée et largement adoptée des réacteurs à eau sous pression (REP). Le réacteur KLT-40S, qui bénéficie de plus de 400 années-réacteurs d'expérience

¹ Assemblée générale des Nations Unies 2015.

² AIEA 2020a.

accumulées dans l'exploitation de ce type de réacteur sur des brise-glace nucléaires, ne fait pas exception. Le KLT-40S est installé sur l'unité flottante de production d'électricité *Akademik Lomonosov* (voir la figure 3.1), qui fait l'objet d'une exploitation commerciale réussie depuis 2020 et démontre une grande efficacité dans les conditions difficiles du nord de la Russie. Au vu de l'expérience accumulée à l'échelle mondiale dans le domaine de l'exploitation de REP ainsi que de l'expérience acquise dans l'exploitation de réacteurs de brise-glace dans l'Arctique, nous pouvons affirmer que, du point de vue technique comme sur le plan de la sûreté, les PRM russes sont prêts pour une commercialisation à grande échelle (fig. 3.1).

La recherche de solutions au problème du rapport coût-efficacité a ouvert la voie à une coopération internationale dans le cadre des projets de PRM, tout en mettant en évidence le constat suivant : pour mettre efficacement en œuvre ces projets, il faut non seulement maîtriser la technologie et démontrer son intérêt économique, mais aussi instaurer un cadre juridique transparent et équilibré qui définira les modalités et les limites de la responsabilité partagée entre le pays hôte et le pays fournisseur, surtout dans le cas de projets innovants de PRM flottants. Compte tenu de la complexité technique et des longs cycles de vie qui la caractérisent, l'industrie électronucléaire ne devrait pas être perturbée par des changements temporaires dans l'environnement politique, ce qui est inenvisageable sans une réglementation juridique claire et cohérente des projets nucléaires internationaux.

3.2. APPROCHES RELATIVES AU CONTRÔLE RÉGLEMENTAIRE DES PRM FLOTTANTS

Le caractère transfrontière du cycle de vie des PRM soulève des problèmes d'ordre transfrontière concernant la répartition des responsabilités entre les parties prenantes des projets.

Les premiers projets dans le cadre desquels une installation nucléaire est exploitée par un organisme exploitant d'un État, se déplace par voie maritime et peut traverser les frontières d'autres États remontent aux années 1950 et 1970. Le navire de ligne *N.S. Savannah* (États-Unis d'Amérique) et les navires marchands *Otto Hahn* (Allemagne) et *Mutsu* (Japon) étaient des bâtiments automoteurs propulsés par des centrales nucléaires de petite taille. L'URSS a également déployé plusieurs projets de brise-glace à propulsion nucléaire, tels que le *Lénine*, l'*Arktika* et le *Siberia*. Au fur et à mesure de l'expérience acquise dans la mise en œuvre de ces projets inédits, un cadre réglementaire spécial a commencé à prendre forme au niveau international. En particulier, le chapitre VIII consacré aux navires automoteurs à propulsion nucléaire a été ajouté à la Convention

internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (Convention SOLAS³) et une version préliminaire de la Convention internationale de 1962 relative à la responsabilité des exploitants de navires nucléaires a vu le jour.

Le développement du cadre juridique et réglementaire a connu un coup d'arrêt dès lors qu'on a constaté que la technologie de navire automoteur à propulsion nucléaire ne parvenait pas à atteindre les indicateurs de rentabilité attendus et ne suscitait pas de demande sur le marché. Ainsi, la Convention internationale de 1962 relative à la responsabilité des exploitants de navires nucléaires n'est pas entrée en vigueur, car aucun des États possédant des navires nucléaires ne l'a signée⁴. Aujourd'hui, la flotte de navires civils automoteurs à propulsion nucléaire opère exclusivement dans les eaux russes de l'Arctique, où elle permet de naviguer dans des conditions de glace difficiles et de réaliser des tâches nécessaires au développement de la Route maritime du nord. Les brise-glace nucléaires et le navire cargo nucléaire *Sevmorput* sont conformes aux prescriptions de la Convention SOLAS ainsi qu'à celles de la législation nucléaire et maritime russe ; leur exploitation est sûre, comme en témoignent les autorisations octroyées par Rostekhnadzor (organisme de réglementation nucléaire russe) et les certificats délivrés par le Registre maritime russe (organisme de réglementation maritime russe).

L'expérience acquise sur le plan juridique en ce qui concerne les navires à propulsion nucléaire peut être mise à profit aux fins de l'élaboration d'approches réglementaires applicables aux PRM flottants. Bien sûr, les instruments internationaux, y compris la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982, ont été établis il y a plus d'un demi-siècle et ne comportent pas de dispositions particulières pour les navires non automoteurs dotés de réacteurs nucléaires, mais il est possible de les adapter pour les rendre applicables. En particulier, le Recueil de règles de sécurité applicables aux navires de commerce nucléaires de 1981⁵ prend en compte les principes établis et reconnus de la construction navale et de la technologie marine et nucléaire qui existaient à l'époque de son élaboration et se limite aux seuls navires propulsés par des réacteurs nucléaires. Toutefois, le chapitre I du Recueil stipule que le texte devra être révisé compte tenu des avancées technologiques⁶.

La Convention SOLAS constitue l'un des principaux instruments internationaux régissant l'exploitation sûre des navires. Dans l'état actuel des

³ Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer, ouverte à la signature le 1^{er} novembre 1974 et entrée en vigueur le 25 mai 1980 (Convention SOLAS).

⁴ Convention internationale relative à la responsabilité des exploitants de navires nucléaires, ouverte à la signature le 25 mai 1962.

⁵ OMI 1981.

⁶ Convention SOLAS, *supra*, note 3.

choses, son application aux PRM flottants doit être clarifiée. La conformité aux prescriptions de la Convention SOLAS est nécessaire pour promouvoir une meilleure protection de la vie humaine en mer. À cet égard, la conception et la construction de l'unité flottante de production d'électricité *Akademik Lomonosov*, de même que la conception d'unités de ce type optimisées, respectent de fait l'ensemble des codes et prescriptions qui s'appliquent aux navires, tant au plan national qu'international. L'affirmation progressive du statut juridique des PRM flottants réduira l'influence des facteurs politiques sur la mise en œuvre des projets internationaux et rendra la réglementation du cycle de vie de ces réacteurs plus prévisible et mieux structurée à l'échelle mondiale.

Par la suite, une fois que l'on aura acquis de l'expérience dans l'exploitation de PRM flottants au niveau national dans les pays fournisseurs, il sera nécessaire d'établir des critères et prescriptions internationalement reconnus relatifs à la sûreté des navires non automoteurs dotés de réacteurs nucléaires, qui pourront être regroupés dans un code distinct, à l'image du Recueil de règles de sécurité applicables aux navires de commerce nucléaires⁷. Ces critères permettront, d'une part, au développeur et à l'organisme exploitant d'élaborer à l'avance toute la documentation requise pour justifier l'exploitation et, d'autre part, aux parties prenantes d'évaluer de manière objective le degré de sûreté de l'exploitation.

3.3. SPÉCIFICITÉS ET APPROCHES DE LA CONVENTION SOLAS EN MATIÈRE D'OCTROI D'AUTORISATIONS

Les particularités du cycle de vie des PRM flottants rendent impossible l'application directe des procédures utilisées dans l'industrie électronucléaire conventionnelle.

Il faut généralement obtenir une autorisation de construction auprès de l'organisme de réglementation national du pays hôte, lequel délivre ensuite une autorisation d'exploitation. Les PRM flottants étant conçus et construits dans le pays fournisseur, ils devraient se conformer pleinement aux réglementations de ce dernier. Une fois la construction d'un PRM achevée, l'organisme de réglementation du pays fournisseur délivre une autorisation d'exploitation, le transport jusqu'au pays hôte étant considéré comme une des étapes de l'exploitation du réacteur. Dans la mesure où le PRM flottant sera également exploité dans le pays hôte, l'approche conventionnelle voudrait que l'organisme de réglementation du pays hôte évalue également la conformité du réacteur à ses réglementations. Une telle procédure signifierait que les mêmes documents seraient examinés par deux organismes de réglementation nationaux. Qui plus

⁷ OMI 1981.

est, apporter des modifications à la conception en fonction des observations de l'organisme de réglementation du pays hôte est absolument impossible dans le cas d'un PRM flottant, sachant que la construction, le chargement en combustible, le premier essai de criticité et la mise en service du réacteur s'effectuent dans le pays fournisseur conformément aux normes qui y sont en vigueur.

Les procédures élaborées pour les navires nucléaires et inscrites dans la Convention SOLAS énoncent les conditions nécessaires à une approche optimisée de l'octroi d'autorisations pour les PRM flottants. Conformément aux dispositions de la Convention, les normes de conception, de construction et d'inspection applicables à la fabrication et à l'installation d'un réacteur devraient satisfaire aux exigences de l'État du pavillon du navire nucléaire et être approuvées par celui-ci. Sur la base du rapport de sûreté, l'organisme exploitant prépare et soumet à l'approbation de l'État du pavillon un document d'information sur la sûreté pour confirmer que le réacteur ne présente pas de risque radiologique ou autre risque nucléaire excessif.

Les informations relatives à la sûreté sont fournies bien à l'avance aux gouvernements des pays qui sont traversés par le navire nucléaire ou qui l'accueillent.

L'application des principes énoncés dans la Convention SOLAS aux unités flottantes de production d'électricité dotées d'installations nucléaires évitera l'octroi d'une double autorisation en cas de respect des prescriptions de sûreté, sachant que l'organisme de réglementation du pays hôte a la possibilité de participer à l'examen des informations relatives à la sûreté du navire afin de prendre une décision éclairée quant à savoir si une unité flottante de production d'électricité peut ou non être exploitée dans le pays hôte. Pour assurer une application efficace de cette procédure, celle-ci peut être décrite en détail dans un accord intergouvernemental conclu entre le pays fournisseur et le pays hôte.

3.4. APPUI JURIDIQUE AU TRANSPORT DE PRM FLOTTANTS

L'étape du transport, durant laquelle on déplace le PRM flottant, avec le réacteur chargé de combustible et à l'arrêt, est une nouvelle étape du cycle de vie et l'une des plus complexes en termes d'appui juridique. Le PRM flottant peut être transporté soit par remorquage, soit à bord d'un navire prévu à cet effet. L'*Akademik Lomonosov* a été remorqué de Saint-Petersbourg jusqu'à Mourmansk, mais il s'agit d'une méthode de transport assez complexe pour des déplacements sur de longues distances, car il faut effectuer une demande de remorquage, bénéficier de conditions météorologiques clémentes et prendre en compte d'autres variables.

Le transport à bord d'un navire semble être une option plus efficace sur de longues distances, dans la mesure où un navire automoteur s'adapte mieux aux changements météorologiques. Ce mode de transport est couramment employé pour transporter des infrastructures aussi complexes que des plateformes pétrolières offshore. On dispose également d'une vaste expérience pour ce qui est de recourir à des navires pour transporter des installations nucléaires.

L'option de transport par navire est similaire au transport maritime de combustible nucléaire, mais les prescriptions applicables aux châteaux de transport de combustible nucléaire ne peuvent pas être directement appliquées aux PRM flottants. En tant que navire, un PRM flottant peut être considéré comme un moyen de transport dans lequel les matières nucléaires font partie intégrante de la centrale nucléaire, ce qui le distingue d'un navire transporteur de matières nucléaires, où le château constitue une cargaison embarquée sur le navire qui peut être facilement retirée par une modification du navire.

La réglementation juridique internationale en vigueur n'interdit pas le transport maritime d'un PRM flottant chargé de combustible nucléaire à bord d'un autre navire, mais il n'existe pas de dispositions spéciales pour ce type de transport. Un PRM flottant peut être transporté sur un navire comme une cargaison. Conformément à la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982⁸, un navire transportant un PRM flottant jouit du droit à la liberté de navigation en haute mer et dans les zones économiques exclusives, ainsi que du droit de passage inoffensif dans la mer territoriale de pays tiers.

Toutefois, même dans le cas du transport de matières nucléaires couvert par un cadre juridique complexe, il y a eu des précédents dans la pratique internationale où l'on a vu certains pays exprimer leur mécontentement concernant le transit de cargaisons dangereuses dans leur zone économique exclusive.

Ces situations montrent que les décisions en matière d'énergie nucléaire sont tributaires de facteurs politiques et de l'opinion publique, et mettent en évidence l'importance des activités de sensibilisation que mène l'AIEA dans le domaine de la sûreté du transport des matières nucléaires. À force d'engranger des connaissances et de l'expérience en matière d'exploitation exempte d'accidents, nous serons en mesure de réduire cette dépendance à l'avenir.

Pour l'heure, le cadre réglementaire suffit amplement pour mettre en œuvre des projets pilotes et l'on peut, en parallèle, établir des procédures distinctes dans le cadre d'accords spéciaux.

⁸ Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, ouverte à la signature le 10 décembre 1982 et entrée en vigueur le 16 novembre 1994.

3.5. GARANTIES DE L'AIEA

L'une des principales caractéristiques des PRM flottants réside dans leur transport entre différents États durant leur cycle de vie. Les matières nucléaires sont soumises à un accord de garanties entre l'État fournisseur et l'AIEA jusqu'au transfert de la responsabilité, et au plus tard jusqu'à l'arrivée du PRM dans le pays hôte. Dès lors, les matières nucléaires sont soumises à l'accord conclu par le pays hôte avec l'AIEA, ce qui signifie que le pays hôte est tenu d'en assurer la comptabilité et le contrôle, d'en garantir l'accès aux inspecteurs de l'AIEA et d'établir des rapports à leur sujet.

Il convient de noter que les prescriptions en matière de garanties diffèrent sensiblement entre les États non dotés d'armes nucléaires ayant conclu des accords de garanties généralisées⁹ et les États dotés d'armes nucléaires liés par des accords de soumission volontaire¹⁰. Contrairement aux États qui ne disposent pas d'armes nucléaires, ceux qui en sont dotés ne sont pas tenus de fournir à l'AIEA les renseignements descriptifs relatifs à leurs installations ni d'accorder aux inspecteurs de l'AIEA un accès au combustible des PRM à des fins de vérification avant l'expédition.

Ainsi, l'application des garanties de l'AIEA nécessitera de nouvelles solutions sur les plans juridique et technique. Dans le cadre du programme d'appui d'États Membres en matière de garanties, l'AIEA et la Fédération de Russie coopèrent afin d'élaborer des approches destinées à permettre l'application des garanties de l'AIEA aux unités nucléaires flottantes de production d'électricité conçues en Fédération de Russie selon le principe d'intégration des garanties dans la conception.

3.6. LES PRM FLOTTANTS ET LA RESPONSABILITÉ CIVILE EN MATIÈRE DE DOMMAGES NUCLÉAIRES

La Convention de Vienne de 1963 relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires (Convention de Vienne¹¹), la Convention de 1960 sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire (Convention de

⁹ AIEA 1975.

¹⁰ À titre d'exemple, voir AIEA 1985.

¹¹ Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, ouverte à la signature le 21 mai 1963 et entrée en vigueur le 12 novembre 1977 (Convention de Vienne).

Paris¹²) et la Convention de 1997 sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires (CRC¹³) contiennent des dispositions qui exonèrent les réacteurs nucléaires à bord de navires, que ces réacteurs soient utilisés pour la propulsion du navire ou à toute autre fin. D'après les conclusions du Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX) de l'AIEA, chargé de conseiller le Directeur général de l'AIEA, l'exonération ne devrait pas s'appliquer aux PRM flottants. Dans la version actualisée des commentaires relatifs à la Convention de Vienne, telle qu'entrée en vigueur en 1997, et à la CRC publiée par l'AIEA en 2020¹⁴, il est précisé qu'une centrale nucléaire transportée se trouvant dans une position fixe (à savoir, dans le cas d'un réacteur flottant, ancré ou amarré à la rive, et attaché à celle-ci par des câbles électriques) serait considérée comme une « installation nucléaire » et serait donc soumise au régime de la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires. Dans un tel cas, l'État où est exploité le réacteur (y compris les eaux territoriales) sera l'« État responsable de la centrale ».

À la lumière de l'avis exprimé par l'INLEX quant à la responsabilité partagée en matière de dommages nucléaires lors du déplacement de PRM flottants, il convient de tenir compte du fait que le transport de ce type d'installation serait considéré comme un transport de matières nucléaires au sens de la Convention de Vienne.

Ainsi, la Convention de Vienne fournit actuellement le scénario le plus transparent en ce qui concerne la mise en œuvre de projets de PRM flottants. Sans préjudice des dispositions de la Convention de Vienne à l'égard de ses membres, les questions de responsabilité civile en matière de dommages nucléaires pourraient être réglées en vertu d'un accord intergouvernemental entre le pays fournisseur et le pays hôte et, au besoin, en vertu d'accords avec les pays de transit.

La plupart des États Membres respectent la position de l'INLEX. Le consensus des experts au niveau international laisse entrevoir des perspectives encourageantes pour la mise en œuvre de projets pilotes de PRM flottants et témoigne de l'intérêt que suscitent ces projets à l'échelle mondiale. L'adoption de démarches similaires dans l'esprit de la Convention de Paris pourrait consolider l'approche établie et faciliter le développement de projets de PRM flottants.

¹² Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, ouverte à la signature le 29 juillet 1960 et entrée en vigueur le 1^{er} avril 1968 (Convention de Paris).

¹³ Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 15 avril 2015 (CRC).

¹⁴ AIEA 2020b.

3.7. INITIATIVES DE L'AIEA EN FAVEUR DE L'EXAMEN DES QUESTIONS D'APPUI JURIDIQUE CONCERNANT LES PRM FLOTTANTS

Consciente de l'urgence qu'il y a à instaurer des approches communes en matière d'encadrement juridique et réglementaire des PRM flottants, l'AIEA a soumis les questions entourant la réglementation du cycle de vie de ces installations à l'examen de la communauté des experts dans le cadre de différents projets, en complément des discussions qui se déroulent au sein de l'INLEX. Entre autres choses, l'AIEA, sous la coordination du Département de l'énergie nucléaire, met actuellement en œuvre à l'échelle de l'Agence un projet consacré aux PRM afin d'étudier en détail les questions que soulève l'utilisation de cette technologie. L'AIEA dispose également d'un groupe permanent sur les PRM qui est chargé de se pencher sur ces enjeux.

Plus particulièrement, une analyse des aspects juridiques et institutionnels de la mise en œuvre de projets de PRM terrestres, marins et sous-marins transportables est en cours depuis 2011 dans le cadre du Projet international sur les réacteurs nucléaires et les cycles du combustible nucléaire innovants (INPRO). À la lumière des résultats de la première phase, un rapport intitulé « Legal and Institutional Issues of Transportable Nuclear Power Plants: A Preliminary Study » a été publié en 2013 ; on y trouve une analyse multidimensionnelle de haut niveau de l'exécution de projets de PRM transportables. La deuxième phase de ces travaux, à laquelle participent des experts de l'Arménie, du Canada, des États-Unis d'Amérique, de la Fédération de Russie, de la Finlande, de la France, de l'Indonésie et de la Roumanie, s'achèvera bientôt. Le rapport sur l'étude de cas pour l'implantation d'un petit réacteur modulaire chargé en combustible à l'usine devrait être publié en 2022. L'importance de la deuxième phase du projet tient au fait que les questions concernant la mise en œuvre du cycle de vie sont abordées de manière systématique, et non séparément, en tenant compte de leur influence mutuelle.

En l'absence d'expérience pratique dans l'exécution de projets de PRM transfrontières, le travail visant à appréhender les problèmes à résoudre par les pays engagés dans le projet semble pertinent. Toutefois, il se peut que le projet réel diffère considérablement du projet théorique, et le développement du cadre juridique pour les projets de PRM devra se poursuivre sur la base de l'expérience qui sera acquise lors de la mise en œuvre de projets pilotes. Les meilleures pratiques tirées des projets mis en œuvre et la mise en service de différents modèles de PRM serviront de base pour établir le cadre juridique et réglementaire de ces installations, y compris des unités nucléaires flottantes de production d'électricité.

En 2021, on a examiné sur plusieurs sites de l'AIEA des approches conceptuelles des prescriptions de sûreté nucléaire et radiologique applicables au transport d'une variété de modèles de PRM. Un groupe de travail ad hoc est en cours de création au sein du comité de l'AIEA chargé des normes de sûreté pour le transport des matières radioactives. Il examinera, avec le concours de l'Organisation maritime internationale, la relation entre les documents de l'AIEA, notamment le Règlement de transport des matières radioactives¹⁵, et les documents de droit maritime existants. Les experts participant à ces travaux devraient s'appuyer sur des approches intersectorielles pour intégrer le droit maritime et le droit nucléaire afin de trouver une base commune propice à une coopération efficace.

3.8. CONCLUSION

Depuis toujours, les cadres juridiques ont un temps de retard sur les innovations technologiques, et il arrive que ce décalage persiste pendant des décennies. Pour que le déploiement de petits réacteurs modulaires soit possible, il faut réduire le laps de temps entre le moment où la technologie est mise au point et déployée et celui où un cadre juridique est instauré. Il convient donc d'accroître le rythme et l'intensité des efforts entourant le cadre juridique et réglementaire international.

Comme la pandémie de COVID-19 a permis de le constater, un approvisionnement électrique stable joue un rôle important dans la prévention des maladies, qu'il s'agisse d'alimenter des installations médicales en électricité et en eau propre pour assurer les conditions d'hygiène nécessaires ou encore de fournir des services basés sur les technologies de l'information et de la communication. Dans ce contexte, le développement de PRM est apparu plus pertinent que jamais.

À l'heure actuelle, le cadre juridique international n'interdit pas les projets de PRM innovants. Cela étant, le manque d'expérience internationale dans la mise en œuvre de projets de PRM transportables fait qu'il est impossible de créer un cadre juridique et réglementaire détaillé, semblable à celui qui est aujourd'hui en place pour les centrales nucléaires conventionnelles de grande puissance. À cet égard, les projets pilotes qui seront mis en place vont nécessiter des accords de base et des modifications des principales conventions, qui permettront de rendre applicables aux PRM flottants les prescriptions, règles et procédures qui sont déjà en vigueur pour garantir la sûreté. L'élaboration de dispositions détaillées sera possible dans le cadre d'accords intergouvernementaux, qui tiendront compte des

¹⁵ 2018.

particularités propres à chaque projet pilote. Les meilleures pratiques serviront de base à l'élaboration du cadre juridique et réglementaire des PRM lors des phases ultérieures de développement des projets.

L'initiative prise par l'AIEA d'organiser la première conférence sur le droit nucléaire est on ne peut plus opportune. Cette manifestation peut être l'occasion d'échanger des données d'expérience et des opinions afin de mettre en lumière les défis qui se posent actuellement dans le développement de sources d'énergie innovantes. Il est important que les résultats de la conférence se traduisent par un plan d'action concret dans les domaines nécessaires de la coopération internationale. Forte de sa vaste expérience en matière d'énergie nucléaire, la Corporation d'État de l'énergie atomique « ROSATOM » est prête à s'engager plus avant dans l'actualisation des codes internationaux afin de créer des conditions stables pour la mise en œuvre des projets de PRM.

RÉFÉRENCES

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1975), Structure et contenu des accords à conclure entre l'Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/153 (corrigé). https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc153_fr.pdf, page consultée le 6 septembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1985) The Text of the Agreement of 21 February 1985 Between the Union of Soviet Socialist Republics and the Agency for the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics, INFCIRC/327. <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc327.pdf>, page consultée le 6 septembre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2018), Règlement de transport des matières radioactives. N° SSR-6 (Rev.1) de la collection Normes de sûreté de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition. https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf, page consultée le 6 septembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage – Explanatory Texts. International Law Series No. 3 (Rev.2). IAEA, Vienna.
- Organisation maritime internationale (OMI) (1981), Recueil de règles de sécurité applicables aux navires de commerce nucléaires, résolution A.491(XII). [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.491\(12\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.491(12).pdf) (en anglais), page consultée le 6 septembre 2021.

Assemblée générale des Nations Unies (2015), Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030, A/RES/70/1. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/%20RES/70/1&Lang=F, page consultée le 6 septembre 2021.

Les opinions exprimées dans le présent chapitre sont celles de l'auteur ou des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

4. LES GRANDES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DU DROIT NUCLÉAIRE : VOYAGE AU CŒUR DE LA RÉGLEMENTATION NUCLÉAIRE

Stephen Burns

Résumé L'évolution du cadre juridique en matière nucléaire est intéressante et montre une détermination à traiter les principaux aspects des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire par différentes approches, à l'aide de conventions et de traités contraignants et d'orientations et de codes non contraignants. Ce cadre complexe, constitué d'instruments de droit contraignant et d'instruments de droit souple a évolué à la suite d'événements mobilisateurs. Une meilleure harmonisation et un engagement pour que les organismes nationaux et internationaux soient transparents et prêts à dialoguer de manière constructive avec les parties prenantes faciliteront l'évolution du régime juridique à l'avenir. Les conseillers juridiques continueront de jouer un rôle important en aidant les décideurs et les experts techniques à élaborer des approches exhaustives et efficaces pour faire évoluer le cadre de l'énergie nucléaire et de sa réglementation. Pour ces délibérations, plusieurs points essentiels devraient être mis en évidence. Dans le présent chapitre, il est avancé que ces éléments sont la confiance des parties prenantes, de fortes capacités institutionnelles et l'intégration des normes et des instruments internationaux au cadre national.

Mots clés Réglementation nucléaire • Utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire • Conventions et traités contraignants • Orientations et codes non contraignants • Conseillers juridiques • Sûreté et sécurité • Principe de permission • Droit souple • Droit contraignant

4.1. INTRODUCTION

La convocation par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de la première Conférence internationale sur le droit nucléaire, sur le thème « Le débat mondial » à Vienne, est l'occasion de réfléchir à l'évolution du droit nucléaire depuis l'allocution « Atomes pour la paix », prononcée par le Président Eisenhower devant l'Assemblée générale des Nations Unies en décembre 1953. Dans ce discours, M. Eisenhower a exposé une idée qui consistait à orienter les techniques nucléaires vers des utilisations pacifiques et l'on peut dire que ses propos ont inspiré la création de l'AIEA en 1957. Depuis cette époque, le droit

nucléaire s'est construit autour des notions générales de sûreté, de sécurité et des garanties, et l'on peut affirmer que l'accent a été mis plus particulièrement sur l'intégration réciproque de ces notions au cours des dernières années. Comme le montre le *Manuel de droit nucléaire*¹, plusieurs principes caractérisent le droit nucléaire tel qu'il a évolué et a été appliqué dans le cadre des régimes nationaux et internationaux².

Mon propre voyage au cœur de la réglementation nucléaire a commencé juste après que j'ai obtenu mon diplôme de la faculté de droit en 1978, peu de temps avant l'accident de Three Mile Island, lorsque j'ai commencé à travailler comme avocat à la Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis (NRC). Au fil des ans, je me suis occupé d'un large éventail de questions de sûreté et de sécurité dont la Commission était saisie. En tant qu'avocat, mon rôle consistait à conseiller et à représenter le personnel technique de la NRC dans des affaires qui concernaient la définition de normes, la délivrance d'autorisations, les inspections ou le contrôle des installations électronucléaires et des matières radioactives. Ma principale implication dans les aspects internationaux du droit et de la réglementation nucléaires a surtout eu lieu au cours des 20 dernières années, lorsque j'ai exercé les fonctions d'avocat principal à la NRC, puis de chef des affaires juridiques de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (OCDE/AEN) et enfin de commissaire à la NRC et de président de cet organisme. Dans le présent chapitre, je souhaite décrire plusieurs caractéristiques du droit nucléaire, surtout parce qu'elles ont influé sur le cadre réglementaire, exposer plus en détail le contexte dans lequel des conseils juridiques sont donnés et une bonne réglementation est élaborée, et enfin réfléchir aux défis à venir.

4.2. RÉGLEMENTATION NUCLÉAIRE : CARACTÉRISTIQUES ET TENSIONS

4.2.1. Les activités nucléaires ont été réglementées dès le départ

Les activités et l'industrie nucléaires présentent une caractéristique intéressante : elles ont été réglementées dès l'origine. La découverte des rayons X et du radium n'a donné lieu à une réglementation systématique que bien après leur utilisation initiale en médecine et pour d'autres applications, mais le développement de l'énergie nucléaire et l'accès aux matières nucléaires ont été

¹ Stoiber *et al.* 2006.

² Ces principes sont les suivants : sûreté, sécurité, responsabilité, permission, contrôle permanent, indemnisation, développement durable, conformité, indépendance, transparence et coopération internationale.

contrôlés par les autorités nationales dès le départ. Cette démarche témoigne de la tension qui existe entre le désir d'empêcher que ces matières soient utilisées pour fabriquer des armes et celui de promouvoir les utilisations pacifiques. Le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) expose ces principes dans son objet, qui consiste à empêcher de nouveaux États d'acquérir l'arme nucléaire et à favoriser le désarmement, tout en autorisant l'accès au matériel, aux matières et aux informations pour les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire³.

L'utilisation de matières fissiles et de sources radioactives ou l'exploitation d'installations nucléaires exige donc une autorisation ou une licence, qui est délivrée par l'autorité nationale compétente. En droit nucléaire, la nécessité d'obtenir une autorisation pour pouvoir disposer de matières et d'installations radioactives est appelée « principe de permission⁴ ». Le régime actuel est composé d'un ensemble complexe de lois et d'orientations qui sont fondés sur les principes essentiels que sont la sûreté, la sécurité et les garanties, comme il est expliqué plus haut, les thèmes privilégiés étant la radioprotection, la gestion des déchets et le déclassement, le transport, la préparation et la conduite des interventions d'urgence, la protection de l'environnement, la responsabilité, l'indemnisation et le commerce international⁵.

4.2.2. Un cadre qui s'appuie sur du droit contraignant et sur du droit souple

En toute logique, le cadre réglementaire en matière nucléaire se compose d'instruments internationaux et nationaux. Il présente néanmoins une autre caractéristique, tout aussi importante : la réglementation repose sur des conventions et des traités contraignants, ainsi que sur des orientations et des instruments non contraignants, qui sont élaborés par la communauté internationale. La différence entre instruments contraignants et instruments non contraignants est généralement décrite comme une distinction entre droit contraignant et droit souple. Ainsi, la Convention sur la protection physique des matières nucléaires (CPPMN) et son amendement de 2005 sont des exemples d'instruments de droit contraignant, où figurent certaines obligations relatives à la sécurité que les parties contractantes sont convenues d'intégrer à

³ Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968 et entré en vigueur le 5 mars 1970 (TNP).

⁴ Stoiber *et al.* 2006, p. 8.

⁵ OCDE/AEN 2022, annexe 1 ; www.iaea.org/resources/treaties/compendium-of-legal-instruments, page consultée le 27 septembre 2021.

leur programme et à leur cadre juridique nationaux⁶. En revanche, le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, publié en 2004, est un code non contraignant, vis-à-vis duquel il est instamment demandé aux États de prendre un engagement politique pour atteindre un haut niveau de sécurité de manière à contrôler les sources radioactives, notamment afin d'empêcher leur perte, l'accès non autorisé à ces sources ou leur cession illicite, et d'atténuer les dommages qui résulteraient de leur utilisation à des fins malveillantes⁷. On considère que les termes d'un traité ou d'une convention créent des prescriptions et des obligations contraignantes, mais les recommandations et les directives publiées par des organismes internationaux, « qui ne lient pas formellement les États, doivent être prises en compte par ces derniers, pour autant qu'elles sont pertinentes, de manière que les mesures, les normes et les réglementations internes adoptées soient compatibles (“con adecuación”) avec ces directives et recommandations⁸ ».

L'élaboration d'orientations et de normes peut donner plus de précisions sur les moyens d'atteindre les objectifs de sûreté et de sécurité pour les applications nucléaires. Ainsi, conformément aux attributions prévues par son Statut (article III.A.6⁹), l'AIEA peut établir ou adopter « des normes de sécurité destinées à protéger la santé et à réduire au minimum les dangers auxquels sont exposés les personnes et les biens ». L'AIEA a élaboré des normes de sûreté, qui prennent la forme de Principes fondamentaux de sûreté, de Prescriptions générales de sûreté, de Prescriptions de sûreté particulières et de guides de sûreté, qui sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un niveau élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants¹⁰. Les Principes fondamentaux de sûreté comprennent les Normes fondamentales internationales, qui ont été initialement élaborées en 1960 et sont aujourd'hui parrainées par huit organisations internationales, dont

⁶ Convention sur la protection physique des matières nucléaires, ouverte à la signature le 3 mars 1980 et entrée en vigueur le 8 février 1987 (CPPMN) ; Amendement à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, entré en vigueur le 8 mai 2016 (Amendement à la CPPMN).

⁷ AIEA 2004.

⁸ Cour internationale de Justice, *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, 20 avril 2010, C.I.J. Recueil 2010, p. 35.

⁹ AIEA 1989.

¹⁰ <https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/international-safety-standards/about-iaea-safety-standards>, page consultée le 27 septembre 2021.

l'AIEA¹¹. Les Normes fondamentales internationales reposent encore sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique.

Il convient également de noter que plusieurs conventions se sont inspirées ou ont subi l'influence d'orientations et de normes non contraignantes. La CPPMN trouve par exemple son origine dans des normes non contraignantes consacrées à la sécurité et son amendement repose sur des principes fondamentaux de sécurité¹². Les efforts déployés pour élaborer des conventions sur la notification et l'assistance en situation d'urgence n'ont porté leurs fruits qu'après l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986, mais les orientations élaborées après l'accident qui s'est produit à Three Mile Island en 1979 ont servi de base aux négociations pour les deux conventions adoptées en 1986¹³. Le préambule de la Convention sur la sûreté nucléaire (CSN) mentionne « l'engagement d'appliquer des principes fondamentaux de sûreté pour les installations nucléaires plutôt que des normes de sûreté détaillées » et affirme « qu'il existe, en matière de sûreté, des orientations définies au niveau international qui sont actualisées de temps à autre et qui peuvent donc donner des indications sur les moyens les plus récents d'atteindre un haut niveau de sûreté »¹⁴. De même, la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (Convention commune) fait état dans son préambule des Normes fondamentales internationales et des Principes de gestion des déchets radioactifs publiés par l'AIEA, et s'inspire du Code de bonne pratique sur le mouvement transfrontière international de déchets radioactifs pour ses dispositions en la matière¹⁵.

¹¹ Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Agence internationale de l'énergie atomique, Commission européenne, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Organisation internationale du Travail, Organisation mondiale de la Santé, Organisation panaméricaine de la Santé et Programme des Nations Unies pour l'environnement. Voir AIEA 2016.

¹² Lamm 2017.

¹³ Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 27 octobre 1986 (Convention sur la notification rapide) ; Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 26 février 1987 (Convention sur l'assistance) ; AIEA 1984, 1985.

¹⁴ Convention sur la sûreté nucléaire, ouverte à la signature le 20 septembre 1994 et entrée en vigueur le 24 octobre 1996 (CSN), huitième alinéa du préambule.

¹⁵ Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 18 juin 2001 (Convention commune), quatorzième alinéa du préambule et article 27 ; Wetherall 2005.

Qu'un instrument relève du droit contraignant ou du droit souple, les obligations ou les engagements qui y figurent sont repris dans le cadre réglementaire national conformément à la Constitution et au système législatif de l'État concerné, et sont présentés comme appropriés dans le régime de délivrance des licences et dans les normes réglementaires qui sont gérés par l'autorité nationale compétente. Des orientations supplémentaires concernant l'exécution des obligations relatives aux licences et des prescriptions réglementaires peuvent être publiées par l'organisme de réglementation et peuvent aussi reposer sur des orientations qui expriment un consensus dans le secteur concerné. Les États-Unis d'Amérique ont par exemple pris un engagement politique en faveur du Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives. Ainsi, la section 170h de l'*Energy Policy Act* de 2005 intitulée « Protection des sources de rayonnements » (section 2210h du titre 42 du Code des États-Unis) a intégré les principes du Code de conduite et a chargé la NRC, organisme de réglementation national, d'édicter des prescriptions conformes à ce code et applicables aux titulaires des licences qu'elle a délivrées et aux titulaires qui sont contrôlés par un État fédéré au titre du programme d'accords avec les États qui a été mis en place par la Commission. La NRC a pris des arrêtés pour les titulaires dont elle a la charge, puis a adopté un règlement (partie 37 du titre 10 du Code de la réglementation fédérale, Protection physique des quantités de matières radioactives de catégories 1 et 2) afin de renforcer les prescriptions applicables à la sécurité et au contrôle¹⁶, et a publié un guide d'application sur ce règlement¹⁷.

4.2.3. Le droit nucléaire est plus souvent de nature réactive que de nature anticipative

Dans l'ensemble, on peut dire que le droit nucléaire s'est développé davantage en réaction à des situations que de manière anticipative. Cette caractéristique peut s'expliquer par différentes raisons – degré de volonté et de prévoyance politiques pour la définition du cadre, découvertes et innovations techniques plus rapides que l'établissement de normes juridiques et effets d'événements importants sur le cadre juridique. Par certains aspects, le cadre national et international a cependant été conçu pour anticiper et définir les conditions dans lesquelles les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire pouvaient se développer.

Le Statut de l'AIEA fixe par exemple un cadre qui vise à empêcher la dissémination des armes nucléaires tout en permettant l'essor des utilisations

¹⁶ Commission de la réglementation nucléaire 2013a.

¹⁷ Commission de la réglementation nucléaire 2013b. Une deuxième révision de ce guide a été proposée début 2019.

pacifiques des techniques nucléaires. En portant création de l'AIEA, le Statut instaure une structure organisationnelle qui permettra d'atteindre ces objectifs à l'avenir. Le cadre relatif à la responsabilité nucléaire et à l'indemnisation est apparu pour anticiper le besoin d'indemniser correctement les dommages subis par les personnes et les biens à la suite d'un accident nucléaire, et favoriser le développement des techniques nucléaires par une industrie naissante¹⁸. L'accent mis sur la création d'un régime de responsabilité à la fin des années 1950 et au début des années 1960 a initialement abouti à l'adoption en 1960 de la Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire sous les auspices de l'OCDE/AEN, puis en 1963 de la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, sous les auspices de l'AIEA¹⁹.

À l'échelle nationale, les États ont évidemment eu très rapidement besoin d'établir un cadre réglementaire pour la construction d'installations nucléaires et la définition des utilisations autorisées des matières radioactives. Si l'on prend l'exemple des premières expériences des États-Unis d'Amérique, l'*Atomic Energy Act* de 1954 (loi n° 83-703) est la loi fondatrice qui a permis de construire des installations nucléaires civiles. L'alinéa b de sa section 161 instaure une procédure d'autorisation à l'issue de laquelle des activités réglementées peuvent être autorisées dans le respect des normes et règlements applicables et conformément à ce que l'organisme de l'époque (la Commission de l'énergie atomique) jugeait nécessaire ou souhaitable pour renforcer la défense et la sécurité nationales, protéger la santé ou réduire au minimum les dangers auxquels sont exposés les personnes et les biens. Au début de son activité, la Commission a autorisé la construction d'une centrale nucléaire même si une évaluation et une étude techniques complémentaires étaient nécessaires, dès lors que la décision définitive concernant la sûreté était prise avant que l'autorisation d'exploiter l'installation ne soit délivrée. Cette démarche a suscité une certaine hostilité et a été attaquée devant la Cour suprême, qui ne l'a pas désavouée²⁰. Ces premières expériences d'application de la législation et de la réglementation montrent les obstacles qui peuvent apparaître au moment où l'on cherche à établir des prescriptions lorsque de nouvelles techniques se développent.

¹⁸ Schwartz 2010.

¹⁹ Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, ouverte à la signature le 29 juillet 1960 et entrée en vigueur le 1^{er} avril 1968 (Convention de Paris) ; Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, ouverte à la signature le 21 mai 1963 et entrée en vigueur le 12 novembre 1977 (Convention de Vienne). Des protocoles additionnels portant modification de chaque convention sont entrés en vigueur depuis l'adoption initiale.

²⁰ Cour suprême des États-Unis (1961), *Power Reactor Development Corp. c. International Union*, United States Reports, vol. 367, p. 407.

Par certains aspects, ceux qui ont développé le droit nucléaire et défini son cadre ont essayé d'être prévoyants, mais l'on peut dire qu'une grande partie des décisions ont été prises en réaction à des événements importants ou à des perturbations de l'environnement juridique. Le régime de sécurité et le régime de sûreté ont tous deux évolué de cette manière. Les attentats terroristes du 11 septembre 2001 ont attiré l'attention sur la menace qui pèse sur la sécurité nucléaire et ont abouti jusqu'en 2010 à l'adoption de cinq des sept instruments juridiques contraignants sur la sécurité nucléaire qui forment le cadre de lutte contre le terrorisme²¹. Ces instruments sont l'Amendement à la CPPMN²², la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire²³ et des instruments adoptés sous les auspices de l'Organisation maritime internationale et de l'Organisation de l'aviation civile internationale²⁴. En outre, le Conseil de sécurité de l'ONU a adopté la résolution 1373 (2001), consacrée aux menaces que font peser les actes de terrorisme sur la paix et la sécurité internationales, et la résolution 1540 (2004), consacrée à la non-prolifération des armes de destruction massive, qui complètent le cadre juridique.

Les actions qui ont été menées à la suite des attentats terroristes de septembre 2001 ont également conduit à réexaminer le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, qui est non contraignant. Le Code avait été élaboré après que la question de la sûreté et de la sécurité des sources avait suscité un regain d'intérêt dans les années 1990, surtout en raison d'accidents qui avaient fait plusieurs morts auparavant, comme celui qui s'est produit à Goiânia (Brésil) en 1987, et du sentiment que le régime de contrôle des sources était inadapté dans certains pays. Une conférence de l'AIEA organisée en 1998 à Dijon sur ce sujet a facilité l'élaboration du Code, qui a finalement été approuvé en septembre 2000²⁵. Les événements de septembre 2001 ont toutefois conduit à envisager de protéger les matières contre le détournement ou une utilisation à des fins malveillantes, comme la fabrication d'engins à dispersion de radioactivité. Après un nouvel examen du Code par des experts techniques et juridiques et un débat qui s'est tenu lors d'une conférence organisée à Vienne début 2003, la version révisée du Code a été approuvée en septembre 2003 pour assurer un niveau élevé de sûreté et de sécurité afin « d'empêcher un accès non autorisé ou des dommages à des sources radioactives, ainsi que la perte, le vol et la cession non autorisée de ces sources, de manière à atténuer la probabilité

²¹ Wetherall 2016, p. 42.

²² Amendement à la CPPMN, *supra*, note 6.

²³ Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, ouverte à la signature le 14 septembre 2005 et entrée en vigueur le 7 juillet 2007.

²⁴ *Ibid.*, p. 19 et 20.

²⁵ AIEA 1999.

d'une exposition accidentelle nocive à ces sources ou leur utilisation à des fins malveillantes en vue de causer des dommages à des personnes, à la société ou à l'environnement » et « d'atténuer ou de réduire au maximum les conséquences radiologiques d'un accident ou d'un acte malveillant mettant en jeu une source radioactive²⁶ ».

L'exemple le plus spectaculaire du fait que le droit nucléaire international se développe de manière essentiellement réactive est peut-être l'apparition du cadre de sûreté après l'accident survenu en 1986 à la centrale nucléaire de Tchernobyl, en Ukraine, pays qui faisait alors partie de l'Union soviétique²⁷. Tchernobyl reste l'accident le plus grave qui s'est produit dans une installation nucléaire, surtout par le nombre de morts et les effets transfrontières. À une époque où l'internet et les médias sociaux n'étaient guère utilisés, presque personne n'a su ni compris ce qui se passait pendant plusieurs jours. Avant l'accident, il n'y avait pas de convention ou de traité international à peu près contraignant concernant la notification et l'assistance en situation d'urgence ou la sûreté des installations nucléaires. Quelques mois après l'accident, la Convention sur la notification rapide et la Convention sur l'assistance ont été négociées et sont respectivement entrées en vigueur en octobre 1986 et en février 1987. Comme il est expliqué plus haut, l'élaboration de documents d'orientation sur la notification et l'assistance dans les années qui ont suivi l'accident survenu à la centrale nucléaire de Three Mile Island a facilité la négociation rapide des conventions, tout comme le report du débat plus difficile sur la forme et la portée d'un instrument consacré à la sûreté des installations nucléaires.

Les travaux visant à élaborer une convention relative à la sûreté ont stagné pendant plusieurs années, mais, en 1990, les États membres de la Communauté européenne ont proposé de convoquer une conférence l'année suivante pour examiner la situation en matière de sûreté nucléaire et pour formuler des recommandations sur les prochaines étapes à accomplir²⁸. La Conférence générale de l'AIEA qui s'est tenue en 1990 a approuvé cette proposition et la conférence spéciale a eu lieu début septembre 1991. Plus tard dans le mois, la Conférence générale, qui disposait du compte rendu de la conférence spéciale, a pris les mesures qui ont finalement abouti à l'élaboration d'un projet de convention. Le groupe d'experts à composition non limitée chargé d'élaborer une convention sur la sûreté nucléaire s'est réuni à plusieurs reprises entre mai 1992 et février 1994 pour rédiger le texte qui a été soumis à la conférence diplomatique convoquée en juin 1994. Ouverte à la signature en septembre 1994, la CSN est entrée en vigueur en octobre 1996. L'examen d'une convention sur la

²⁶ AIEA 2003.

²⁷ Burns 2018.

²⁸ Jankowitsch 1994.

sûreté de la gestion des déchets radioactifs a été reporté, mais, conformément à l'engagement pris au neuvième alinéa du préambule de la CSN, les travaux visant à élaborer une telle convention ont repris et ont finalement abouti à l'adoption de la Convention commune en 1997. La CSN et la Convention commune sont des conventions « incitatives », par lesquelles les États sont encouragés à renforcer la sûreté au sein de leur programme national et à participer au mécanisme d'examen par des pairs prévu dans le cadre des réunions périodiques des États parties aux conventions. Pour l'évaluation de l'efficacité des conventions, le débat a porté sur la différence entre l'adoption de principes généraux de sûreté et l'adoption de normes précises, sur la priorité accordée à la responsabilité des États plutôt qu'à un régime plus international, et sur une démarche plus incitative que répressive²⁹.

Il convient également de souligner les conséquences de l'accident de Tchernobyl pour le régime de responsabilité nucléaire. Les premières conventions sur la responsabilité nucléaire ont été adoptées au début des années 1960 sous les auspices de l'OCDE/AEN et de l'AIEA, et, comme on l'a vu plus haut, peuvent être considérées comme anticipatives pour la mise en place d'un cadre de responsabilité, mais, à certains égards, l'application de ces instruments a marqué le pas. Au moment de l'accident, les États parties à la Convention de Vienne étaient peu nombreux et seuls deux d'entre eux étaient dotés de centrales nucléaires en service ; aucun pays de l'ancien bloc soviétique n'était partie à la Convention. En outre, les actions engagées auparavant pour établir un lien entre la Convention de Vienne et la Convention de Paris étaient à l'arrêt. Dans ce contexte, les effets transfrontières de l'accident de Tchernobyl ont stimulé les efforts déployés pour améliorer les conventions et mieux harmoniser les instruments existants. Le Protocole commun qui établit un lien entre la Convention de Paris et la Convention de Vienne a été négocié en 1988³⁰. D'autres négociations ont abouti à des propositions de révision de la Convention de Vienne et à une nouvelle Convention sur la réparation complémentaire en 1997. Les Parties à la Convention de Paris et à la Convention complémentaire de Bruxelles ont conclu des négociations de révision en 2004³¹. L'accident de Tchernobyl a

²⁹ Pelzer 2010, p. 88.

³⁰ Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris, ouvert à la signature le 21 septembre 1988 et entré en vigueur le 27 avril 1992 (Protocole commun).

³¹ Protocole d'amendement de la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, ouvert à la signature le 29 septembre 1997 et entré en vigueur le 4 octobre 2003 ; Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 15 avril 2015 ; Protocole portant modification de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, ouvert à la signature le 12 février 2004 et entré en vigueur le 1^{er} janvier 2022.

relancé l'examen et l'amélioration du régime de responsabilité civile, mais il a fallu un certain temps pour que les modifications des régimes soient effectives, comme en témoigne le fait que la Convention sur la réparation complémentaire et les protocoles aux Conventions de Paris et de Bruxelles adoptés en 2004 ne sont respectivement entrés en vigueur qu'en 2015 et en 2022.

4.3. PRÉPARER LE DÉFI RÉGLEMENTAIRE

4.3.1. Intégrer l'appui juridique et l'appui technique

La première partie du présent chapitre a porté sur certaines des caractéristiques et des tensions que révèle le cadre réglementaire international en matière nucléaire. Concernant les perspectives du droit nucléaire, il convient de signaler la contribution des conseillers juridiques à la mise en place et à la gestion solides des politiques et des pratiques relatives aux utilisations pacifiques de l'énergie et des matières nucléaires. Ces conseillers jouent un rôle important à l'échelle nationale et internationale. En 2019, l'AIEA a organisé une réunion sur le rôle du conseiller juridique au sein d'un organisme de réglementation, réunion à laquelle j'ai eu le plaisir de participer³². Les discussions étaient axées sur le rôle du conseiller au sein des organismes nationaux de réglementation, mais portaient aussi plus généralement sur les différents aspects de l'appui juridique.

Les participants à la réunion étaient des représentants de 24 États Membres et du personnel de l'AIEA, qui avaient un profil juridique ou technique. Les États Membres représentés se trouvaient à différents points du spectre des activités nucléaires : certains étaient dotés de programmes arrivés à maturité et d'installations nucléaires en service, d'autres ne s'occupaient que des questions de radioprotection et de la sécurité des sources radioactives et d'autres encore entreprenaient un programme électronucléaire. L'appui juridique est fourni de différentes manières : certains juristes sont employés par l'organisme de réglementation lui-même, tandis que d'autres travaillent au ministère de la justice et ont pour mission de donner des avis aux organismes publics spécialisés qui sont chargés de la réglementation nucléaire et des activités connexes, et de les représenter légalement.

D'une manière générale, les conseillers juridiques contribuent à l'adoption et à la mise en œuvre d'instruments juridiques internationaux par un État, à l'élaboration du cadre législatif et réglementaire national, à la communication d'informations à ce sujet au titre de ses obligations internationales, et aux

³² <https://www.iaea.org/newscenter/news/providing-legal-support-to-the-regulatory-body-first-meeting-of-legal-advisers-held-in-vienna>, page consultée le 27 septembre 2021.

procédures de délivrance d'autorisations, d'inspection, de contrôle et d'application de la législation et de la réglementation conformément au régime national³³. Plus précisément, les conseillers juridiques peuvent fournir une aide pour la rédaction des textes législatifs fondamentaux et des politiques gouvernementales correspondantes. Concernant le régime réglementaire, le conseiller juridique peut apporter son concours pour l'élaboration de la réglementation et des orientations connexes afin d'assurer la cohérence avec le droit en vigueur et de garantir que les textes constituent des normes homogènes, qui peuvent être appliquées. Il peut aussi fournir un appui pour la procédure d'autorisation en donnant des conseils concernant les décisions envisagées sur le plan de la cohérence avec les prescriptions réglementaires applicables. L'appui juridique est également essentiel pour évaluer les mesures coercitives envisagées. Les décisions prises par l'organisme public compétent pouvant faire l'objet d'un recours judiciaire ou administratif, la représentation légale est très importante dans ce type d'instance. Ces recours portent généralement sur l'autorisation d'activités nucléaires ou sur des questions d'application des règles, mais peuvent aussi concerner les procédures relatives à l'élaboration de normes ou les études sur l'environnement. Les conseillers juridiques peuvent aussi fournir une aide pour les relations avec les parties prenantes et pour la communication d'informations au public.

Il importe tout particulièrement de comprendre que les conseillers juridiques ne sont pas les seuls acteurs de l'élaboration de la réglementation et du droit nucléaires nationaux et internationaux. Les conseillers juridiques doivent collaborer étroitement avec les décideurs et les experts techniques pour mettre en place un cadre efficace et définir des normes détaillées cohérentes afin de répondre aux principaux objectifs de la sûreté, de la sécurité et des garanties. Le cadre juridique en matière nucléaire représente fondamentalement une synthèse des principes et des objectifs techniques et juridiques. Les experts juridiques et techniques doivent communiquer et coopérer efficacement. Comme cela a été dit lors de l'atelier organisé en 2019, la priorité accordée aux objectifs suivants devrait donc permettre de mieux intégrer les aspects juridiques et techniques du droit nucléaire, surtout pour l'application du régime réglementaire :

- a) veiller à ce que les experts juridiques et les experts techniques emploient les mêmes termes (les juristes s'intéressent généralement aux procédures et les experts techniques au contenu scientifique) et connaissent et comprennent leur rôle respectif ;
- b) veiller à ce que les experts techniques comprennent les prescriptions juridiques applicables à l'exécution de leurs fonctions réglementaires et vice versa ;

³³ AIEA 2018, par. 4.27 à 4.30, p. 25 et 26.

- c) veiller à faire connaître le rôle du conseiller juridique et de la procédure correspondante pour la fourniture d'un appui juridique ;
- d) veiller à ce que les experts techniques comprennent les avis juridiques et reconnaissent leur importance ;
- e) veiller à ce que les experts juridiques comprennent les données techniques afin que la signification technique ne soit pas perdue dans les avis juridiques ;
- f) veiller à ce que les avis juridiques reprennent ou exposent les données techniques convenablement et clairement en langage courant³⁴.

Il est indispensable de reconnaître l'importance d'une collaboration efficace entre les experts juridiques et les experts techniques pour que les institutions chargées de mettre en œuvre le cadre de contrôle national et international (c'est-à-dire la réglementation des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire) puissent s'acquitter de leur mission. Comme l'a déclaré Nils Diaz, ancien Président de la NRC, « la réglementation nucléaire est une construction technico-juridique complexe qui exige une gestion et un examen constants, indépendamment de toute question sociopolitique³⁵ ».

4.3.2. Élaborer une réglementation efficace

Comme il est expliqué plus haut dans le présent chapitre, l'utilisation de matières et d'installations nucléaires est soumise à un régime réglementaire complet, qui est géré par les institutions compétentes – conséquence du principe de permission en droit nucléaire afin de garantir la sûreté et la sécurité, ainsi que la responsabilisation des acteurs concernés. Les sources de ces normes figurent dans des orientations, des normes et des instruments internationaux, des lois et règlements nationaux, et même dans des normes et des codes industriels qui expriment un consensus.

Les organismes publics sont responsables en dernier ressort, conformément à la législation et au régime politique du pays concerné et aux instruments internationaux applicables, mais ils doivent toujours veiller à ce que les décisions et les mesures prises soient fondées sur une réflexion scientifique et technique, que ces organismes ont été chargés de mener. En outre, l'organisme de réglementation doit être constamment ouvert et transparent avec les parties prenantes afin de montrer qu'il n'y a pas d'influence indue. Comme le soulignent les conventions relatives à la sûreté, l'organisme de réglementation, en dehors de compétences techniques, doit être doté de ressources financières adéquates et durables afin de pouvoir montrer qu'il est constamment fiable et, dans l'idéal,

³⁴ AIEA 2020, annexe 3, p. 16.

³⁵ Diaz 2004.

doit avoir régulièrement des échanges avec ses homologues du monde entier et bénéficier d'un appui de leur part³⁶.

La culture et l'histoire peuvent influencer – et influent réellement – sur la perception et l'acceptation d'un régime réglementaire par le public, ce qui peut être un problème dans certains cas. En définitive, quel que soit le pays, la culture, l'histoire ou l'état de développement de l'électronucléaire, le public doit cependant faire confiance à l'organisme de réglementation, et celui-ci est tenu d'entretenir et de maintenir cette confiance. Celle-ci s'établit lorsque l'organisme de réglementation prend des décisions de manière transparente, en expliquant les conclusions auxquelles il est parvenu et après avoir examiné avec soin de nombreux avis et différentes données. L'organisme de réglementation peut renforcer la confiance en évaluant constamment l'adéquation des règles de sûreté et de sécurité au vu de l'expérience et d'une analyse, et en procédant à une évaluation du risque bien documentée.

Avant de commencer à exercer ses fonctions à la Cour suprême des États-Unis, le juge Stephen Breyer a écrit un livre sur le risque et la réglementation³⁷. Il a souligné que la mission d'un organisme de réglementation comprend généralement deux aspects : l'évaluation du risque (c'est-à-dire la mesure du risque) et la gestion du risque (c'est-à-dire comment y faire face). Pour l'évaluation du risque, les décisions se fondent sur la probabilité et les conséquences d'un événement. Pour la gestion du risque, l'organisme de réglementation use largement de son pouvoir discrétionnaire afin de prendre des décisions stables et prévisibles. Dans son livre, le juge Breyer souligne que le risque est souvent évalué de manière radicalement différente par le public et par les experts, et il écrit que « lorsque l'on gère les risques faibles, moyens et élevés de manière trop semblable, on commence à devenir alarmiste³⁸ ». La difficulté consiste donc à trouver un juste équilibre entre réglementation insuffisante et surréglementation.

L'art et la science d'une réglementation efficace peuvent être appelés « artisanat réglementaire », pour reprendre le titre de l'ouvrage que Malcolm Sparrow a consacré à cette question³⁹. En matière de sûreté nucléaire, par exemple, l'organisme de réglementation renforce la confiance en évaluant constamment le niveau de sûreté grâce à l'expérience, à l'analyse et à une évaluation du risque bien documentée. Il ne doit être ni trop laxiste, ni trop strict, et ne doit pas être isolé au point de prendre des décisions en vase clos. Il est possible d'élaborer une réglementation efficace sans imposer un fardeau inutile ni étouffer l'innovation.

³⁶ CSN, *supra*, note 14, article 8 ; Convention commune, *supra*, note 15.

³⁷ Breyer 1993.

³⁸ *Ibid.*, p. 28.

³⁹ Sparrow 2000.

Des limites doivent être fixées, mais elles doivent par exemple permettre aux exploitants de produire de l'électricité efficacement et d'innover dans le respect du régime de sûreté et de sécurité. La réalité et l'expérience d'exploitation doivent être prises en compte, tout comme l'avis du public et des parties prenantes.

Il est peu probable que tout le monde soit convaincu que l'organisme de réglementation élabore toujours consciencieusement une bonne réglementation et que les procédures qu'il applique soient transparentes, mais c'est un objectif qu'il vaut toujours la peine de poursuivre. En effet, la quête est la partie la plus importante du voyage. Chaque régime réglementaire – qu'il soit nouveau ou bien établi – doit trouver sa propre voie vers cet idéal commun. À mesure que des organismes de réglementation plus anciens aident les nouveaux organismes, à mesure que tous échangent des données d'expérience et tirent des enseignements de l'expérience des autres et à mesure que tous participent à des examens par des pairs et à d'autres mécanismes dans un cadre international, ils montrent à leur pays et au monde entier que leur gestion et leur contrôle sont sérieux. La qualité de ce travail aboutit à une bonne réglementation. Elle est importante si l'on songe aux défis qui nous attendent ou qui peuvent apparaître à l'avenir.

4.4. PERSPECTIVES

Si l'on cherche à prévoir l'avenir du secteur nucléaire, on peut essayer de détecter les tendances et les évolutions, et d'évaluer leurs conséquences pour la législation et la réglementation nucléaires. À haut niveau, les défis à relever restent les mêmes, à savoir atteindre les objectifs généraux de la sûreté, des garanties et de la sécurité. Pour les utilisations civiles de l'énergie nucléaire, ils consistent à porter une attention constante à la sûreté d'exploitation des installations nucléaires existantes, d'autant qu'elles peuvent entrer dans la phase d'exploitation à long terme, au-delà de la durée initialement prévue par la licence, et à s'intéresser à la construction des nouvelles centrales et à l'évaluation des nouvelles technologies. La gestion et le stockage définitif des déchets radioactifs restent une question importante. Le contrôle adéquat des sources radioactives pour garantir la sûreté radiologique et prévenir leur utilisation abusive restera difficile. Les considérations qui précèdent ne constituent en aucun cas une liste exhaustive des problèmes que les personnes qui s'occupent de législation et de réglementation nucléaires peuvent rencontrer, mais elles incitent à examiner le contexte dans lequel nous évoluons et les moyens de progresser. Il me semble peu probable qu'un nouveau traité ou une nouvelle convention contraignante soit adopté en l'absence d'événement important ou évité de peu. Dans ce contexte, le régime juridique peut toutefois continuer à s'améliorer, même par du droit souple, si l'on accorde l'attention nécessaire à la coopération et à la collaboration au sein

de la communauté internationale, à une meilleure harmonisation des normes, à la transparence et à l'implication des parties prenantes.

4.4.1. Le droit souple, principal outil utilisable

Il est peu probable que de nouveaux instruments juridiques internationaux contraignants soient négociés en matière nucléaire dans un avenir prévisible. Des arguments solides peuvent par exemple être avancés pour transformer le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives en convention contraignante⁴⁰ ou pour améliorer le régime de sécurité nucléaire⁴¹, mais il n'y a pas encore de convergence sur ces objectifs. À la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, des propositions ont été faites pour modifier la Convention sur la notification rapide et la CSN, mais aucune d'entre elles n'a bénéficié d'un appui permettant que les modifications soient adoptées.

Dans le cas de la Convention sur la notification rapide, il est probable que les travaux engagés sur l'amélioration des orientations relatives aux interventions d'urgence et aux notifications dans de telles situations n'ont pas permis d'obtenir un appui suffisant pour que la proposition de la Fédération de Russie soit examinée par une conférence diplomatique⁴². Plusieurs propositions d'amendement de la CSN ont été faites, mais seule une proposition formulée par la Suisse a débouché sur une conférence diplomatique en 2015. Au lieu d'adopter l'amendement proposé, les Parties contractantes à la CSN se sont accordées sur une déclaration non contraignante – la Déclaration de Vienne sur la sûreté nucléaire –, dans laquelle elles s'engagent à porter leur attention sur la prévention des accidents et l'atténuation de leurs conséquences lors de la conception de nouvelles centrales, sur l'examen périodique des installations existantes, sur la mise en œuvre des améliorations de la sûreté « raisonnablement possibles » et sur l'application des normes de sûreté de l'AIEA et des bonnes pratiques répertoriées lors des réunions d'examen de la CSN⁴³.

Les spécialistes du domaine nucléaire et d'autres sujets ont longuement exposé les difficultés que pose l'adoption d'instruments internationaux contraignants et les avantages que peuvent présenter les instruments de droit souple dans certaines situations⁴⁴. Ce type de texte permet notamment de décrire plus en détail les moyens qui permettent d'atteindre les objectifs fixés et de définir le « comportement responsable » qui est attendu des États et peut servir

⁴⁰ Gonzalez 2014.

⁴¹ Wetherall 2021, p. 24 à 42.

⁴² Johnson 2014, p. 18 et 19.

⁴³ Déclaration de Vienne sur la sûreté nucléaire, adoptée le 9 février 2015.

⁴⁴ Wetherall 2005 ; Dupuy 1991.

de point de départ pour la législation et la réglementation nationales et préparer le terrain pour des obligations plus explicites.

4.4.2. Coopération et collaboration internationales

Il est indispensable de porter une attention constante à la coopération et à la collaboration entre les États afin de maintenir et de renforcer les capacités institutionnelles et le cadre juridique pour la réglementation nucléaire. Cette attention est essentielle non seulement pour les États qui ont une longue expérience de l'énergie nucléaire, mais aussi pour la création de capacités dans les États qui commencent à élaborer et à mettre en place un programme électronucléaire. Comme il a été expliqué plus haut, la CSN et la Convention commune prévoient, dans le cadre de leurs dispositions « incitatives », des réunions d'examen périodiques entre les Parties contractantes pour examiner les rapports sur les mesures prises pour remplir les obligations qui leur incombent au titre des conventions.

En dehors des obligations instaurées par ces conventions, il existe d'autres moyens d'évaluer et d'améliorer les capacités institutionnelles. L'AIEA et l'OCDE/AEN ont toutes deux élaboré des orientations sur les démarches qui permettent de créer des organisations efficaces⁴⁵. Des conférences organisées périodiquement par l'AIEA sur des thèmes qui concernent divers aspects de la sûreté et de la sécurité permettent aux États d'échanger des informations. L'AIEA a également créé plusieurs services d'examen par des pairs. Une réunion virtuelle sur ces services et sur les services consultatifs qui portent sur la sûreté et la sécurité nucléaires s'est tenue en 2020⁴⁶. Ces services peuvent aider les États à exceller dans leurs démarches de contrôle des activités nucléaires et de respect des normes internationales et les résultats peuvent montrer qu'une organisation est efficace, et s'améliorer ou permettent de détecter les lacunes ou les faiblesses. Il faudrait encourager la participation à ces mécanismes à des fins d'auto-évaluation et d'examen par des pairs. Ne négligeons pas non plus la contribution des relations bilatérales et de la coopération régionale, comme celle qui s'est instaurée dans l'Union européenne concernant ses directives dans le domaine nucléaire. Pour donner un exemple de coopération bilatérale, la NRC a accueilli des membres de l'Autorité de réglementation nucléaire japonaise pour leur permettre de mieux connaître les techniques d'inspection de la NRC

⁴⁵ AIEA 2017a ; <https://www.oecd.org/publications/the-characteristics-of-an-effective-nuclear-regulator-9789264218741-en.htm>, page consultée le 27 septembre 2021.

⁴⁶ https://gnssn.iaea.org/main/Pages/PRASC-Technical-Meeting_2020.aspx, page consultée le 27 septembre 2021 ; <https://www.iaea.org/fr/services/missions-dexamen-et-services-de-conseil>, page consultée le 27 septembre 2021.

afin d'aider l'Autorité à réviser son propre régime d'inspection. La coopération est indispensable pour que la législation et la réglementation nucléaires soient efficaces dans les années à venir.

4.4.3. Une meilleure harmonisation

Mieux harmoniser les normes qui sont appliquées dans le secteur nucléaire est un objectif important pour l'avenir, surtout au vu des perspectives de construction et d'installation de petits réacteurs modulaires (PRM), qui peuvent être des réacteurs à eau légère, bien connus, ou utiliser des technologies avancées. Chaque État établissant ses propres prescriptions réglementaires, les régimes juridiques diffèrent d'un pays à l'autre, même s'ils sont inspirés d'orientations et de normes internationales, comme le prévoit la CSN. À haut niveau, une démarche d'harmonisation a progressivement été adoptée au fil des ans. Elle a par exemple été stimulée par une large adhésion aux normes de sûreté de l'AIEA. Une meilleure harmonisation des règles et une normalisation des modèles peuvent néanmoins éviter de revoir ou d'adapter les modèles pour chaque pays qui souhaite mettre en place une installation et peuvent aider les pays primo-accédants à établir un programme électronucléaire. Une meilleure harmonisation peut jouer un rôle essentiel pour le déploiement des PRM, qui peuvent être composés de différents modules assemblés en usine.

Au cours des dernières décennies, plusieurs initiatives ont été lancées en vue d'une meilleure harmonisation. Le Forum international Génération IV a été créé en 2001 pour étudier les modèles avancés, et le Programme multinational d'évaluation des conceptions (MDEP)⁴⁷ a été lancé en 2006 pour servir de plateforme de coopération entre les organismes de réglementation qui délivrent des licences pour de nouveaux réacteurs, en particulier des générateurs de génération III+⁴⁸. Dans l'industrie nucléaire, le Groupe de travail CORDEL (Coopération pour l'évaluation et l'autorisation des modèles de réacteurs) de l'Association nucléaire mondiale (WNA) a été créé en 2007 pour favoriser l'harmonisation et la convergence internationale des normes de sûreté applicables aux modèles de réacteurs⁴⁹.

Compte tenu de l'intérêt croissant que suscitent les PRM, l'AIEA et l'OCDE/AEN ont proposé des moyens pour examiner comment garantir la sûreté tout en permettant des innovations techniques. À cet égard, on peut voir les perspectives qu'offre une meilleure harmonisation des prescriptions réglementaires et un renforcement de la coopération entre organismes de

⁴⁷ <https://www.oecd-nea.org/mdep/>, page consultée le 27 septembre 2021.

⁴⁸ <https://www.gen-4.org/gif/>, page consultée le 27 septembre 2021.

⁴⁹ WNA 2019.

réglementation⁵⁰. Les autorités de réglementation nucléaire des États-Unis et du Canada ont par exemple signé un protocole de coopération en août 2019 afin de renforcer leurs relations déjà anciennes en matière de réglementation, surtout pour évaluer les nouvelles technologies de réacteur. Dans le cadre de cette initiative, les conclusions tirées de l'examen de la conception des PRM seront mutuellement présentées, et il est prévu d'élaborer des orientations communes entre les deux organismes pour l'examen final des demandes de licence qui porteront sur ces conceptions. En somme, il semble que nous soyons prêts à une plus grande coopération et à une meilleure harmonisation pour l'établissement de critères d'acceptation en matière réglementaire, objectif pertinent pour les années à venir.

4.4.4. Transparence et implication des parties prenantes

Enfin, il importe de continuer à renforcer la transparence et à impliquer les parties prenantes afin d'élargir le cadre législatif et réglementaire pour les activités nucléaires et de maintenir son efficacité. Ces principes ont été plus particulièrement reconnus dans des conventions relatives à l'environnement, qui concernent également le droit nucléaire⁵¹. Alors que la transparence est considérée comme un principe essentiel du droit nucléaire⁵², le secteur nucléaire n'a fait preuve d'une plus grande transparence qu'au fil des ans. Ayant une origine militaire et souhaitant décourager la prolifération des armes nucléaires, il était plus opaque au début. Certes, des aspects importants de la réglementation des installations et des matières nucléaires doivent rester confidentiels pour protéger des informations ou des matières qui pourraient être utilisées à des fins illicites ou malveillantes, pour maintenir la sécurité, voire pour préserver des droits de propriété intellectuelle. Cependant, la crédibilité des institutions compétentes et la confiance qui leur est accordée exigent un engagement à rendre publiques certaines informations, même si elles révèlent des insuffisances ou la nécessité

⁵⁰ <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum>, page consultée le 27 septembre 2021 ; www.oecd-nea.org/jcms/pl_46728/multi-sector-workshop-on-innovative-regulation-challenges-and-benefits-of-harmonising-the-licensing-process-for-emerging-technologies, page consultée le 27 septembre 2021.

⁵¹ Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière, ouverte à la signature le 25 février 1991 et entrée en vigueur le 10 septembre 1997 (Convention d'Espoo) ; Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, ouverte à la signature le 25 juin 1998 et entrée en vigueur le 30 octobre 2001 (Convention d'Aarhus) ; Protocole à la Convention d'Espoo, relatif à l'évaluation stratégique environnementale, ouvert à la signature le 21 mai 2003 et entré en vigueur le 11 juillet 2010 (Protocole de Kiev).

⁵² Stoiber *et al.* 2006, p. 11.

d'apporter des améliorations. Le fait que les rapports élaborés dans le cadre de la procédure d'examen de la CSN soient plus largement diffusés auprès du public est un exemple d'amélioration de la transparence des mécanismes internationaux. Pour la première fois, tous les rapports nationaux ont été rendus publics après la septième réunion d'examen de la CSN, qui s'est tenue en 2017.

Le principe de transparence va de pair avec un engagement en faveur d'une réelle implication des parties prenantes. Ces dernières constituent un ensemble large et varié de personnes et d'organismes : vendeurs et exploitants ; personnes qui vivent à proximité d'une installation nucléaire ou qui y travaillent ; organismes publics et représentants de l'État à l'échelle locale ou nationale ; homologues à l'étranger ou organisations internationales ; personnes qui pourraient subir les effets des activités réglementées ; médias ; organisations non gouvernementales. Les parties prenantes ne sont pas seulement ceux qui soutiennent l'organisme de réglementation et ses objectifs, mais aussi ceux qui sont profondément sceptiques, et même ceux qui sont pratiquement indifférents, sauf lorsque l'organisme de réglementation ou une entreprise placée sous son contrôle attirent l'attention des médias. L'implication des parties prenantes doit être réelle et devrait maximiser les chances d'instaurer la confiance, de renforcer la participation et de recueillir des avis. L'AIEA et l'OCDE/AEN ont examiné la question pour le secteur nucléaire⁵³, et une attention constante est nécessaire pour que la législation et la réglementation nucléaires évoluent dans le bon sens et soient efficaces.

4.5. CONCLUSION

En matière de réglementation nucléaire, le droit est un moyen et non une fin. L'évolution du cadre juridique est intéressante et montre une détermination à traiter les principaux aspects des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire par différentes approches, à l'aide de conventions et de traités contraignants et d'orientations et de codes non contraignants. La situation de cet ensemble complexe d'instruments applicables peut parfois alimenter le pessimisme, si l'on considère ce qui a été nécessaire pour y arriver et les lacunes qui subsistent. Nous pouvons cependant aussi espérer que nous continuerons à progresser, même si cela exige de se concentrer sur des mesures concrètes, qui peuvent être modestes et non révolutionnaires.

Pour y arriver, il faut attacher de l'importance à la coopération internationale, vouloir échanger des données d'expérience et ne pas faire obstacle à l'amélioration continue. Une meilleure harmonisation facilitera l'évolution

⁵³ AIEA 2017b ; OCDE/AEN 2015.

du régime juridique à l'avenir. Il faudra aussi que les organismes nationaux et internationaux soient transparents et prêts à dialoguer de manière constructive avec les parties prenantes. Les conseillers juridiques continueront de jouer un rôle important en aidant les décideurs et les experts techniques à élaborer des approches exhaustives et efficaces pour faire évoluer le cadre de l'énergie nucléaire et de sa réglementation. Pour ces délibérations, nous pouvons continuer à nous poser plusieurs questions. Traitons-nous les questions importantes d'une manière crédible et digne de la confiance de nos parties prenantes ? Avons-nous créé de fortes capacités institutionnelles à l'échelle nationale et internationale ? Avons-nous veillé à ce que les instruments internationaux et les normes applicables soient intégrés aux régimes nationaux ? Le cadre juridique répond-il complètement aux principaux objectifs de la sûreté et de la sécurité et sur quels sujets devrions-nous nous concentrer pour éventuellement l'améliorer ?

Le voyage se poursuit.

RÉFÉRENCES

- Breyer S (1993) *Breaking the Vicious Circle: Toward Effective Risk Regulation*. Harvard University, Cambridge, MA.
- Burns S (2018) The impact of the major nuclear power plant accidents on the international legal framework for nuclear power. *Nuclear Law Bull* 101:14.
- Diaz N (2004) *Leadership Toward a Progressive, Integrated Nuclear Community: Going Forward Together*. www.nrc.gov/docs/ML0432/ML043270636.pdf, page consultée le 27 septembre 2021.
- Dupuy P (1991) Soft Law and the International Law of the Environment. *Michigan Journal of International Law* 12:420-435.
- Gonzalez A J (2014) Towards a Convention on Radiation Safety and Security. In: Mariano Manóvil R (ed) *Nuclear Law in Progress*, Legis S.A. Argentina, Buenos Aires, pp 423–436.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1984), Directives sur les arrangements relatifs à l'assistance mutuelle d'urgence en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, INFCIRC/310. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1985), Directives sur les événements à notifier, la planification intégrée et l'échange de renseignements en cas de rejet transfrontalier de matières radioactives, INFCIRC/321. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1989), Statut. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1999) *Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials*. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003) *Security of Radioactive Sources*. IAEA, Vienna.

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2004), Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2016), Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements : Normes fondamentales internationales de sûreté. Coparrainées par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, la Commission européenne, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation mondiale de la Santé, l'Organisation panaméricaine de la Santé et le Programme des Nations Unies pour l'environnement. N° GSR Part 3 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2017a), Cadre gouvernemental, juridique et réglementaire de la sûreté. N° GSR Part 1 (Rev.1) de la collection Normes de sûreté de l'AIEA. AIEA, Vienne. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017b) Communication and Consultation with Interested Parties by the Regulatory Body. IAEA Safety Standards Series No. GSG-6. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety. IAEA Safety Standards Series No. GSG-12. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) Report of the Meeting on the Role of the Legal Adviser in a Regulatory Body, 30 July–2 August 2019.
- Jankowitsch O (1994) The Convention on Nuclear Safety. *Nuclear Law Bulletin* 54:9-22.
- Johnson P L (2014) Opening Address: Developments in Nuclear Law. In: Mariano Manóvil R (ed) *Nuclear Law in Progress*, Legis S.A. Argentina, Buenos Aires, pp 13–28.
- Lamm V (2017) Reflections on the development of nuclear law. *Nuclear Law Bulletin* 99:41–42.
- Nuclear Regulatory Commission (2013a) Physical Protection of Byproduct Material; Rule 78 Fed. Reg. 17007. <https://www.federalregister.gov/documents/2013/03/19/2013-05895/physical-protection-of-byproduct-material>, page consultée le 27 septembre 2021.
- Nuclear Regulatory Commission (2013b) Implementation Guidance for 10 CFR Part 37, Physical Protection of Category 1 and Category 2 Quantities of Radioactive Material, NRC Doc. NUREG-2155 and Rev. 1 (2015). <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2155/index.html>, page consultée le 27 septembre 2021.
- OECD Nuclear Energy Agency (2015) Stakeholder Involvement in Decision Making: A Short Guide to Issues, Approaches and Resources. OECD Publishing, Paris.
- OECD Nuclear Energy Agency (2022) Principles and Practices of International Nuclear Law. OECD Publishing, Paris.
- Pelzer N (2010) Learning the Hard Way: Did the Lessons Taught by the Chernobyl Accident Contribute to Improving Nuclear Law? In: OECD/NEA (ed) *International Nuclear Law: History Evolution and Outlook*. OECD, Paris, pp 73–118.
- Schwartz J (2010) Liability and Compensation for Third Party Damage Resulting from a Nuclear Incident. In: OECD/NEA (ed) *International Nuclear Law: History Evolution and Outlook*. OECD, Paris, pp 307–354.
- Sparrow M (2000) *The Regulatory Craft: Controlling Risks, Solving Problems, and Managing Compliance*. Brookings Institution Press, Washington, DC.
- Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tornhauser W. (2006), *Manuel de droit nucléaire*. AIEA, Vienne.

- Wetherall A (2005) Normative Rulemaking at the IAEA: Codes of Conduct. Nuclear Law Bulletin 75:77.
- Wetherall A (2016) Strengthening the international framework for nuclear security: Better sooner than later. Nuclear Law Bulletin 98:42.
- World Nuclear Association (WNA) (2019) CORDEL Strategic Plan 2019 – 2023. <https://www.World-nuclear.org/getattachment/c3d5b873-95aa-4c88-aa71-80a274b0453b/CORDEL-Strategic-Plan-2019.pdf.aspx>, page consultée le 27 septembre 2021.

Les opinions exprimées dans le présent chapitre sont celles de l’auteur ou des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu’ils représentent.

5. RENFORCER LE RÉGIME MONDIAL DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Richard Meserve

Résumé L'électronucléaire occupe une place importante dans la riposte mondiale au changement climatique. Il permet de produire de l'électricité en continu et peut contribuer à maîtriser le problème d'intermittence des sources d'énergie renouvelable qui dépendent du vent et du soleil. Assurer la sûreté nucléaire est indispensable pour développer davantage l'électronucléaire dans le cadre de la riposte mondiale au changement climatique. L'attachement à la sûreté doit être une priorité universelle, car le tollé qui suivrait un grave événement nucléaire, où qu'il ait lieu, compromettrait les perspectives de l'électronucléaire partout dans le monde. L'importance du régime mondial de sûreté nucléaire a été mise en évidence par l'accident qui s'est produit à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Cet accident nous a rappelé que, outre la nécessité de mettre en place un système de sûreté nucléaire *national* solide, il importe en définitive de disposer d'un système *international* permettant de garantir que les institutions nationales compétentes s'acquittent de leur rôle avec diligence et efficacité. Le présent chapitre contient un examen du régime mondial de sûreté nucléaire actuel et des propositions d'amélioration, notamment par des inspections de sûreté, le renforcement de la transparence et une meilleure harmonisation des normes.

Mots clés Sûreté nucléaire • Électronucléaire • Principes fondamentaux de sûreté de l'AIEA • Régime mondial de sûreté nucléaire • Réacteurs avancés • Organisme de réglementation • Harmonisation des normes • Inspections de sûreté • Intégration de la sûreté et de la sécurité

Le monde doit se tourner de toute urgence vers des sources d'énergie décarbonées s'il veut surmonter les effets dévastateurs de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'électronucléaire devrait occuper une place importante dans ce cadre. Il assure environ 10 % de la production mondiale d'électricité et près d'un tiers de la production d'électricité décarbonée¹, mais il pourrait jouer un rôle beaucoup plus grand dans les prochaines années. À l'avenir, les énergies renouvelables seront sans aucun doute utilisées à beaucoup plus grande échelle qu'aujourd'hui, mais il y aura constamment besoin d'électricité pilotable et décarbonée pour maîtriser

¹ <https://www.iaea.org/fr/newscenter/news/en-temps-de-covid-19-le-nucleaire-reste-une-source-denergie-fiable-et-adaptable-en-france-comme-dans-le-reste-du-monde>, page consultée le 11 juillet 2021.

le problème d'intermittence de ces énergies. Les centrales nucléaires peuvent répondre à ce besoin et, avec les énergies renouvelables, contribuer à relever le défi existentiel que représente le changement climatique.

Il est indispensable d'assurer la sûreté nucléaire pour ouvrir la voie au développement de l'électronucléaire. L'attachement à la sûreté doit être une priorité universelle, car le tollé qui suivrait un grave événement nucléaire, où qu'il ait lieu, compromettrait les perspectives de l'électronucléaire partout dans le monde. Il est donc particulièrement judicieux d'examiner le système de sûreté nucléaire qui a été mis en place et de déterminer s'il faudrait l'améliorer.

Selon les Principes fondamentaux de sûreté de l'AIEA, la responsabilité première de la sûreté incombe à l'exploitant². Comme ce dernier contrôle la centrale, il est le mieux placé pour maintenir la performance en matière de sûreté. Il doit avoir les moyens techniques et financiers et les capacités de gestion pour veiller à ce que la sûreté de fonctionnement de la centrale soit la priorité absolue. De son côté, l'organisme de réglementation national renforce l'obligation d'assurer la sûreté qui incombe à l'exploitant en définissant les responsabilités de celui-ci et en contrôlant ses actions afin que ces responsabilités soient assumées³. L'organisme de réglementation doit être indépendant, compétent et doté d'un effectif et de moyens financiers suffisants pour pouvoir exercer ses fonctions. Tous les organismes de réglementation devraient être fermes et méticuleux (mais aussi équitables) lorsqu'ils s'assurent qu'un exploitant s'acquitte de ses responsabilités.

L'exploitant et l'organisme de réglementation jouent un rôle essentiel, mais ils disposent d'un filet de sécurité important : le régime mondial de sûreté nucléaire⁴. Il s'agit d'un réseau international de parties prenantes et de relations qui fixe le niveau de performance que devraient atteindre tous les exploitants et tous les organismes de réglementation, et vise à développer les compétences et à renforcer les capacités au sein de ces entités. Le régime mondial de sûreté nucléaire se compose de plusieurs éléments :

- Organisations intergouvernementales. Il s'agit principalement de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN). L'AIEA établit des normes de sûreté et, à la demande d'un État Membre, mène des inspections sur différents sujets et donne des conseils sur les activités nucléaires. L'AEN participe aux travaux de recherche sur

² AIEA 2007.

³ *Ibid.*, p. 7.

⁴ La nature et l'importance de ce régime ont été présentées par le Groupe international pour la sûreté nucléaire (INSAG). La publication INSAG-21 constitue l'arrière-fond du présent chapitre. Voir INSAG 2006.

la sûreté qui sont menés dans le cadre d'une coopération internationale et à l'étude des questions de sûreté et de réglementation.

- Réseaux multinationaux d'organismes de réglementation. Il s'agit notamment de l'Association internationale des responsables des autorités de sûreté nucléaire et du Groupe des régulateurs européens dans le domaine de la sûreté nucléaire. Ces réseaux permettent aux organismes de réglementation d'échanger des points de vue et des informations, et de coordonner des activités.
- Réseaux multinationaux d'exploitants. Le plus important de ces réseaux sur la scène internationale est l'Association mondiale des exploitants nucléaires (WANO). Entre autres activités, la WANO procède à des examens par des pairs des activités des exploitants et sert de centre d'échange de l'information. Les groupements de propriétaires, composés d'exploitants qui disposent de réacteurs de même modèle, jouent un rôle similaire d'échange d'informations. L'Institut mondial de sécurité nucléaire (WINS) exerce la même fonction sur les questions ayant trait à la sécurité.
- Industrie nucléaire internationale. Elle se compose des vendeurs, qui conçoivent et vendent des centrales nucléaires, des sociétés de services et des fournisseurs internationaux, ainsi que des bureaux d'études techniques et des sous-traitants qui construisent des centrales dans le monde entier. Ces entreprises transfèrent des connaissances sur les centrales nucléaires et ont de très bonnes raisons de favoriser la sûreté d'exploitation.
- Réseaux multinationaux de scientifiques et d'ingénieurs. Les sociétés scientifiques et les sociétés d'ingénieurs encouragent et facilitent la communication entre experts de nombreux pays. Organismes de normalisation. Il s'agit notamment de la Société américaine des ingénieurs en mécanique (ASME), de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE), de la Société nucléaire américaine (ANS) et de leurs homologues du monde entier. Le respect de normes détaillées est un aspect important des prescriptions sévères qui sont imposées aux installations nucléaires en matière d'assurance de la qualité.
- Autres parties prenantes. Les activités nucléaires attirent évidemment l'attention. Les organisations non gouvernementales et la presse jouent un rôle notable dans le contrôle de ces activités et peuvent sensiblement favoriser la sûreté d'exploitation.

Les éléments du régime mondial de sûreté nucléaire et ce qui les relie entre eux sont présentés à la figure 5.1.

L'importance du régime mondial de sûreté nucléaire a été mise en évidence par l'accident qui s'est produit à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Au Japon, l'exploitant était de haut niveau et l'organisme de réglementation était

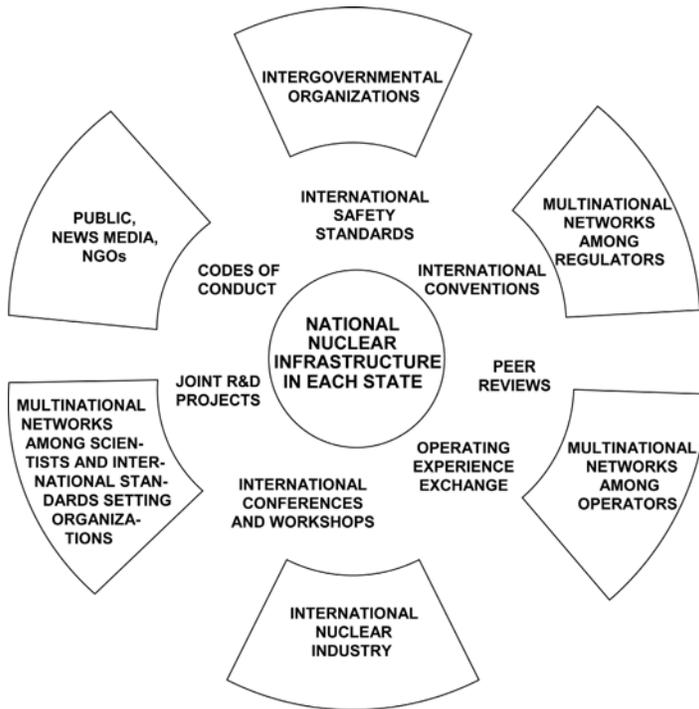


Fig. 5.1. Les éléments du régime mondial de sûreté nucléaire. Source : Groupe international pour la sûreté nucléaire 2006.

expérimenté, mais cela n'a pas suffi à empêcher l'accident. Les insuffisances de la base de conception de la centrale, des dispositions institutionnelles nationales et de la préparation des interventions d'urgence (au niveau de l'exploitant et de l'État) ont été sous-estimées, parce que la majorité des Japonais pensait que la centrale était suffisamment sûre⁵. Le principal enseignement qui en a été tiré est que, outre la nécessité de mettre en place un système de sûreté nucléaire *national* solide, il importe en définitive de disposer d'un système *international* permettant de garantir que les institutions nationales compétentes s'acquittent de leur rôle avec diligence et efficacité⁶.

En dehors de la nécessité d'obtenir une performance exemplaire en matière de sûreté, qui permettra à l'électronucléaire de participer de manière appréciable

⁵ AIEA 2015, p. 80.

⁶ L'INSAG a mentionné l'importance d'un réseau serré de relations ouvertes entre exploitants, organismes de réglementation et parties prenantes pour que le système d'ensemble puisse assurer une « solidité en profondeur ». Voir INSAG 2017.

à la riposte au changement climatique, d'autres considérations confirment qu'il importe de réexaminer et de renforcer le régime mondial de sûreté nucléaire. Selon certaines informations, 30 pays qui n'utilisent pas aujourd'hui l'électronucléaire se posent la question de lancer un programme électronucléaire ou préparent ou lancent un tel programme et 20 autres pays ont manifesté leur intérêt⁷. Une grande partie de ces États sont des pays en développement et l'intérêt qu'ils portent à l'exploitation de sources d'énergie électrique décarbonées est une bonne nouvelle pour le changement climatique. Cependant, les efforts qu'ils déploient pour que des centrales nucléaires répondent à leurs besoins énergétiques soulèvent un problème, car un grand nombre de ces pays n'ont pas d'expérience dans le domaine nucléaire et doivent créer des capacités qui n'existent pas aujourd'hui⁸. Le régime mondial de sûreté nucléaire devrait sensiblement contribuer à ce que ces programmes nucléaires soient conformes aux obligations de sûreté et de sécurité.

Parallèlement, le système qui assure la sûreté fait aujourd'hui face à un nouveau défi. S'il ne fait aucun doute que l'on continuera de s'appuyer sur les réacteurs à eau ordinaire (REO) en service et sur de nouveaux réacteurs de ce type au cours des années à venir, il y a eu récemment un regain d'intérêt pour les réacteurs avancés. De nombreux réacteurs avancés utilisent des caloporteurs différents (gaz, métal liquide ou sels fondus) et des modérateurs différents. Leurs vendeurs espèrent que les nouveaux modèles permettront de réduire le coût du kilowatt-heure et, par conséquent, de rendre l'électronucléaire plus compétitif par rapport à d'autres sources d'électricité. En outre, la sûreté devrait sensiblement être améliorée dans ces nouveaux modèles, leurs fonctions de sûreté essentielles étant par exemple assurées par des dispositifs simplifiés ou passifs ou par d'autres moyens. De nombreux vendeurs envisagent de construire des réacteurs qui produisent beaucoup moins d'électricité que les REO en service, de sorte que le coût d'investissement unitaire peut être plus raisonnable pour certains propriétaires. De surcroît, la taille réduite des réacteurs peut être particulièrement intéressante pour les pays dotés de petits réseaux régionaux⁹, dont une grande partie seront probablement des primo-accédants. Contrairement à ce qui s'est passé pour de nombreux REO en service, où les éléments permettant d'assurer la sécurité et la non-prolifération ont en grande partie été ajoutés a posteriori,

⁷ <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries.aspx>, page consultée le 11 juillet 2021.

⁸ INSAG 2012, p. 1 à 4.

⁹ En règle générale, il convient de respecter le principe selon lequel aucune centrale nucléaire ne doit représenter plus de 10 % environ de la capacité d'un réseau, afin que la centrale puisse être arrêtée pour être réapprovisionnée en combustible ou pour des raisons de sûreté sans que cela ne compromette gravement la disponibilité de l'électricité.

on peut renforcer la sécurité et les garanties en les prenant en compte dès la conception des centrales que l'on envisage de construire.

Les réacteurs avancés sont très prometteurs, mais ils créent aussi des difficultés particulières sur le plan de la sûreté. Des analyses approfondies seront nécessaires pour établir que les systèmes de sûreté innovants sont efficaces dans les diverses circonstances dans lesquelles on s'appuiera sur eux. Il importera de maintenir une défense en profondeur adéquate et d'assurer un équilibre entre la prévention et l'atténuation des accidents. Parallèlement, pour les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, par exemple, il faudra prêter attention aux effets des réactions chimiques entre le sodium et l'eau et entre le sodium et l'air, tandis que, dans le cas des réacteurs à sels fondus, il faudra étudier attentivement les problèmes de corrosion et la possibilité que les sels fondus gèlent dans la tuyauterie. En résumé, les organismes concernés par le système de sûreté devront faire face à des difficultés importantes pour l'élaboration et l'analyse de l'argumentaire de sûreté d'un réacteur avancé, et pour l'adaptation des prescriptions réglementaires, qui ont été définies jusqu'à présent en fonction des problèmes qui apparaissent dans les REO, à des techniques très différentes¹⁰. Le régime mondial de sûreté nucléaire peut promouvoir une coopération entre les pays qui déploient des réacteurs avancés et faciliter la prise de décisions judicieuses.

En outre, un grand nombre de centrales nucléaires aujourd'hui en service ont été construites il y a de nombreuses années et sont proches du terme de leur durée de vie initialement prévue (40 ans) ou l'ont dépassé. Ces centrales ont été surveillées minutieusement et ont fait l'objet d'une maintenance, certains de leurs composants ont été remplacés au fil des ans et nombre d'entre elles fonctionnent de manière fiable. Dans plusieurs pays, les exploitants envisagent donc de les maintenir en service bien au-delà de 40 ans. De fait, aux États-Unis d'Amérique, certaines centrales peuvent aujourd'hui être exploitées jusqu'à 80 ans¹¹. Les centrales vieillissantes présentent cependant des problèmes spécifiques sur le plan de la sûreté : les structures, les systèmes et les composants peuvent se détériorer au fil du temps par des mécanismes qui peuvent ne pas être pleinement compris ; certaines pièces détachées peuvent être difficiles à trouver ; certains dispositifs de sûreté que l'on trouve dans des centrales plus modernes n'y ont pas toujours été installés. Poursuivre l'exploitation des centrales anciennes impose donc de prêter attention aux mécanismes de vieillissement et d'accorder progressivement une

¹⁰ Les nombreux problèmes qui doivent être résolus pour que des réacteurs avancés innovants puissent être déployés sont décrits dans la lettre adressée par Richard Meserve à Rafael Mariano Grossi. Voir INSAG 2021.

¹¹ <https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/subsequent-license-renewal.html>, page consultée le 11 juillet 2021.

importance accrue à la surveillance, à la maintenance, et au remplacement et à la modernisation des structures, des systèmes et des composants. Le régime mondial devrait donner des orientations aux pays qui ont des centrales vieillissantes afin que les marges de sûreté soient maintenues.

Ces considérations sont suffisantes pour justifier un examen attentif du régime mondial de sûreté nucléaire. Mais que faudrait-il modifier ?

Comme il a été expliqué plus haut, le régime de sûreté existant repose sur l'obligation des exploitants d'assurer la sûreté, obligation soumise au contrôle rigoureux d'un organisme de réglementation national. On pourrait imaginer un régime différent, dans lequel un organisme de réglementation international doté d'un vaste pouvoir transnational vérifie que la performance de chaque exploitant en matière de sûreté est suffisante. Cette formule pourrait être un moyen de veiller à ce que les activités nucléaires soient partout menées conformément à des normes de sûreté rigoureuses. Elle pourrait aussi faciliter l'exploitation efficiente et efficace des moyens relatifs à la sûreté qui existent dans le monde entier au service de tous.

Il est cependant peu probable qu'un tel régime puisse prendre une forme dans laquelle l'organisme de réglementation international remplacerait les organismes de réglementation nationaux. Les populations qui vivent à proximité d'une installation nucléaire exigeront sans aucun doute que sa sûreté soit contrôlée par un organe sensible aux enjeux politiques, plutôt que par un organisme de réglementation international distant. En outre, il est peu probable qu'un État accepte volontiers de céder un droit souverain sur des infrastructures énergétiques critiques. Comme le régime de sûreté doit fonctionner dans le cadre juridique, économique et social de chaque pays, il serait probablement nécessaire d'adapter les règles à la situation nationale dans tous les cas¹².

Il n'est donc sans doute pas possible et peut-être pas souhaitable de mettre en place un régime mondial de sûreté nucléaire reposant sur un organisme de réglementation international unique et solide. Plusieurs évolutions devraient cependant être envisagées pour améliorer le régime mondial de sûreté nucléaire existant et renforcer la capacité des exploitants et des organismes de réglementation nationaux à s'acquitter de leur rôle essentiel en matière de sûreté.

- Inspections de sûreté. L'AIEA propose à ses États Membres une vaste gamme de services d'inspection¹³. Elle n'a cependant pas le pouvoir de mener des inspections de sûreté sans y être invitée par l'État Membre concerné, et de nombreux États ne demandent pas d'inspections. En outre,

¹² Voir Meserve 2009, p. 105 et 106.

¹³ <https://www.iaea.org/fr/services/missions-dexamen-et-services-de-conseil>, page consultée le 11 juillet 2021.

l'Agence ne dispose d'aucun pouvoir de coercition pour faire corriger les problèmes qu'elle détecte. Vu l'importance de la sûreté nucléaire, elle devrait se voir confier le pouvoir de mener des inspections où et quand elle le juge nécessaire. L'Agence devrait aussi avoir la faculté de faire corriger les problèmes qui sont détectés. L'objectif devrait être de donner à l'AIEA des pouvoirs relatifs à la sûreté qui s'apparentent à ceux qui lui sont conférés par les protocoles additionnels en matière de garanties. Un amendement à la Convention sur la sûreté nucléaire constituerait le moyen le plus logique de lui accorder ces pouvoirs¹⁴.

- **Transparence.** Les résultats des inspections qui sont menées par l'AIEA ne sont rendus publics que si l'État Membre concerné y consent. Toutefois, si le rapport reste secret, de graves problèmes peuvent ne pas être réglés. Les résultats des inspections de l'AIEA devraient être rendus publics – peut-être après examen par les États Membres concernés afin que les erreurs soient corrigées – pour permettre à d'autres éléments du régime de sûreté de prendre connaissance du problème et de demander instamment qu'il soit réglé. Le Groupe international pour la sûreté nucléaire (INSAG) a mis en évidence la « solidité en profondeur » qui peut résulter de relations ouvertes entre les exploitants, les organismes de réglementation et les parties prenantes concernées concernant les problèmes de sûreté¹⁵.
- **Harmonisation des normes.** De nombreux vendeurs de réacteurs avancés espèrent vendre leurs produits à l'international. Étant donné les rendements escomptés de la production en série, il est en effet probable que leur stratégie commerciale repose pour beaucoup sur un gros volume de ventes à l'étranger. Comme la délivrance de licences incombe (et incombera toujours) à l'organisme de réglementation national, il existe un risque que des adaptations ou des modifications soient nécessaires pour obtenir une licence dans chaque pays où une centrale est vendue. Évidemment, cela fera probablement grimper le coût et réduire les perspectives de déploiement à l'échelle internationale. Vu la nécessité d'exploiter massivement des centrales nucléaires pour lutter contre le changement climatique, il faudrait redoubler d'efforts pour harmoniser les prescriptions réglementaires afin d'éviter les modifications inopportunes ou inutiles. Il y a en effet de gros avantages à ce que chaque organisme de réglementation profite des connaissances des autres et à ce que les différences d'approche réglementaire inutiles soient supprimées.

¹⁴ L'octroi d'un pouvoir d'inspections renforcées et de coercition prendrait sans doute des années de négociations difficiles, suivies d'un long processus pour pouvoir mettre en vigueur un amendement à la Convention. Dans l'intervalle, il faudrait envisager de procéder aux modifications décrites ci-après.

¹⁵ INSAG 2017.

Des initiatives sont en cours pour faciliter l'harmonisation. La démarche adoptée par l'AIEA pour la définition de normes, qui suppose l'élaboration d'un consensus international, favorise les approches communes. L'Agence s'emploie aujourd'hui également à créer un cadre technologiquement neutre pour la sûreté, la sécurité et les garanties, qui devrait lui aussi contribuer à une harmonisation des interprétations en matière de sûreté. Le Programme multinational d'évaluation des conceptions qui est mis en œuvre par l'AEN vise à harmoniser les procédures d'autorisation pour les nouveaux réacteurs. Il permet à des organismes de réglementation de tirer parti des moyens et des connaissances des organismes de réglementation nationaux qui sont chargés d'examiner une nouvelle conception pour un réacteur nucléaire de puissance, tout en préservant le pouvoir souverain des organismes de réglementation nationaux pour toutes les décisions qui concernent les licences ou la réglementation. Ce programme favorise la convergence et l'harmonisation des codes, des normes et des approches réglementaires¹⁶.

Un des aspects des dispositions actuelles pourrait utilement changer. En effet, chaque organisme de réglementation national prend aujourd'hui ses propres décisions concernant l'application des normes de l'AIEA. Il serait souhaitable que la stricte conformité aux normes de l'AIEA soit la règle (et fasse l'objet d'inspections de l'AIEA), dans le respect des pouvoirs de l'organisme de réglementation national. Le secteur de l'aviation pourrait servir de modèle à cet égard. Des normes minimales internationales contraignantes sont établies par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), ce qui facilite les transports aériens internationaux par des aéronefs dont le modèle est normalisé. Chaque pays définit ses propres règlements de navigabilité, mais les différences observées d'un État à l'autre ne sont pas importantes. Le rôle des normes de l'AIEA pourrait être renforcé, ce qui permettrait à l'Agence d'exercer une fonction similaire à celle de l'OACI : contribuer à harmoniser les prescriptions dans le domaine nucléaire dans le respect de la souveraineté des États¹⁷.

- Intégration de la sûreté et de la sécurité. La sûreté et la sécurité sont incontestablement liées, et les mesures qui sont prises pour améliorer l'une peuvent être bénéfiques pour l'autre. Ainsi, les structures massives en béton armé et en acier d'une centrale nucléaire concourent aux objectifs de sûreté et de sécurité. Cependant, certaines caractéristiques des centrales et certaines pratiques d'exploitation qui servent pour l'une peuvent parfois nuire à l'autre. Ainsi, les contrôles d'accès, qui sont imposés pour des raisons de sécurité, peuvent entraver des interventions d'urgence déclenchées pour

¹⁶ <https://www.oecd-nea.org/mdep/index.html#2>, page consultée le 11 juillet 2021.

¹⁷ Voir Association nucléaire mondiale 2013 et 2020.

maintenir la sûreté, ou peuvent bloquer les entrées et les sorties en cas d'incendie ou d'explosion. En bref, il peut simultanément y avoir synergie et antagonisme entre la sûreté et la sécurité. Ce phénomène montre que les responsabilités relatives à la sûreté et à la sécurité sur le site d'une centrale nucléaire devraient incomber à un seul organisme afin de trouver un juste équilibre entre ces deux objectifs¹⁸. En outre, il convient de poursuivre les efforts au sein de l'AIEA pour intégrer les orientations sur la sûreté et la sécurité qu'elle publie¹⁹.

- **Expérience d'exploitation.** La communication d'informations sur l'expérience d'exploitation a permis d'améliorer le fonctionnement des centrales nucléaires au fil des ans. Les communications relatives aux accidents, aux événements évités de peu, aux défauts de conception, aux défauts du matériel et à d'autres types d'expérience d'exploitation permettent aux exploitants et aux organismes de réglementation d'apprendre les uns des autres et de renforcer la performance en matière de sûreté. En dehors des dispositifs nationaux permettant d'échanger de telles informations, les exploitants et les organismes de réglementation communiquent des informations relatives à la sûreté par des systèmes mondiaux. L'AIEA et l'AEN exploitent conjointement le Système de notification des incidents (IRS)²⁰, qui est accessible aux pays participants. À titre privé et confidentiel, la WANO donne accès à des informations sur l'exploitation aux exploitants qui ont adhéré à l'association. Toutefois, certains événements importants ne sont pas signalés, surtout à l'IRS, et tous ceux qui ont accès à ces répertoires d'information n'utilisent pas pleinement et efficacement les données. Cette situation peut s'expliquer en partie par le fait qu'il n'y a pas de mécanisme adéquat pour trier et analyser les informations, distiller et hiérarchiser les enseignements à tirer et diffuser ces informations sous une forme facilement accessible. Le système devrait être mis à niveau pour faciliter l'échange des connaissances accumulées grâce à l'expérience d'exploitation afin de servir l'intérêt commun d'éviter les accidents. L'accès à ces informations est particulièrement important pour les pays primo-accédants, afin qu'ils n'aient pas à revivre la dure expérience de leurs prédécesseurs dans l'aventure nucléaire.

¹⁸ INSAG 2010.

¹⁹ L'importance de la coordination entre sûreté et sécurité sera soulignée dans un rapport à paraître établi conjointement par l'INSAG et l'AdSec (le Groupe consultatif sur la sécurité nucléaire).

²⁰ <https://www.iaea.org/fr/ressources/bases-de-donnees/les-systemes-de-notification-des-incidentes-pour-les-installations-nucleaires>, page consultée le 11 juillet 2021.

- Recherche-développement internationale. Il existe aujourd'hui une coopération en recherche-développement sur les questions nucléaires. L'AEN facilite par exemple la coopération internationale concernant les recherches dans le domaine nucléaire, et tous en bénéficient. Les initiatives de ce type pourraient cependant être plus nombreuses. Comme il a été expliqué plus haut, de nombreuses centrales nucléaires sont exploitées au-delà de leur durée de vie nominale, et une meilleure compréhension commune des phénomènes de vieillissement pourrait contribuer au maintien de la sûreté à l'avenir. D'autre part, des appareils modernes de contrôle-commande numérique sont installés aussi bien dans des centrales anciennes que dans de nouvelles centrales, et ne posent pas les mêmes problèmes de sûreté que les systèmes analogiques qu'ils remplacent. Ces problèmes prennent de l'importance, car il est de plus en plus difficile d'assurer la sécurité informatique. En outre, les réacteurs avancés présentent de nombreux problèmes de sûreté nouveaux, et il faudra bien les comprendre pour que les améliorations promises en matière de sûreté apparaissent réellement²¹. Des programmes de recherche coordonnée permettant de mieux connaître les modèles de réacteurs avancés contribueront à ce que l'on dispose des données nécessaires pour faciliter la prise de décisions concernant les licences.

.....

Le régime mondial de sûreté nucléaire est un moyen important qui permet d'assurer la sûreté des centrales existantes et des futures centrales. Il faudrait exploiter les possibilités d'amélioration de ce régime afin que les techniques nucléaires puissent être utilisées de manière sûre au service de l'humanité.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2007), Principes fondamentaux de sûreté. Sous les auspices de la Communauté européenne de l'énergie atomique, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Agence internationale de l'énergie atomique, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation maritime internationale, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, l'Organisation panaméricaine de la Santé, le Programme des Nations Unies pour l'environnement, l'Organisation mondiale de la Santé. N° SF-1 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA. AIEA, Vienne.

²¹ Ces problèmes sont examinés en détail dans la lettre adressée par Richard Meserve à Rafael Mariano Grossi. Voir INSAG 2021.

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2015), L'accident de Fukushima Daiichi. AIEA, Vienne.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2006) Strengthening the Global Nuclear Safety Regime (INSAG-21). IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2010) The Interface Between Safety and Security at Nuclear Power Plants (INSAG-24). IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2012) Licensing the First Nuclear Power Plant (INSAG-26). IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2017) Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems – Institutional Strength in Depth (INSAG-27). IAEA, Vienna.
- International Nuclear Safety Group (INSAG) (2021) INSAG Annual Letter. <https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-and-security/committees/insag/annual-letter-of-assessment>, page consultée le 11 juillet 2021.
- Meserve R (2009) The Global Nuclear Safety Regime. *Daedalus* 138(4):100–111 <https://doi.org/10.1162/daed.2009.138.4.100>.
- World Nuclear Association (2013) Aviation Licensing and Lifetime Management – What Can Nuclear Learn? https://world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/CORDELAviationReport.pdf, page consultée le 11 juillet 2021.
- World Nuclear Association (2020) Harmonization of Reactor Design Evaluation and Licensing: Lessons Learned from Transport. [https://www.world-nuclear.org/getmedia/cb928ee3-dea9-41ed-a324-552c499f4375/Harmonization-of-Reactor-Design-\(Transport\)-Final.pdf.aspx](https://www.world-nuclear.org/getmedia/cb928ee3-dea9-41ed-a324-552c499f4375/Harmonization-of-Reactor-Design-(Transport)-Final.pdf.aspx), page consultée le 11 juillet 2021.

Les opinions exprimées dans le présent chapitre sont celles de l'auteur ou des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

6. LE DÉFI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE – TRANSFORMATION INTÉGRALE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES : PAS DE ZÉRO NET SANS NUCLÉAIRE

Timothy Stone

Résumé Pour atteindre le zéro net, il faut remplacer le gaz naturel, l'essence, le diesel et le mazout par une autre source d'énergie. Cependant, il faudra aussi remplacer la plupart des sources d'énergie bas carbone actuelles, presque aucune n'ayant une durée d'utilité restante de plus de 25 ans. Le rythme et l'ampleur du changement nécessaire sont sans précédent : presque tout l'approvisionnement mondial en énergie primaire doit être remplacé. Le (re)développement de l'ensemble du système énergétique est un risque souverain par nature, et seuls les gouvernements peuvent définir la politique énergétique nationale. Les marchés garderont bien évidemment une place dans les systèmes énergétiques futurs, mais la neutralité carbone exige des changements trop rapides et trop importants pour qu'ils puissent s'adapter correctement. Ce chapitre est un appel à l'action lancé aux décideurs nationaux. Il présente ce défi comme une occasion de créer des emplois de meilleure qualité et des possibilités d'investissement à long terme potentiellement très intéressantes. Il met également en lumière certains risques, comme l'indécision politique et la volatilité des pouvoirs publics, qui pourraient empêcher d'exploiter au maximum cette occasion et d'atteindre le zéro net.

Mots clés Zéro net • Sources d'énergie bas carbone • Changement climatique • Consommation d'énergie primaire • Énergie éolienne • Énergie solaire • Combustibles fossiles • Énergie hydroélectrique • Énergie nucléaire • Marché de l'énergie • Énergie propre • Réacteurs modulaires • Transition énergétique

6.1. LE DÉFI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE

Pour atteindre le zéro net, quelle que soit l'échéance, presque tout l'approvisionnement mondial en énergie primaire doit être remplacé. Presque tout. Clairement, tous les combustibles fossiles doivent être remplacés. C'est simple et évident, et non seulement il faut remplacer le gaz naturel, l'essence, le diesel et le mazout par une autre source ou un autre vecteur d'énergie primaire, mais il

faudra aussi remplacer la plupart des sources d'énergie bas carbone actuelles. Le rythme et l'ampleur des changements nécessaires sont sans précédent ; même les efforts de guerre, de ce que le monde a connu, n'atteignent pas ce niveau. Cela dit, c'est aussi l'occasion parfaite de créer des emplois de meilleure qualité et des possibilités d'investissement à long terme potentiellement très intéressantes. Les plus grands risques à cet égard, toutefois, pourraient bien être l'indécision politique et la volatilité des pouvoirs publics, autrement dit la confiance – ou non – dans les gouvernements.

Un tel changement ne peut venir des seuls marchés. Les principes de base des marchés de l'énergie sont examinés plus en détail à la section 6.11, mais la conclusion fondamentale est simple. L'énergie, dans son ensemble, est l'une des plus grandes infrastructures d'importance nationale. Le (re)développement du système énergétique tout entier est un risque souverain par nature ; autrement dit, les gouvernements sont « responsables de l'échec » d'une infrastructure d'importance nationale. Ils sont les seuls à pouvoir définir la politique énergétique nationale. Ces 40 dernières années, les marchés se sont très bien adaptés – bien que relativement lentement au regard du défi actuel – aux progrès techniques, et il ne fait aucun doute qu'ils garderont une place dans les futurs systèmes énergétiques. Néanmoins, la neutralité carbone exige des changements trop rapides et trop importants pour qu'ils puissent s'adapter correctement.

L'autre contrainte à cet égard est, naturellement, l'exécution matérielle. Il ne s'agit pas seulement du délai de construction de grandes sources d'énergie primaire, comme des centrales hydroélectriques et des réacteurs nucléaires de l'ordre du gigawatt, mais aussi de la mise en place et du renforcement de chaînes d'approvisionnement entières qui soutiennent l'installation (et pas seulement la construction) au niveau national de plusieurs gigawatts de capacité par an. À ce sujet, il n'est pas seulement question de pompes, de vannes, de réducteurs et d'autres composants ; les ressources humaines seront tout aussi importantes.

6.2. ÉNERGIE PRIMAIRE

Il n'existe que quatre sources d'énergie primaire dans un monde à faible émission de carbone. Il convient de les distinguer des vecteurs énergétiques, c'est-à-dire les moyens de transporter l'énergie de la source à l'utilisateur. Ces sources d'énergie primaire sont, sans ordre particulier :

- l'électricité éolienne et solaire ;
- l'énergie nucléaire – de fission uniquement à l'heure actuelle mais également de fusion un jour ou l'autre ;

- l'énergie hydroélectrique, y compris l'énergie marémotrice et l'énergie des vagues ;
- l'énergie provenant de sources fossiles avec capture et stockage efficaces du carbone.

Les gaz tels que l'hydrogène et l'ammoniac ne sont pas des sources d'énergie primaire mais seulement des moyens de transporter l'énergie : des vecteurs énergétiques.

La transformation complète des systèmes énergétiques nationaux implique la modification d'un aspect fondamental de l'économie mondiale. L'énergie est un élément de plus en plus indispensable du quotidien au XXI^e siècle et son coût influence de plus en plus la compétitivité économique. Les nouveaux systèmes énergétiques auront des répercussions majeures sur la compétitivité économique des pays et le bien-être de nos petits-enfants et de nombreuses générations à venir. En même temps, nous devons reconnaître que les systèmes énergétiques actuels ont été conçus pour une autre époque. Le système énergétique britannique, par exemple, a été conçu en grande partie après la Seconde Guerre mondiale afin de transporter l'énergie des mines de charbon aux centres de production et aux ménages. Aucun de ces grands points de conception n'est plus d'actualité. Aujourd'hui, l'énergie provient de centrales au gaz, de grandes centrales nucléaires situées le long des côtes et, de plus en plus, de sources renouvelables, avec un déplacement croissant vers les eaux profondes au large des côtes. La répartition de la population a considérablement changé depuis les années 1950, les centres de production sont plus petits et souvent situés à différents endroits et l'infrastructure de transport de l'énergie a été réglemantée dans une optique de réduction des coûts pour les consommateurs sur des périodes de cinq ans.

Le plus grand enjeu réside dans le besoin d'une approche adéquate des systèmes, les modèles de marché darwiniens ne pouvant tout simplement pas réagir assez rapidement. On a largement encouragé l'adoption de nouvelles technologies ces dix dernières années, mais l'accent était mis sur la réduction des coûts et non sur la perspective d'un résultat raisonnable – ou alternatif. On n'a pas réfléchi de manière approfondie à ce à quoi pourrait ressembler un nouveau système ni à la manière de l'établir.

L'évolution darwinienne au cœur des bons marchés consiste en un processus de production, de test, de sélection et d'échec, et l'approche de l'« échec accéléré » (*fail fast*) utilisée dans les nouvelles entreprises de haute technologie ne fonctionne pas dans le domaine de l'énergie primaire. L'évolution des systèmes de production d'énergie primaire et des approches de l'infrastructure associée est simplement trop lente. Par exemple, lorsque se tiendra la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP26) de 2021, le Royaume-Uni aura perdu près de 7,5 % du temps dont il dispose pour honorer l'obligation

juridiquement contraignante, annoncée par la Première Ministre Theresa May, d'atteindre le zéro net d'ici à 2050, sans qu'il ait réalisé quasiment aucun progrès en ce sens.

Il n'y a plus de temps à perdre, si tant est qu'il reste suffisamment de temps pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050.

6.3. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ACTUELLE

La figure 6.1 montre la consommation énergétique mondiale calculée selon la méthode de la substitution¹, qui rend le mieux compte de l'ampleur du défi de décarbonation. En comparant la consommation des quatre sources d'énergie traditionnelles (biomasse, charbon, pétrole et gaz) avec celle des autres sources d'énergie primaire plus sobres en carbone, on voit à quel point ce défi est monumental.

On trouvera dans ce chapitre des graphiques similaires concernant les États-Unis d'Amérique, le Japon, la Chine, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la Suède. Les graphiques sur l'intensité de carbone établis régulièrement par Grant Chalmers² (voir les figures 6.2 et 6.3) méritent aussi qu'on s'y intéresse.

Il est évident, à la vue des figures 6.2 et 6.3, que des pays comme la Suède, dotée de ressources hydroélectriques naturelles, et ceux qui développent traditionnellement une importante capacité nucléaire, pourront beaucoup plus facilement que les autres atteindre le zéro net. La France, la province de l'Ontario et l'Islande³ sont dans cette situation. Il est aussi évident que malgré la grande importance accordée aux énergies renouvelables dans des pays comme l'Allemagne, la dépendance à l'égard des énergies fossiles persiste. Même des pays comme le Danemark restent inévitablement dépendants des importations d'énergie, notamment via le réseau nordique, ou des énergies fossiles. Le

¹ La méthode de la substitution – comparée à la méthode du contenu énergétique – tient compte des inefficiences (énergie perdue sous forme de chaleur pendant la combustion) qui surviennent lors de la transformation des combustibles fossiles et de la biomasse. Ainsi, pour l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables modernes, on considère l'« équivalent en intrants primaires » qu'il aurait fallu pour produire la même quantité d'électricité à partir de combustibles fossiles.

² Voir @GrantChalmers sur Twitter. Des graphiques tels que les figures 6.2 et 6.3 sont publiés régulièrement. Ceux-ci, de même que les autres figures explicitement attribuées à Grant Chalmers dans le présent article, ont été fournis par Grant Chalmers lui-même, à qui l'auteur est redevable.

³ Les émissions de carbone de l'Islande, qui dispose d'importantes ressources géothermiques, avoisinent régulièrement 50 g CO₂ eq/kWh. Voir à titre d'exemple <https://twitter.com/GrantChalmers/status/1404713459091066880?s=20>, page consultée le 14 juillet 2021.

Queensland figure ici au sommet de l'échelle de la dépendance aux combustibles fossiles et apparaît ailleurs (fig. 6.19) comme un exemple de marché énergétique à la mauvaise performance (ou en tout cas à la performance *bizarre*).

Concernant les émissions de CO₂, il est intéressant de voir qu'au Royaume-Uni, 2,3 milliards de tonnes d'équivalents CO₂ ont été évitées depuis l'ouverture de la centrale nucléaire de Calder Hall en 1957 (ce qui équivaut à l'*intégralité* des émissions générées par le Royaume-Uni entre 2015 et 2020).

Les figures 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 et 6.9 montrent la quantité colossale d'énergie primaire provenant des combustibles fossiles qui doit être entièrement remplacée.

Au Royaume-Uni, les efforts d'élimination du charbon comme source d'énergie primaire se sont accompagnés de très nombreux investissements dans les énergies éolienne et solaire. Ces derniers ont été soutenus par la réforme très favorable du marché de l'électricité appliquée au début des années 2010, qui a « socialisé » les coûts et les conséquences de l'intermittence et a eu pour effet de financer l'énergie renouvelable, qu'elle soit nécessaire ou non. Une seule nouvelle centrale nucléaire a été approuvée pendant cette période, bien que la législation de base pour une énergie bas carbone au Royaume-Uni prévoit clairement la construction de parcs de plusieurs centrales de l'ordre du gigawatt. Cette prévision a été revue à la baisse avec le gouvernement de coalition de 2010, sous lequel le Ministère de l'énergie et du changement climatique a été confié aux libéraux-démocrates, historiquement antinucléaires. Le pouvoir relatif des pro-renouvelables a considérablement augmenté au sein du gouvernement pendant cette période tandis que le Bureau pour le développement nucléaire a perdu de son influence à partir de 2014. Le Royaume-Uni est passé de l'avant-garde de la « renaissance nucléaire » en 2008-2014 à, au mieux, la queue du peloton. Alors que le Premier Ministre a élaboré un plan visionnaire en dix points pour une révolution industrielle verte (*The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution*)⁴ en 2020, le livre blanc qui a suivi était relativement peu ambitieux sur le plan nucléaire.

La politique allemande, guidée en particulier par la politique écologiste antinucléaire qui a dominé lors des élections en Bade-Wurtemberg au lendemain de la catastrophe nucléaire de Fukushima Daiichi, est bien connue. La politique énergétique (*Energiewende*) menée par la suite a échoué à faire baisser notablement les émissions de CO₂. Une étude a montré que l'Allemagne aurait sauvé 1 100 vies et économisé 12 milliards de dollars des États-Unis par an en coûts sociaux si elle avait retardé la sortie du nucléaire et supprimé d'abord les

⁴ Gouvernement de 2020 (l'énergie nucléaire est abordée au point trois, après l'éolien offshore et l'hydrogène bas carbone).

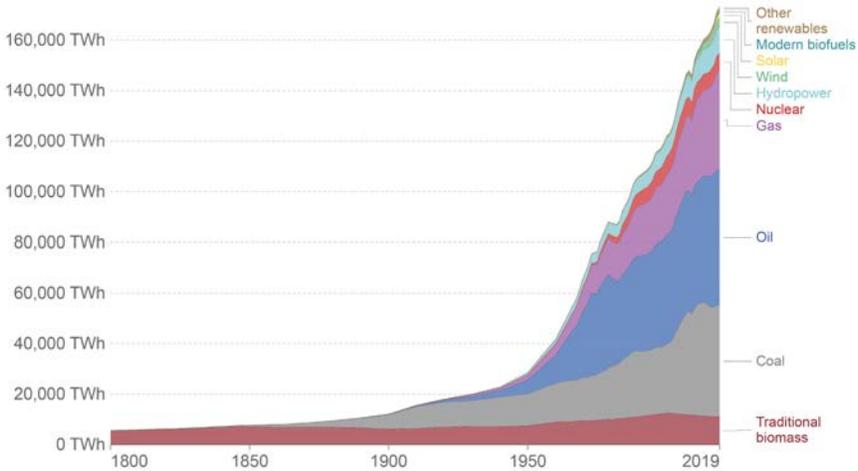


Fig. 6.1 Consommation mondiale d'énergie primaire par source. Note : la consommation d'énergie primaire est calculée selon la méthode de la substitution, qui tient compte des inefficiences dans la transformation des combustibles fossiles en considérant, pour les énergies non fossiles, l'équivalent en intrants énergétiques qui serait nécessaire si ces énergies enregistraient les mêmes pertes que les combustibles fossiles. Source : <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption> (page consultée le 14 juillet 2021).

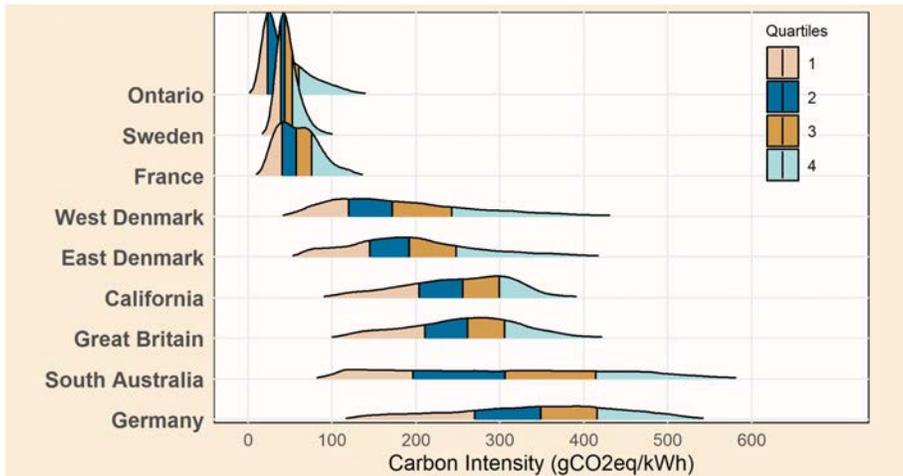


Fig. 6.2 Intensité de carbone de la consommation d'électricité 2017-2021. Source : @GrantChalmers.

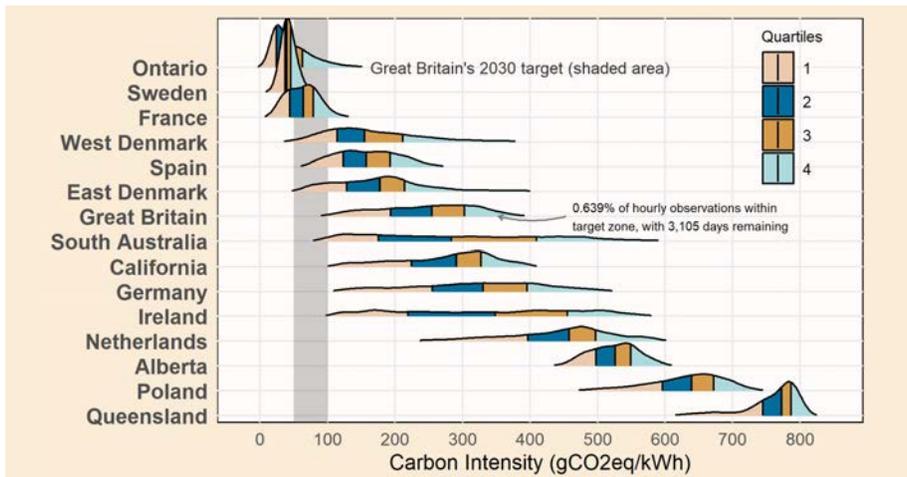


Fig. 6.3 Intensité de carbone de la consommation d'électricité 2020-2021. Source : @GrantChalmers.

centrales au charbon. D'après Environmental Progress⁵, l'Allemagne aurait déjà pu commencer à se défaire des combustibles fossiles si elle avait investi dans le nucléaire au lieu des énergies renouvelables⁶. La profonde aversion des Allemands pour le nucléaire pourrait trouver ses origines dans les premiers investissements effectués dans cette énergie en Allemagne dans les années 1970⁷. Selon Marx⁸, l'appui au nucléaire est d'abord venu des entreprises (notamment BASF et Hoechst) et non des gouvernements fédéral ou régionaux. Dans les années 1960, la majorité de la population était favorable au nucléaire, mais ni le Gouvernement fédéral ni les gouvernements régionaux n'ont véritablement tenté de vendre une politique nucléaire au peuple allemand. Cette acceptation sociale s'est affaiblie à mesure que les grandes entreprises promouvaient l'énergie nucléaire, d'autant plus après la crise pétrolière de 1973. En définitive, les compagnies d'électricité allemandes se sont développées en grande partie sur la base du nucléaire mais les

⁵ <https://grist.org/energy/the-cost-of-germany-going-off-nuclear-power-thousands-of-lives>, page consultée le 14 juillet 2021 ; <https://www.nber.org/papers/w26598>, page consultée le 14 juillet 2021 ; <https://www.welt.de/wirtschaft/plus204786230/Atomausstieg-Was-die-Energiewende-wirklich-kostet.html>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁶ <https://environmentalprogress.org/big-news/2018/9/11/california-and-germany-decarbonization-with-alternative-energy-investments>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁷ <https://www.dw.com/en/nuclear-power-in-germany-a-chronology/a-2306337> (brève histoire de l'énergie nucléaire en Allemagne), page consultée le 14 juillet 2021.

⁸ Marx 2014.

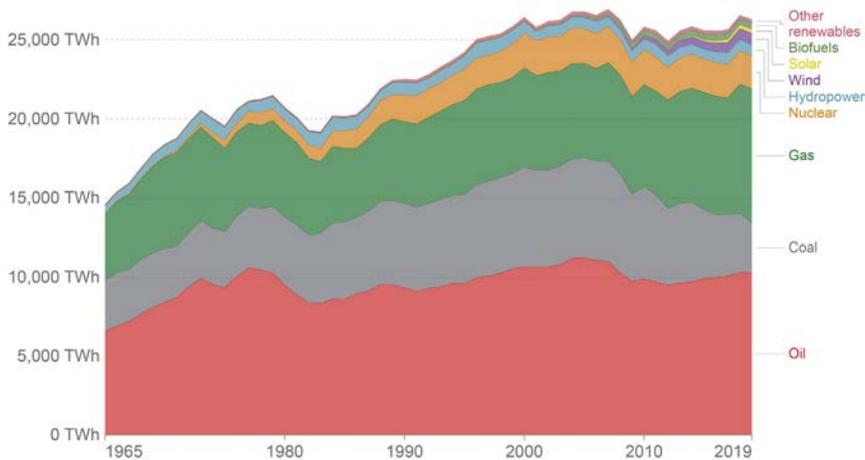


Fig. 6.4 Consommation d'énergie par source – États-Unis d'Amérique. Les « autres énergies renouvelables » comprennent l'énergie géothermique, la biomasse et l'énergie des déchets. Note : la consommation d'énergie primaire est mesurée en térawatt-heures (TWh). Un facteur d'inefficacité a été appliqué aux combustibles fossiles (méthode de la substitution) de sorte que le total des différentes sources d'énergie correspond mieux à la consommation finale. Source : <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (page consultée le 14 juillet 2021).

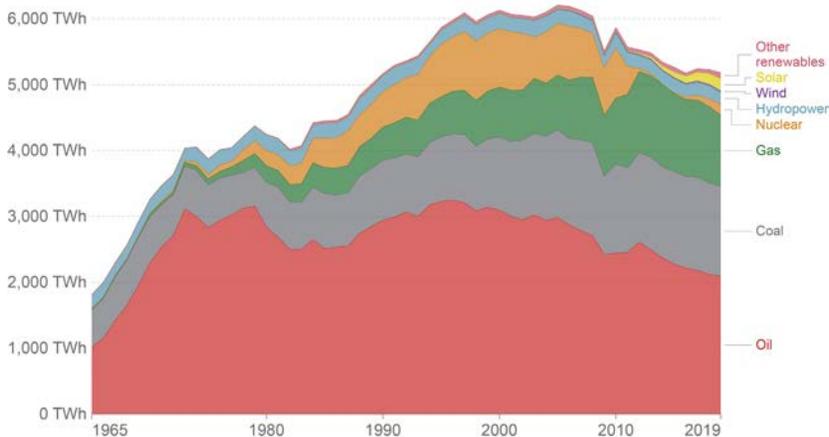


Fig. 6.5 Consommation d'énergie par source – Japon. Les « autres énergies renouvelables » comprennent l'énergie géothermique, la biomasse et l'énergie des déchets. Note : la consommation d'énergie primaire est mesurée en térawatt-heures (TWh). Un facteur d'inefficacité a été appliqué aux combustibles fossiles (méthode de la substitution) de sorte que le total des différentes sources d'énergie correspond mieux à la consommation finale. Source : <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (page consultée le 14 juillet 2021).

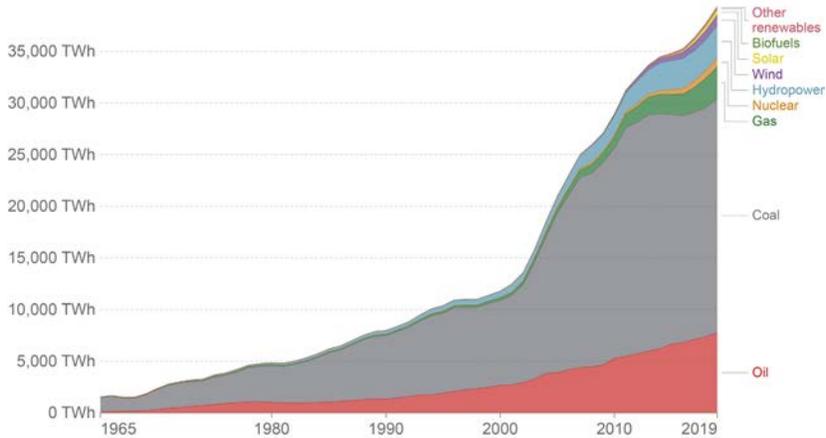


Fig. 6.6 Consommation d'énergie par source – Chine. Les « autres énergies renouvelables » comprennent l'énergie géothermique, la biomasse et l'énergie des déchets. Note : la consommation d'énergie primaire est mesurée en térawatt-heures (TWh). Un facteur d'inefficacité a été appliqué aux combustibles fossiles (méthode de la substitution) de sorte que le total des différentes sources d'énergie correspond mieux à la consommation finale. Source : <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (page consultée le 14 juillet 2021).

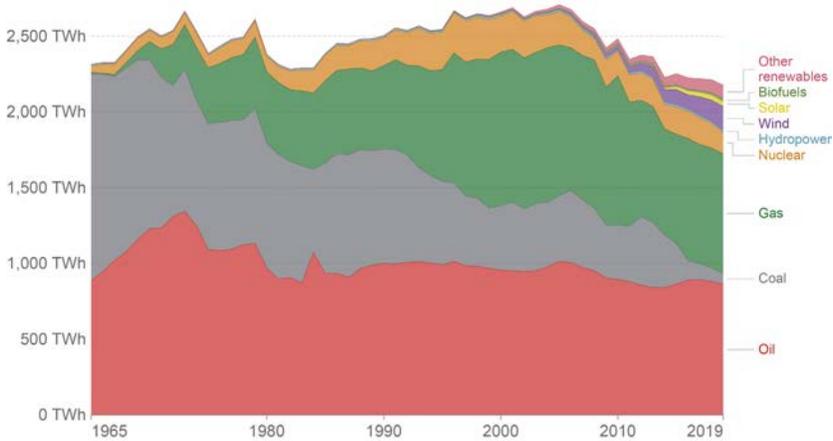


Fig. 6.7 Consommation d'énergie par source – Royaume-Uni. Les « autres énergies renouvelables » comprennent l'énergie géothermique, la biomasse et l'énergie des déchets. Note : la consommation d'énergie primaire est mesurée en térawatt-heures (TWh). Un facteur d'inefficacité a été appliqué aux combustibles fossiles (méthode de la substitution) de sorte que le total des différentes sources d'énergie correspond mieux à la consommation finale. Source : <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (page consultée le 14 juillet 2021).

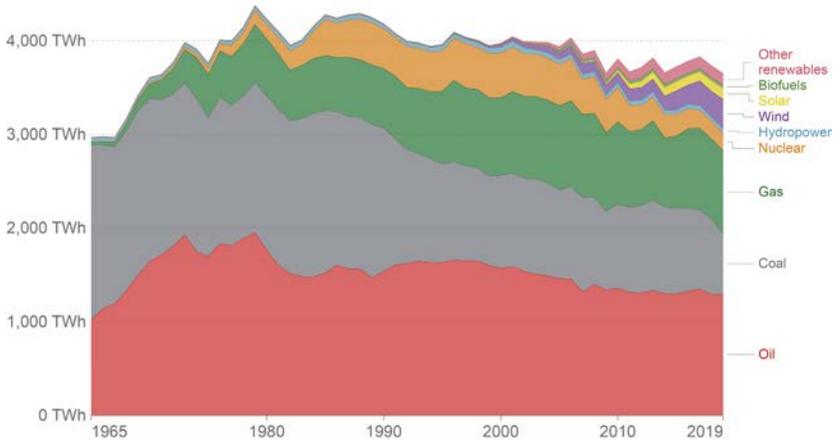


Fig. 6.8 Consommation d'énergie par source – Allemagne. Les « autres énergies renouvelables » comprennent l'énergie géothermique, la biomasse et l'énergie des déchets. Note : la consommation d'énergie primaire est mesurée en térawatt-heures (TWh). Un facteur d'inefficacité a été appliqué aux combustibles fossiles (méthode de la substitution) de sorte que le total des différentes sources d'énergie correspond mieux à la consommation finale. Source : <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (page consultée le 14 juillet 2021).

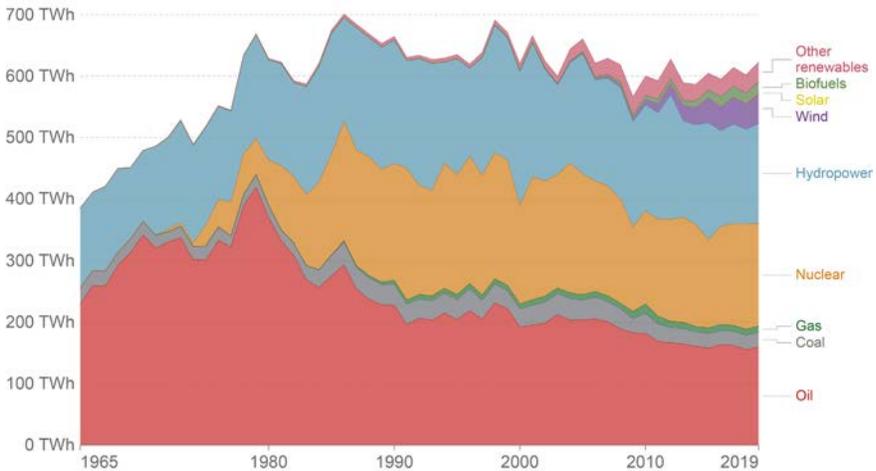


Fig. 6.9 Consommation d'énergie par source – Suède. Les « autres énergies renouvelables » comprennent l'énergie géothermique, la biomasse et l'énergie des déchets. Note : la consommation d'énergie primaire est mesurée en térawatt-heures (TWh). Un facteur d'inefficacité a été appliqué aux combustibles fossiles (méthode de la substitution) de sorte que le total des différentes sources d'énergie correspond mieux à la consommation finale. Source : <https://ourworldindata.org/energy-mix?country=> (page consultée le 14 juillet 2021).

industries qui avaient initialement défendu cette énergie ont fini par soutenir le charbon, la transformation du charbon en liquide et le lignite.

Les graphiques en disent long sur l'ampleur du défi en matière de construction. On sait, depuis la vague d'installation de systèmes de production d'énergie éolienne et solaire, que ces systèmes ont une durée de vie nettement inférieure à celle des autres sources d'énergie primaire classiques⁹. Cet argument devrait à lui seul stimuler les décideurs et les gouvernements. Des progrès spectaculaires ont été accomplis dans le développement des énergies renouvelables ces 15 dernières années mais, comme souvent avec les infrastructures d'importance nationale, les questions de la durée de vie et du cycle d'investissement sont généralement ignorées jusqu'à ce qu'une crise apparaisse. Le Royaume-Uni pourrait avoir connu une crise « appropriée » en septembre 2021, à l'heure où j'écris ces lignes. La très faible production d'énergie renouvelable (2,78 % à l'heure actuelle) due aux conditions météorologiques défavorables et les prix du gaz très élevés ont forcé le redémarrage de la seule centrale au charbon exploitable et les prix de l'énergie sont montés en flèche, provoquant la faillite de nombreux commerces de détail. Ce qu'il faut retenir, c'est que pratiquement aucune des sources d'énergie primaire renouvelables exploitées actuellement ne sera encore exploitable en 2050. En plus d'un système de décarbonation massive, il convient de mettre au point un plan permanent de remplacement et de conversion pour garantir la production durable d'énergie renouvelable.

Il n'y a probablement pas de solution miracle pour transformer le système énergétique d'un pays. Les systèmes modernes résilients garantissant un bon niveau de sécurité énergétique seront ceux qui combineront plusieurs sources d'énergie et qui auront une capacité intrinsèque suffisante pour faire face aux scénarios même les moins probables. La solution optimale doit tenir compte des délais de construction possibles et des contraintes physiques (surface terrestre/maritime nécessaire, effectifs disponibles, provenance de l'acier, réduction du carbone incorporé, etc.) probablement très fortes (autrement dit très contraignantes du point de vue de l'optimisation) pour réduire au minimum le coût du système pour l'économie nationale.

6.4. CARACTÉRISTIQUES/AVANTAGES DE L'ÉNERGIE NUCLEAIRE

Avant d'examiner plus en détail certaines questions pratiques, il convient de revenir sur les raisons pour lesquelles l'énergie nucléaire peut, et dans

⁹ Voir par exemple Fuchs *et al.* 2021.

de nombreux cas devrait, être un élément majeur et essentiel d'un système énergétique au XXI^e siècle.

6.4.1. Meilleure « densité énergétique », source de la plupart des avantages

Les données sur la densité énergétique parlent d'elles-mêmes :

- uranium enrichi à 3,5 % utilisé dans un réacteur à eau ordinaire : environ 3 900 GJ/kg ;
- uranium utilisé comme combustible dans un réacteur à neutrons rapides : environ 28 000 GJ/kg ;
- charbon : environ 24-25 MJ/kg (MJ, pas GJ) ;
- hydrogène : environ 120-142 MJ/kg ;
- gaz naturel : environ 42-55 MJ/kg.

L'uranium libère donc environ 156 000 fois plus d'énergie que le charbon dans un réacteur à eau ordinaire classique, et ce coefficient monte à 1,12 million dans un réacteur à neutrons rapides (voir la section 6.9.2).

Grâce à la densité énergétique exceptionnelle du combustible nucléaire, l'énergie nucléaire est celle qui nécessite la plus petite surface. Le tableau 6.1 présente les résultats d'une analyse récente de l'utilisation du sol tout au long du cycle de vie¹⁰.

Les chiffres concernant la surface utilisée pour la production proprement dite sont légèrement différents et pourraient constituer une base de sélection très différente (le nucléaire est cependant toujours, de loin, l'énergie la plus efficace en termes d'utilisation de surface, quelle que soit l'analyse effectuée).

Prenez Torness, par exemple, au Royaume-Uni. Cette centrale de 1988 de 1,36 GW devrait produire quatre fois plus d'énergie qu'East Anglia One, le plus grand parc éolien britannique en construction. East Anglia One compte 102 turbines et nécessite une surface de 300 km² tandis que Torness occupe quelque 130 ha (environ 1,3 km²) au total, et l'îlot nucléaire lui-même prend beaucoup moins de place.

Pour remplacer Torness, il faudrait 400 éoliennes, soit environ 1 200 km² – une surface qui pourrait facilement contenir plusieurs fois le parc nucléaire *mondial* tout entier.

¹⁰ Chivers *et al.* 2017.

TABLEAU 6.1 SURFACE NÉCESSAIRE POUR LES DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIE TOUT AU LONG DU CYCLE DE VIE

| Système énergétique | Empreinte spatiale – km ² /TWh | | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Gagnon <i>et al.</i> ^a | EWG ^b | Cheng et Hammond ^c |
| Charbon | 4 | 3,63 | – |
| Gaz naturel (sans dispositif d'atténuation) | | 0,09 | |
| Nucléaire | 0,50 | 0,48 | 0,30 |
| Éolien | 72 | 2,33-116,66 | 1,15-44,17 |
| Photovoltaïque | 45 | 13,50-27,00 | 16,17-20,47 |
| Biomasse | 533-2 200 | 1 320-2 200 | 470 |

^a Gagnon *et al.* 2002.

^b EWG : <https://www.ewg.org/research/green-energy-guide>, page consultée le 14 juillet 2021.

^c Cheng et Hammond 2017.

6.4.2. Emplois les plus qualifiés

On trouvera à la figure 6.10 une carte des revenus au Royaume-Uni, avec la circonscription de Copeland – qui comprend Sellafield et les sites industriels nucléaires connexes – en évidence.

En général, les emplois sont mieux rémunérés dans le secteur nucléaire que dans la plupart des autres secteurs qui comptent de nombreux emplois de service professionnel. À part la région de Copeland (dominée par l'industrie nucléaire), les zones en rouge sur la carte sont soit à Londres, soit aux environs. Les chiffres correspondant à ces zones sont présentés dans le tableau 6.2.

On peut citer d'autres statistiques intéressantes à ce sujet. Les employés de la centrale de Hartlepool gagnent en moyenne plus de 50 000 livres, soit plus du double du salaire local moyen. Au Royaume-Uni, 90 % des emplois dans le secteur nucléaire sont hors de Londres et de la région du Sud-Est. Le nucléaire contribue à l'économie nationale à hauteur d'environ 12,4 milliards de livres (en

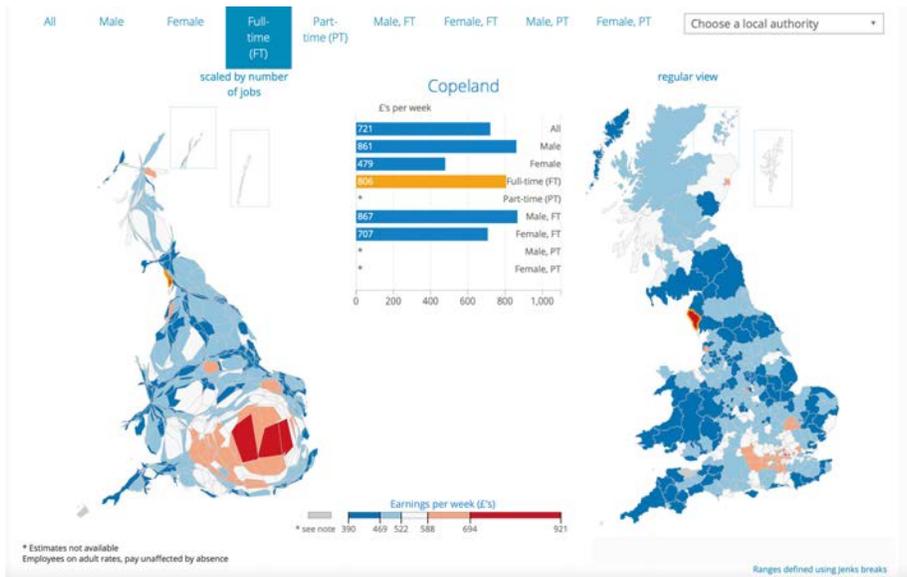


Fig. 6.10 Carte des salaires moyens au Royaume-Uni. Source : <https://www.ons.gov.uk/visualisations/nesscontent/dvc126> (page consultée le 14 juillet 2021).

TABLEAU 6.2 SALAIRE HEBDOMADAIRE MOYEN DANS LES ZONES ROUGES

| Zone | Salaire hebdomadaire moyen (en livres) |
|-----------------|----------------------------------------|
| Westminster | 635 |
| Copeland | 721 |
| Tower Hamlets | 768 |
| Cité de Londres | 870 |

tenant compte des multiplicateurs) et, globalement, les emplois et les entreprises dans ce secteur rapportent 2,8 milliards de livres en recettes fiscales.

Et en prime, ça donne de la lumière !

6.4.3. Seule technologie de production de chaleur et d'électricité propres

L'énergie nucléaire découle de la production de chaleur bas carbone. C'est une des seules sources d'énergie primaire avec les énergies éolienne et solaire (qui transforment l'énergie du climat en électricité) et l'énergie hydroélectrique (qui utilise les précipitations atmosphériques et la gravité). Elle résulte d'un processus physique fondamental qui libère l'énergie contenue dans n'importe quel élément du tableau périodique dont le numéro atomique est supérieur à celui du fer¹¹. L'énergie libérée par la réaction nucléaire – fission ou fusion – est capturée sous forme de chaleur bas carbone, et c'est de là que provient toute l'énergie utilisée par la suite. La chaleur sert généralement à faire bouillir de l'eau et à produire de la vapeur pour faire tourner les turbines et les générateurs. Cependant, elle constitue de plus en plus un enjeu majeur, non seulement pour le secteur et les autres modes de production d'électricité tels que l'électrolyse à haute température (voir la section 6.6.1.1), mais aussi pour la production d'hydrogène – qui sera probablement un élément essentiel des systèmes énergétiques futurs dans de nombreux pays – par des systèmes thermo-chimiques (catalytiques).

Par ailleurs, l'énergie nucléaire classique offre une certaine flexibilité, les grands réacteurs utilisés pour produire de l'électricité pouvant fonctionner en suivi de charge pour contrebalancer les énergies renouvelables, beaucoup moins flexibles et intermittentes. La figure 6.11, tirée du document de l'OCDE/AEN intitulé « Technical and economic aspects of load following with nuclear power plants¹² », donne un exemple du fonctionnement en suivi de charge d'un réacteur du parc d'EDF, en France, où près des trois quarts de l'électricité proviennent de l'énergie nucléaire.

Les aspects économiques du suivi de charge d'un réacteur nucléaire sont intéressants et complexes : si le coût du combustible économisé est faible, les coûts additionnels [liés par exemple à l'utilisation de davantage de résines échangeuses d'ions dans les réacteurs à eau sous pression (REP)] peuvent largement dépasser ces économies. Néanmoins, les réacteurs nucléaires peuvent fonctionner, et fonctionnent souvent, en suivi de charge.

6.5. ASSEMBLAGE DES RÉACTEURS MODULAIRES

La plupart des centrales nucléaires ont été construites entièrement sur site, avec très peu de préfabrication ou de construction importante hors site. Certains des premiers réacteurs nucléaires utilisés dans les sous-marins échappent à la

¹¹ Voir par exemple Ling *et al.* 2016.

¹² OCDE/AEN 2011.

règle mais, jusqu'aux années 2020, l'approche normale consistait à construire sur site. Au début du siècle, on a commencé à s'intéresser de plus en plus à un processus alternatif de fabrication en parallèle permettant de réduire la durée globale du projet [c'est une des raisons pour lesquelles les prix de l'électricité d'origine nucléaire sont si sensibles au coût moyen pondéré du capital (CMPC), comme expliqué à la section 6.10.1]. La fabrication en usine devait aussi améliorer la qualité et l'uniformité de l'ensemble des pièces et éliminer le besoin de modification sur site.

6.5.1. AP1000 et sûreté passive

L'histoire de l'énergie nucléaire est dominée par la recherche constante d'ajustements et de modifications techniques, sans réelle tentative de conception pour la fabrication, sans réel intérêt pour la mise en œuvre de projets nouveaux en termes de GW/an et sans une attention suffisante pour la fiabilité fondamentale des coûts et du calendrier de construction.

Une des grandes faiblesses du secteur nucléaire est l'absence d'un produit clair. Des composants sont vendus à des entreprises de services publics qui les intègrent souvent à un processus relativement personnalisé, excepté en République de Corée et en Chine où le processus est généralement plus industriel. Il n'y a pas de conception pour la fabrication, pas de réel intérêt pour les GW/an et trop peu d'attention pour la fiabilité des coûts et du calendrier. Au Royaume-Uni, les réacteurs de la deuxième génération – réacteurs avancés refroidis par gaz (RARG) – sont tous

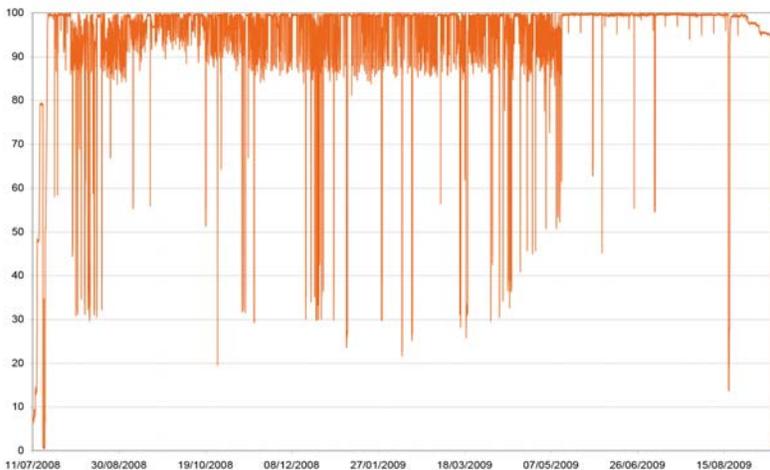


Fig. 6.11 Exemple du fonctionnement en suivi de charge d'un réacteur nucléaire. Source : OCDE/AEN 2011, avec l'aimable autorisation d'Électricité de France.

différents, malgré l'intention de constituer un parc d'un modèle unique. Le livre blanc de 2008 avait clairement pour ambition de guider la construction d'un parc de réacteurs et le processus de certification a été établi à cette époque, avec d'autres mesures, afin de faciliter au maximum la création en une fois d'un nouveau parc de départ auquel il serait difficile d'apporter des modifications ultérieurement excepté à l'échelle du parc. Malgré la vision et les aspirations de l'époque, au moment de la rédaction de cet article, le Royaume-Uni n'a approuvé qu'un seul nouveau projet électronucléaire, et le *Sunday Times* a récemment qualifié la politique nucléaire menée par le pays après 2010 de « sclérosée¹³ ». Le programme de construction de RARG qui a succédé au programme de réacteurs Magnox devait aboutir à la construction d'un parc britannique, avec les enseignements et les gains d'efficacité que cela suppose. Dans la pratique, les RARG sont tous différents, ayant été construits par des entreprises différentes sans une attention suffisante accordée à l'uniformisation avec le premier modèle achevé. De même, aux États-Unis, un modèle commun de REP, le *Standardized Nuclear Unit Power Plant System* (SNUPPS), a été mis au point par Westinghouse dans les années 1970 pour quatre compagnies d'électricité américaines, et des centrales ont été construites à Callaway et à Wolf Creek. La centrale de Sizewell B, au Royaume-Uni, est aussi basée sur le SNUPPS mais, comme c'est trop souvent le cas, avec d'importantes modifications.

Dans les années 1990, cherchant à accroître encore la sûreté, plusieurs fournisseurs de réacteurs ont décidé de concevoir de nouveaux modèles. Westinghouse a d'abord mis au point l'AP600, certifié par la NRC en 1999, un réacteur moderne, plus simple et plus sûr avec une fréquence d'endommagement du cœur environ 1 000 fois inférieure à l'exigence réglementaire. Ce modèle, amélioré par la suite pour former l'AP1000, a d'abord été construit à Sanmen (Chine), puis à Vogtle (États-Unis) pour la Southern Company.

Un réacteur AP1000 est composé de 149 modules structurels de cinq types différents et de 198 modules mécaniques de quatre types différents : équipement,

TABLEAU 6.3 COMPARAISON DE SIZEWELL B ET DE L'AP1000

| Réacteur | Béton | Armature |
|------------|-------------------------------------------------|----------------------|
| Sizewell B | 520 000 m ³ (438m ³ /MWe) | 65 000 t (55 t/MWe) |
| AP1000 | <100 000 m ³ (90m ³ /MWe) | <12 000 t (11 t/MWe) |

¹³ <https://www.thetimes.co.uk/article/were-pivoting-to-nuclear-but-are-ministers-too-late-vjrmhltb2>, page consultée le 17 octobre 2021.

tuyauterie et vannes, marchandises et service standard. Ceux-ci, qui représentent un tiers de la construction, peuvent être construits hors du site en parallèle des travaux effectués sur le site. Le tableau 6.3. donne une comparaison de l'AP1000 et du précédent modèle de Westinghouse construit à Sizewell B (Royaume-Uni).

La construction des premières centrales AP1000 a été jalonnée de problèmes et de retards. En décembre 2016, le *Wall Street Journal*¹⁴ écrivait que la construction à Sanmen avançait plus vite que les travaux de génie, ce que Westinghouse reconnaissait comme une erreur. À plusieurs reprises, l'entreprise avait dû retirer du matériel déjà installé et recommencer ou revoir laborieusement les travaux de génie réalisés. À Vogtle, le projet a été sauvé lorsque Westinghouse en a finalement confié la gestion et l'exécution à Bechtel alors que, un peu comme à Sanmen, il était en train de dérapier. Le réacteur de Sanmen a été mis en service le 28 juin 2018 et, en juillet 2021, la construction de l'unité 3 de Vogtle était achevée à environ 98 %, le projet d'agrandissement complet (unités 3 et 4) étant quant à lui achevé à environ 92 %¹⁵. Les enseignements tirés de la construction de l'AP1000 à Vogtle devraient permettre de construire les futurs réacteurs de ce type de manière plus rapide et plus prévisible, à un coût plus attractif que les installations de production d'électricité renouvelable. À l'heure où j'écris ces lignes, Bechtel, Westinghouse et la Southern Company (les propriétaires de la centrale de Vogtle) envisagent de construire des réacteurs AP1000 sur le site de Wylfa, où Hitachi menait le projet Horizon jusqu'à ce qu'il décide de l'arrêter le 31 mars 2021. Le projet de Bechtel, Westinghouse et la Southern Company, s'il est approuvé par le Gouvernement britannique, devrait être achevé bien avant la fin de la période couverte par le très ambitieux sixième « budget carbone » publié en décembre 2020 par le Comité britannique sur le changement climatique¹⁶.

En parallèle, au Japon, Hitachi et Toshiba ont conçu des réacteurs avancés à eau bouillante (RAEB) très modulaires en suivant une approche novatrice de la construction sur site. Les quatre premiers réacteurs de ce type auraient été construits en 39 à 43 mois¹⁷ par une seule équipe, ce qui pourrait s'expliquer en partie par la grande discipline avec laquelle le Japon aborde la construction, activité professionnelle soutenue par un solide renforcement culturel.

¹⁴ <https://www.wsj.com/articles/troubled-chinese-nuclear-project-illustrates-toshibas-challenges-1483051382>, page consultée le 14 juillet 2021.

¹⁵ <https://www.southerncompany.com/innovation/vogtle-3-and-4.html>, page consultée le 14 juillet 2021.

¹⁶ Comité britannique sur le changement climatique 2020.

¹⁷ Association nucléaire mondiale 2021a.

6.5.2. Le produit nucléaire – une centrale modulaire

Les difficultés liées aux projets de réacteur de l'ordre du gigawatt (l'investissement initial important qui fait clairement de ces projets un « risque souverain »), les difficultés rencontrées dans de nombreux pays pour mettre en œuvre des grands projets dans les délais et les limites du budget (indépendamment de la technologie, de la puissance et du transport, par exemple) et la modularisation des réacteurs de l'ordre du gigawatt ont conduit naturellement à envisager des modèles de réacteurs plus petits et très modulaires.

Plusieurs modèles de ce type sont maintenant bien avancés, le plus abouti au moment de la rédaction de cet article étant NuScale, destiné à l'Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS). Le projet est basé sur un modèle pouvant accueillir jusqu'à 12 modules NuScale Power, lesquels peuvent être entièrement construits en usine et transportés sur le site par voie maritime ou routière. Les autres composants seront traités de la même manière, de façon modulaire. Les turbogénérateurs, les processus de contrôle chimique et les autres systèmes modulaires seront assemblés hors du site, montés sur palette et transportés sur le site de la centrale. Le coût du projet est actuellement estimé à 6,1 milliards de dollars, ce qui inclut l'investissement initial, les frais à charge des propriétaires, le coût de l'indexation, les faux frais, les honoraires, les frais de garantie et les intérêts capitalisés. La puissance de sortie devrait être de 77 MW par module, soit 924 MW au total.

La mise en service du premier module est prévue en 2029 et, dans un article sur la structure des coûts du module NuScale Power publié en 2019, Black *et al.*¹⁸ suggèrent que, dans l'ensemble, l'estimation nettement plus faible de l'investissement initial direct et indirect se traduira probablement par un coût moyen actualisé de l'électricité (CMAE) bien inférieur à celui des centrales nucléaires classiques et plus proche de celui correspondant aux autres technologies énergétiques.

Suite aux progrès affichés par NuScale, d'autres se sont intéressés de plus en plus aux petits réacteurs modulaires (PRM), qui ont attiré des investissements et suscité un vif intérêt auprès de pays du monde entier. Les États-Unis, le Canada et de nombreux pays européens manifestent maintenant clairement leur intérêt pour ces technologies. World Nuclear News a dressé une liste de modèles bien avancés et déployables à court terme¹⁹, qui est reproduite dans le tableau 6.4.

¹⁸ Black *et al.* 2019.

¹⁹ Association nucléaire mondiale 2021b.

TABLEAU 6.4 QUELQUES MODÈLES DE PRM

| Nom | Capacité | Type | Développeur |
|-----------------------|----------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| VBER-300 | 300 MWe | REP | OKBM (Fédération de Russie) |
| NuScale | 77 MWe | REP intégré | NuScale Power + Fluor (États-Unis) |
| SMR-160 | 160 MWe | REP | Holtec (États-Unis) + SNC-Lavalin (Canada) |
| SMART | 100 MWe | REP intégré | KAERI (République de Corée) |
| BWRX-300 | 300 MWe | REB | GE Hitachi (États-Unis) |
| PRISM | 311 MWe | RNR refroidi au sodium | GE Hitachi (États-Unis) |
| Natrium | 345 MWe | RNR refroidi au sodium | TerraPower + GE Hitachi (États-Unis) |
| ARC-100 | 100 MWe | RNR refroidi au sodium | ARC et GE Hitachi (États-Unis) |
| Integral MSR | 192 MWe | RSF | Terrestrial Energy (Canada) |
| Seaborg CMSR | 100 MWe | RSF | Seaborg (Danemark) |
| Hermes (prototype) | <50 MWt | RSF-Triso | Kairos (États-Unis) |
| RITM-200M | 50 MWe | REP intégré | OKBM (Fédération de Russie) |
| BANDI-60S | 60 MWe | REP | Kepeco (République de Corée) |
| Xe-100 | 80 MWe | Réacteur à haute température | X-energy (États-Unis) |
| ACPR50S | 60 MWe | REP | CGN (Chine) |
| Moltex SSR-W | 300 MWe | RSF | Moltex (Royaume-Uni) |

6.5.2.1. *Comment construire le plus rapidement ?*

Vu que le Japon et la République de Corée peuvent apparemment construire des réacteurs très rapidement (voir la section 6.12.2), on se demande à présent quelles possibilités offrirait la construction en usine d'une centrale tout entière de façon massivement parallèle. Combien de temps faudrait-il alors pour assembler sur le site un réacteur de 300 MW, par exemple, à partir du moment où une base standard – comme celle proposée par Arup pour l'UKSMR – aurait été installée ? Pourquoi ne pourrait-on pas réduire la durée d'assemblage d'unités modulaires à moins de deux ans grâce à des interfaces intelligentes entre modules ?

C'est le défi auquel doit répondre le secteur nucléaire en 2021.

6.5.2.2. *L'approche UKSMR*

Le consortium UKSMR fondé par la société de défense et d'aérospatiale Rolls-Royce, qui s'est forgée une vaste expérience en tant que constructeur de tous les réacteurs de sous-marins nucléaires britanniques, a mis au point un modèle de PRM qui devrait entamer le processus de certification au Royaume-Uni à l'automne 2021. Ces dernières années, le concept de fabrication modulaire des réacteurs que Rolls-Royce développe depuis plusieurs années a évolué vers une vision plus large de centrale modulaire²⁰. Cette évolution, naturellement, reflète la réalité qui est qu'aucun exploitant ou investisseur ne sera intéressé par un réacteur seul ; c'est une centrale tout entière qui permet de générer une énergie utile et des revenus, et plus on réduira la complexité, les risques et les coûts d'une centrale, plus les PRM seront intéressants. Face au défi actuel de la neutralité carbone, l'élément crucial des nouvelles constructions est le nombre de GW/an avec un prix de l'électricité plafonné. Plus les PRM pourront être déployés rapidement, plus ils seront attrayants, d'autant plus qu'ils ont un coût d'investissement bien plus faible et ne nécessitent donc l'appui du gouvernement qu'à très court terme. Bien entendu, la difficulté restera de s'assurer qu'ils sont bien déployés à l'échelle d'un parc et que les erreurs faites avec les RARG ne se répètent pas.

Selon Rolls-Royce, la manière actuelle d'aborder les nouvelles constructions nucléaires comme des grands projets d'infrastructure isolés ne convient plus à l'heure où nous avons besoin de nouvelles centrales nucléaires déployées rapidement et à un prix abordable dans de nombreux endroits du monde.

La société prévoit de fabriquer environ 90 % de la centrale en usine et de la livrer sous forme de modules par voie routière ou ferroviaire. Les autres composants seront préparés sur le site, où la centrale sera assemblée et mise en

²⁰ Communication personnelle.

service par l'équipe Rolls-Royce SMR dans le cadre d'un contrat clé en main couvrant la conception, la fabrication et l'assemblage.

Il ne fait aucun doute pour Rolls-Royce que le fait de livrer une centrale nucléaire en tant que produit manufacturé permettra d'obtenir la réduction des coûts et des risques et l'amélioration de la qualité associées à la fabrication en usine, tout en éliminant les coûts, les délais et les risques liés à l'établissement d'une nouvelle chaîne d'approvisionnement et d'une nouvelle équipe inexpérimentée de contractants en ingénierie, en approvisionnement et en construction (IAC) pour chaque nouvelle centrale.

D'après l'équipe chargée du projet, le PRM de Rolls-Royce a été conçu en tenant compte dès le début des besoins des utilisateurs finaux, en veillant en particulier à :

- a) réduire le coût d'investissement par MW installé grâce à la conception :
 - maximiser la puissance en maintenant une petite taille physique ;
 - utiliser un ensemble de produits disponibles sur le marché – équipement simplifié et standardisé utilisé dans d'autres applications, pas de composants « uniques » ;
 - éviter les pièces lourdes et imposantes qui ne sont fabriquées que par quelques fournisseurs dans le monde ;
 - réduire radicalement les activités liées à la construction : modularisation de l'ensemble de la centrale et pas seulement de l'îlot nucléaire ;
 - axer la modularisation sur la normalisation, la banalisation, la reproductibilité en usine et la production en chaîne ;
 - éviter les modules uniques de très grande taille qui doivent être démontés pour le transport et/ou dont la construction nécessite des installations coûteuses ;
 - éliminer le besoin d'aménagements en fonction du site grâce à des patins parasismiques.
- b) réduire le temps de construction :
 - modules fabriqués en usine et testés fonctionnellement hors du site ;
 - modules transportables par voie routière, donc pas besoin de nouvelles infrastructures de transport (par exemple, ports) ;
 - assemblage accéléré des modules sur le site à l'aide des installations présentes sur place ;
 - levage et assemblage simultané des modules à l'aide des installations présentes sur le site ;
 - transfert naturel des connaissances d'une unité à l'autre grâce à la reproductibilité en usine.

- c) réduire les risques/augmenter la certitude :
- risque faible en termes d'autorisation : technologie des REP éprouvée et combustible uranium standard ;
 - impact environnemental faible : empreinte au sol réduite, moins de perturbations sur le site et pas de bore ;
 - environnement contrôlé pour l'assemblage grâce à l'auvent présent sur le site ;
 - patins parasismiques : pas besoin d'aménagements en fonction du site, octroi d'autorisation simplifié pour les différents sites.

Pour l'équipe de Rolls-Royce, cette approche donnera les résultats suivants :

- prix d'achat de 1,8 milliard de livres, compte tenu du prix du matériel existant et de la vaste expérience de fabrication ;
- coût constant grâce à une fabrication en usine à 90 % ;
- électricité propre dans les proportions requises et à un prix compétitif avec les énergies renouvelables intermittentes ;
- déploiement rapide – quatre ans de construction par unité ;
- pas besoin d'interfaces contractuelles complexes en matière d'IAC – modèle de livraison à entité unique à faible risque dans le cadre d'un contrat clé en main couvrant la conception, la fabrication et l'assemblage ;
- perturbation minimale du site pendant la construction (500 personnes sur le site en moyenne, donc pas besoin d'une vaste infrastructure pour les travailleurs) ;
- grande adaptabilité en termes de taille grâce à une méthode de production innovante ;
- compatibilité avec les infrastructures existantes (réseau, transport) ;
- faible empreinte spatiale : plus grande souplesse dans le choix du site et nombre d'emplacements potentiels maximal (y compris le remplacement des centrales actuelles au charbon ou au gaz) ;
- option de refroidissement indirect : plus grande souplesse dans le choix du site ;
- création d'emplois à long terme, de manière durable dans les usines et la chaîne d'approvisionnement, en évitant le pic associé aux grands projets d'infrastructure isolés ;
- production d'électricité et/ou de chaleur à usages multiples adaptable aux applications sur et hors réseau ;
- coût en capital, risques et durée de construction réduits : possibilité pour les entités commerciales d'investir selon les modalités standard d'emprunt et de capitaux propres ;

- produit d'usine à coût faible et constant au lieu d'un grand projet d'infrastructure isolé ;
- faible risque de non-achèvement compte tenu de la fabrication standardisée du produit et du contrat clé en main couvrant la conception, la fabrication et l'assemblage.

À l'heure où j'écris ces lignes, le bruit court que Rolls-Royce aurait levé plus de 200 millions de livres de capitaux privés, égalant l'investissement du Gouvernement britannique annoncé en novembre 2020²¹. Une annonce à ce sujet devrait être faite au moment de la COP26.

6.5.2.3. *L'approche BWRX-300 de GE*

De son côté, GE a développé un modèle de réacteur à eau bouillante de 300 MW (BWRX-300) en s'appuyant sur son modèle d'ESBWR, qui a été autorisé par la NRC en 2014 mais n'a jamais été construit. L'entreprise a collaboré avec Dominion Power²² et d'autres partenaires à cette fin et elle travaille actuellement avec Ontario Power Generation²³ pour préparer le déploiement éventuel de petits réacteurs modulaires en Ontario. Il existe une feuille de route bien étayée pour le développement des PRM au Canada²⁴, le pays le plus motivé par les PRM, probablement à l'heure actuelle. Des hauts fonctionnaires tels que le Ministre fédéral des ressources naturelles, Seamus O'Regan, considèrent les PRM comme un outil indispensable pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre du Canada, l'idée étant que ces réacteurs remplacent les centrales au charbon et électrifient les installations minières, pétrolières et gazières.

Comme l'UKSMR, le BWRX-300 suit une approche de modularisation de l'ensemble de la centrale. GE a un avantage à cet égard vu que l'entreprise a ses propres modèles de turbines. Compte tenu de son ascendance et du fait que nombre de ses composants ont déjà été approuvés, le PRM de GE, modèle bien compris avec la date d'autorisation de l'ESBWR, pourrait être autorisé relativement rapidement. Il sera intéressant de voir ce qu'il en est dans la pratique.

²¹ <https://www.ukri.org/news/uk-government-invests-215-million-into-small-nuclear-reactors>, page consultée le 14 juillet 2021.

²² <https://nuclear.gpower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>, page consultée le 14 juillet 2021.

²³ <https://www.ge.com/news/press-releases/ge-hitachi-working-ontario-power-generation-smr-technology-options-ontario>, page consultée le 14 juillet 2021.

²⁴ <https://feuilleterouteprm.ca>, page consultée le 14 juillet 2021.

Le BWRX-300 fait fond sur les enseignements tirés de l'exploitation réussie des REB depuis plus de 60 ans. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- réacteur à eau bouillante de la dixième génération ;
- modèle basé sur l'ESBWR autorisé par la NRC aux États-Unis ;
- conception à coût objectif ;
- réduction significative du coût d'investissement par MW ;
- sûreté optimale ;
- capacité de suivi de charge ;
- idéal pour la production d'électricité et les applications industrielles, notamment la production d'hydrogène ;
- constructibilité intégrée dans la conception ;
- besoin limité de personnel et de mesures de sécurité sur le site ;
- demande d'autorisation déposée aux États-Unis et au Canada ;
- opérationnel d'ici à 2028.

Le BWRX-300 associe le meilleur de l'innovation et de la maturité technologique. Il s'appuie sur des techniques éprouvées en matière de combustible, de matériaux et de fabrication tout en intégrant des concepts simples et passifs révolutionnaires. Le résultat est un modèle de réacteur avancé économique, performant et extrêmement sûr pouvant être autorisé et construit à court terme. Il présente peu de risques par rapport aux grands réacteurs à eau ordinaire (REO) utilisés généralement aux États-Unis et promet d'être très compétitif sur le marché de l'énergie mondial.

Les principales modifications introduites dans le BWRX-300 sont l'utilisation de vannes d'isolement de la cuve sous pression du réacteur qui atténuent les conséquences des accidents de perte de caloporteur et l'utilisation de condenseurs d'isolement de grande capacité qui offrent une protection contre les surpressions sans nécessiter de soupapes de sûreté. La figure 6.12 présente une vue en coupe de ce modèle (reproduite avec l'aimable autorisation de GE Hitachi Nuclear Energy, qui en détient les droits d'auteur).

6.5.3. Ou la construction en chantier naval ?

En même temps, certains estiment qu'on pourrait améliorer sensiblement la vitesse et la qualité de la fabrication des PRM en perfectionnant ces modèles et en utilisant des techniques modernes de fabrication en chantier naval. La construction modulaire du navire de recherche *Sir David Attenborough* et des nouveaux porte-avions britanniques, par exemple, a mis en évidence les possibilités offertes

par cette approche²⁵. Il y a de plus en plus de projets de construction navale de défense, comme le projet récent du groupe Babcock de construire des navires de guerre pour la marine grecque en utilisant une approche modulaire inspirée de la frégate britannique de type 31, qui rencontre un certain succès.

En ce qui concerne les navires à propulsion nucléaire, les sous-marins ont ouvert la voie avec la mise en chantier du prototype de réacteur Mark 1 dans l'Idaho en 1953, et l'*USS Nautilus* a été lancé en 1954 après la pose de la quille en juin 1952. La construction des brise-glace russes, plus récemment, n'a pas été aussi rapide : l'*Arktika*, mis en chantier en novembre 2013, a réalisé ses essais en mer avec propulsion nucléaire en juin 2020, soit après la date d'achèvement initiale de décembre 2017. La crise en Ukraine a sans nul doute joué un rôle majeur dans ce retard.

La construction et l'exploitation de la barge nucléaire *Akademik Lomonosov* sont également intéressantes. La quille a été posée en avril 2007 et les travaux devaient être achevés en mai 2010 mais, après une deuxième pose de la quille dans un autre chantier naval, le navire a été mis à l'eau fin juin 2010. Les réacteurs ont été installés en octobre 2013, le combustible nucléaire a été chargé en avril 2018 et la centrale a été mise en exploitation en décembre 2019. Elle fournit à la fois de l'électricité et de la chaleur à la ville russe de Pevek, située à l'intérieur du cercle arctique.

On a beaucoup réfléchi à la manière dont les techniques modernes de construction navale utilisées dans des pays comme la République de Corée et Singapour pourraient servir à la construction non seulement de barges électriques mais aussi de navires à propulsion nucléaire et d'usines de production d'hydrogène flottantes. Core Power²⁶, une société dirigée par des spécialistes du transport expérimentés, a généré suffisamment de confiance dans son approche pour se financer entièrement auprès d'investisseurs privés des secteurs du transport et de la finance.

Pareillement, la giga-usine proposée par LucidCatalyst (voir la figure 6.13) comprend une unité de fabrication dans laquelle les sources de chaleur de haute température et le matériel connexe seraient fabriqués et installés directement sur le site. Les unités de production d'hydrogène seraient également fabriquées, installées, mises en service et exploitées sur le site. Cette approche s'inspire des pratiques modernes des chantiers navals.

D'après LucidCatalyst, le principal avantage de la fabrication en chantier naval est la productivité élevée, qui permet de réduire les coûts et la durée de mise en œuvre des projets. Les chantiers navals ont l'une des productivités les

²⁵ <https://www.clbh.co.uk/project-news/modular-construction-expertise-put-cammell-laird-premier-league-shipbuilding>, page consultée le 14 juillet 2021.

²⁶ <https://corepower.energy>, page consultée le 14 juillet 2021.

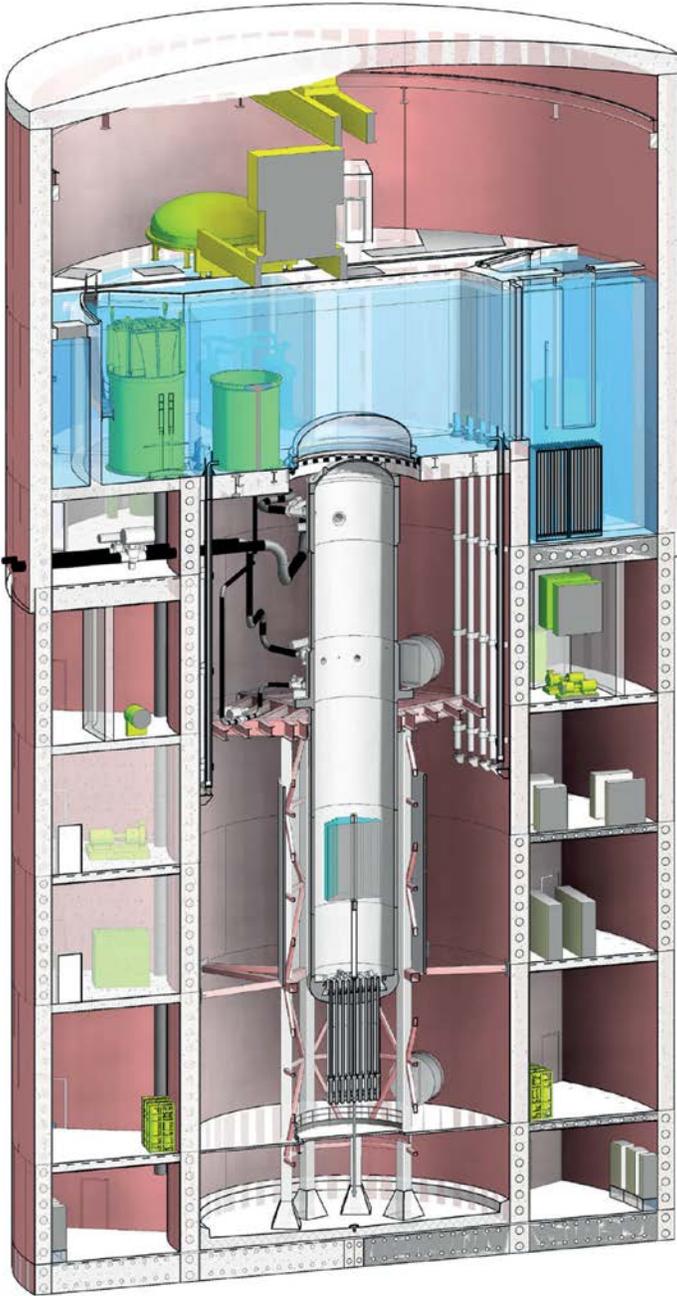


Fig. 6.12 Vue en coupe du réacteur et de l'enceinte de confinement du BWRX-300 de GE.
Source : GE Hitachi Nuclear Energy Americas LLC.



Fig. 6.13 Concept de giga-usine de production d'hydrogène de LucidCatalyst. Source : LucidCatalyst 2020.

plus élevées au monde. Le coût de la main-d'œuvre y représente 10 à 15 % seulement du coût final de l'assemblage et de la livraison, alors qu'il représente jusqu'à 35 % du coût des meilleurs chantiers classiques. Les chantiers navals les plus productifs en République de Corée et au Japon ont pu maintenir des gains de productivité de 10 à 15 % par an pendant plusieurs années²⁷.

Dans la giga-usine proposée par LucidCatalyst, plusieurs sources de chaleur (600 MWt) seraient reliées à un échangeur qui transférerait la chaleur à un système caloporteur à sels fondus pour alimenter une usine thermochimique de production d'hydrogène. Les unités de fabrication seraient connectées aux réseaux ferroviaire et portuaire afin que les composants de grande valeur qui ne sont pas nécessairement utiles sur place une fois la construction de l'usine achevée puissent être expédiés.

LucidCatalyst estime que les giga-usines de production d'hydrogène peuvent être implantées sur d'anciens sites industriels de la taille de raffineries, par exemple les grandes raffineries pétrolières et gazières établies actuellement le long des côtes, avec d'importants points d'interconnexion avec le réseau gazier. Cela évite de devoir interconnecter plusieurs projets de production d'hydrogène dispersés avec le réseau gazier principal. Il peut aussi être avantageux d'établir ces giga-usines sur le même site que des usines de production d'ammoniac ou

²⁷ LucidCatalyst 2020.

des usines de conversion de l'hydrogène en combustibles synthétiques pour que ces installations bénéficient d'électricité et d'hydrogène à faible coût.

D'autres entreprises telles que Thorcon²⁸ et Seaborg²⁹ étudient actuellement la possibilité de construire en chantier naval des barges électriques et des usines de production d'hydrogène.

L'équipe de Core Power, pour sa part, développe actuellement des modèles de navires à propulsion nucléaire qui, s'ils s'avèrent fonctionnels, révolutionneront le transport de longue distance et élimineront l'une des plus grandes sources d'émissions de CO₂ en 2050 (environ 17 % des émissions mondiales en 2050 d'après les estimations³⁰). Les navires de la classe Cape conçus pour être propulsés par l'énergie nucléaire devraient avoir une autonomie d'environ 4 millions de kilomètres à une vitesse de croisière de plus de 30 nœuds, ce qui non seulement transformerait le commerce transpacifique mais permettrait d'éviter le canal de Suez. Compte tenu des gros problèmes logistiques causés par l'échouement de l'*Ever Given* dans ce canal en 2021, la possibilité de ne pas devoir l'emprunter pourrait aussi transformer les échanges entre l'Asie et l'Europe.

6.6. LE NUCLÉAIRE COMME FOURNISSEUR DE COMBUSTIBLE ALTERNATIF

Les lycéens connaissent bien le processus de création d'hydrogène et d'oxygène à partir d'eau et d'électricité. L'électrolyse conventionnelle n'est toutefois pas une méthode de production d'hydrogène très économique et l'hydrogène utilisé dans l'industrie chimique est donc principalement produit par reformage du méthane à la vapeur, une réaction qui donne en définitive quatre molécules d'hydrogène et une molécule de CO₂ à partir d'une molécule de méthane et de deux molécules d'eau (sous forme de vapeur). Ce procédé est aujourd'hui largement soutenu pour la création d'une économie de l'hydrogène à court terme. L'électrolyse moderne emploie des dispositifs plus sophistiqués comme des piles à membrane échangeuse de protons, qui fonctionnent à des densités de courant élevées et peuvent produire de grands volumes d'hydrogène.

Cependant, comme dans la plupart des réactions chimiques, le rendement augmente avec la température. L'électrolyse à oxyde solide à haute température

²⁸ <https://thorconpower.com>, page consultée le 14 juillet 2021.

²⁹ <https://www.neimagazine.com/news/newsamerican-bureau-of-shipping-assesses-seaborgs-compact-molten-salt-reactor-8421245>, page consultée le 14 juillet 2021.

³⁰ <https://www.transportenvironment.org/discover/shipping-emissions-17-global-co2-making-it-elephant-climate-negotiations-room>, page consultée le 14 juillet 2021.

fonctionne à des températures comprises entre 100 et 850 °C, avec un rendement d'environ 41 % à 100 °C et d'environ 64 % à 850 °C.

À haute température, il est aussi possible de transformer du CO₂ et de la vapeur en un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone appelé « syngaz », que l'on peut ensuite faire réagir pour produire des hydrocarbures et d'autres produits chimiques³¹.

6.6.1. Hydrogène : procédés thermochimiques (réacteurs modulaires avancés/Génération IV)

Il existe deux procédés thermochimiques de production d'hydrogène : la catalyse thermochimique directe et l'électrolyse de la vapeur à haute température. Ils nécessitent tous les deux des températures supérieures à 500 °C et, à des températures plus proches de 1 000 °C, des techniques potentiellement plus puissantes pourraient entrer en jeu.

6.6.1.1. Électrolyse de la vapeur à haute température

Ce processus met généralement en jeu des piles à combustible à oxyde solide (SOFC) fonctionnant en sens inverse³². Ceres Power, un développeur de SOFC, étudie actuellement la possibilité de produire de l'hydrogène³³ à l'aide de ses piles, qui fonctionneront probablement à des températures proches de 1 000 °C. Aux États-Unis, des chercheurs du Laboratoire national de l'Idaho ont récemment annoncé avoir obtenu de bons résultats avec une SOFC moderne à des températures plus faibles, de l'ordre de 600 °C³⁴. Étant donné que l'hydrogène sera probablement utilisé à la place du gaz naturel pour le chauffage et en alternative aux combustibles traditionnels pour le transport, il est important d'obtenir rapidement des rendements élevés. D'après LucidCatalyst, les aspects économiques de la production d'hydrogène favoriseront en définitive le nucléaire à haute température (voir la figure 6.14). Une question à étudier sera celle du rendement relatif des procédés thermochimiques qui permettent d'éviter les

³¹ Elder *et al.* 2015.

³² Les SOFC ont été conçues initialement pour produire de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène, mais elles peuvent être inversées pour produire ces éléments par électrolyse de la vapeur à haute température ; Keçebaş *et al.* 2019.

³³ <https://www.proactiveinvestors.co.uk/companies/news/941528/ceres-power-revenues-ahead-of-target-as-fuel-cell-production-scales-up-941528.html>, page consultée le 14 juillet 2021.

³⁴ <https://inl.gov/article/new-technology-improves-hydrogen-manufacturing>, page consultée le 14 juillet 2021.

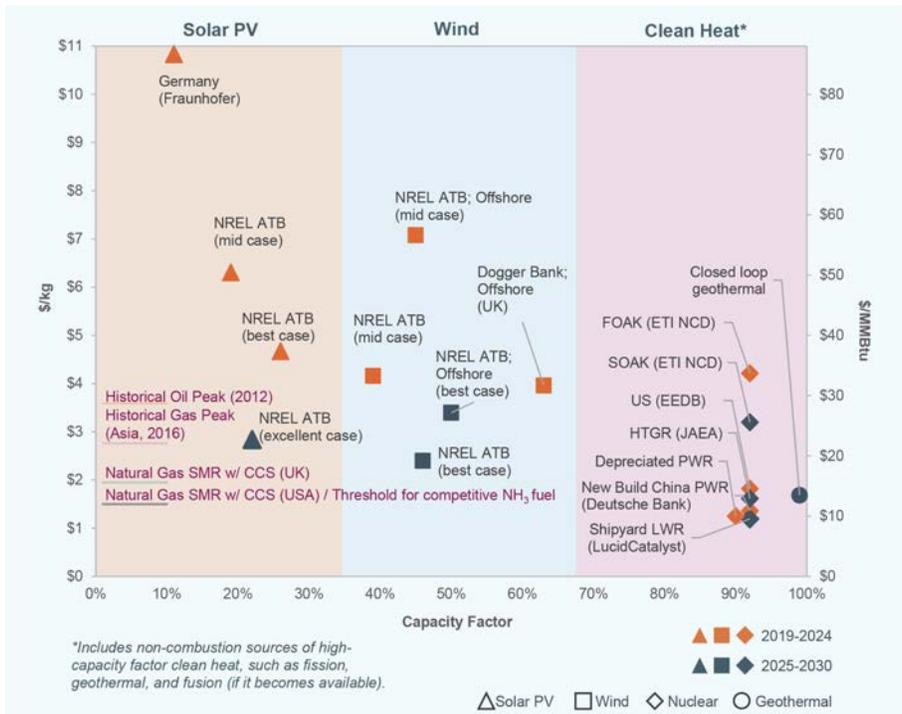


Fig. 6.14 Coût de la production d'hydrogène avec différentes technologies énergétiques dans le monde réel, aujourd'hui et en 2030. Source : LucidCatalyst 2020.

perdes de la production d'électricité par rapport à la complexité des procédés catalytiques qui utilisent uniquement la chaleur.

Dans son analyse, LucidCatalyst suggère que les réacteurs à eau ordinaire construits avec la productivité des chantiers navals pourraient être le moyen le plus économique de produire de l'hydrogène à long terme. Ils sont suivis de près par les réacteurs à haute température refroidis par gaz (RHTRG), dont le plus abouti est sans doute celui des Japonais bien que le chargement en combustible du HTR-PM chinois³⁵ ait été prévu pour le début de l'année 2021³⁶.

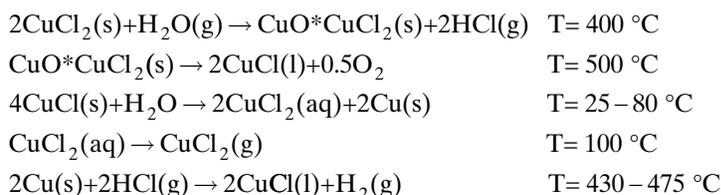
³⁵ Le HTR-PM de la CNNC est un réacteur à lit de boulets développé depuis 2012 environ qui fonctionne avec un combustible sphérique résistant aux accidents. Il est destiné initialement à la production d'électricité.

³⁶ <https://www.neimagazine.com/news/newsfirst-fuel-shipped-to-chinas-htr-pm-project-8453226>, page consultée le 14 juillet 2021.

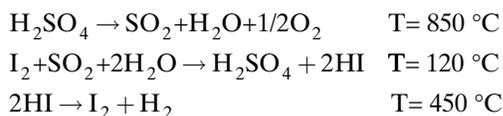
6.6.1.2. Catalyse thermochimique

Compte tenu de la chaleur à haute température produite par les réacteurs avancés, deux procédés catalytiques thermochimiques (parmi beaucoup d'autres) pourraient devenir très intéressants. Il s'agit des cycles cuivre-chlore (Cu-Cl) et soufre-iode (S-I), qui sont décrits dans une étude détaillée réalisée par Funk³⁷. Chacun de ces cycles ayant un rendement global d'environ 45 à 50 %, ils peuvent concurrencer l'électrolyse conventionnelle à SOFC. Le cycle Cu-Cl pourrait être bien adapté pour la gamme de température produite par l'uBattery³⁸, le réacteur à haute température d'Urenco conçu pour produire de la chaleur allant jusqu'à 710 °C, tandis que le cycle S-I conviendrait davantage pour les modèles à haute température tels que le RHTRG de la JAEA vu qu'une étape particulière de ce cycle nécessite des températures plus élevées. Le RHTRG japonais³⁹, qui a divergé pour la première fois en 1998 et a de nombreuses années de développement derrière lui, a été remis en exploitation récemment après que toutes les installations nucléaires japonaises avaient été mises à l'arrêt suite à la catastrophe de Fukushima.

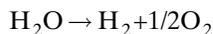
Les formules chimiques des deux cycles catalytiques figurent ci-dessous. D'abord, le cycle cuivre-chlore :



Ensuite, le cycle soufre-iode :



Globalement :



³⁷ Funk 2001.

³⁸ <https://www.u-battery.com>, page consultée le 14 juillet 2021.

³⁹ Nishihara *et al.* 2018 (description du RHTRG japonais).

6.7. LE NUCLÉAIRE COMME BATTERIE

6.7.1. Natrium

L'énergie nucléaire est généralement saluée pour son exploitation continue en charge de base avec des facteurs de capacité élevés. Néanmoins, à l'heure où l'intermittence inhérente aux autres sources d'électricité bas carbone pose de gros problèmes de distribution et de suivi de charge, cette production constante est parfois critiquée par les partisans des énergies renouvelables (par opposition avec le véritable objectif, à savoir une faible teneur en carbone). Un modèle récent pourrait changer cette perception tout en produisant de l'électricité à un prix intéressant, en particulier s'il est financé à un coût du capital suffisamment bas. Le modèle Natrium mis au point par TerraPower, la société de technologie nucléaire fondée par Bill Gates (un fervent partisan de l'énergie nucléaire comme moyen d'atteindre le zéro net et de lutter contre le changement climatique), aborde les problèmes de la distribution et du suivi de charge différemment. Ce modèle associe un réacteur rapide refroidi au sodium (voir également la section 6.9.2) avec une grande capacité de stockage à sels fondus. Ce sont les sels fondus qui fournissent la chaleur nécessaire à la production de vapeur pour les turbines. Lorsque la demande est faible, la chaleur produite par le réacteur est stockée dans les sels fondus et, lorsque la demande est élevée, la chaleur stockée dans les sels fondus est utilisée tandis que le réacteur continue d'en produire. Les développeurs parlent d'un réacteur à dispositif de stockage énergétique intégré. À l'heure de la rédaction de cet article, quatre communautés du Wyoming sont en lice pour accueillir un de ces réacteurs nucléaires de la prochaine génération dans l'État, en remplacement d'une actuelle centrale au charbon. Le vif intérêt suscité par le concept est évident à la vue des commanditaires du projet, qui comprennent PacifiCorp (une filiale de Berkshire Hathaway, pour qui la centrale sera construite), Bechtel Corporation, GE Hitachi Nuclear Energy Americas, Energy Northwest, Duke Energy Carolinas (une autre entreprise de services publics ayant une expérience de l'exploitation du nucléaire) et plusieurs laboratoires nationaux américains (Argonne, Idaho, Los Alamos, Oak Ridge et Pacific Northwest). Plusieurs éléments du modèle sont illustrés dans le plan reproduit à la figure 6.15 (avec l'aimable autorisation de TerraPower).

La capacité d'augmentation et de diminution de la puissance électrique est schématisée à la figure 6.16.

Le concept Natrium représente clairement une solution qui pourrait s'avérer puissante, à une échelle qui ne met pas en cause la tolérance au risque d'un pays, dans un monde où l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables intermittentes devront coexister efficacement. Résoudre les problèmes d'intermittence avec des batteries inépuisables s'apparente à tuer une mouche avec un canon. Il est

très peu probable qu'un système rationnel ayant accès à des technologies telles que Natrium choisisse une batterie comme solution si ce n'est pas absolument inévitable. La production d'hydrogène s'accompagnera incontestablement de la volonté de disposer de vastes capacités de stockage, à moins que l'hydrogène ne puisse être produit entièrement à la demande en un jour ou deux. La technologie transitoire du reformage du méthane à la vapeur sera clairement utile, mais un système d'énergie primaire qui soit contrôlable et prévisible par nature grâce à l'association de technologies telles que Natrium et d'énergies renouvelables pourrait bien s'avérer la solution la moins coûteuse. L'évolution du projet mené dans le Wyoming mérite toute notre attention, à la fois du fait de l'ingéniosité de la technologie déployée mais aussi de l'appui solide de Bill Gates et d'une équipe de professionnels triés sur le volet.

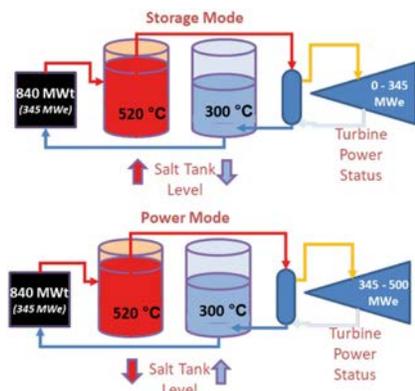
6.8. LE NUCLÉAIRE COMME DÉCARBONATEUR INDUSTRIEL

6.8.1. PRM et chaleur industrielle

Dans la course à la décarbonation industrielle, des entreprises privées polonaises commencent à montrer l'exemple. Trois milliardaires polonais travaillent ensemble à la construction de réacteurs nucléaires qui fourniront la chaleur et l'électricité nécessaires à leurs processus industriels. La société de Sebastian Kulczyk, Ciech, a signé une lettre d'intention avec la société de



Fig. 6.15 Plan du site d'une installation Natrium à tranche unique. Source : TerraPower.



- Store when renewables producing power (lower prices) and discharge when they are not (higher prices)
- Sodium is different from LWRs because the outlet temperatures are high enough to support storage
- Reactor output is steady ... minimize cycling of water
- Load following above and below 100% reactor power

Fig. 6.16 Schéma de l'adaptabilité de la puissance de sortie de Natrium. Le stockage permet de ne plus exploiter le nucléaire uniquement en charge de base, et donc d'employer davantage les énergies renouvelables. Source : TerraPower.

Michał Sołowow, Synthos. Récemment, Zygmunt Solorz-Żak s'est aussi associé à Sołowow. Ciech et Synthos collaborent pour mettre au point des petits et des microréacteurs modulaires. La coopération de Ciech, entreprise à forte intensité énergétique d'une grande importance pour l'économie polonaise, avec Synthos Green Energy pourrait à la fois accélérer la décarbonation de l'industrie nationale et renforcer sa position sur le marché mondial. Synthos est devenu un partenaire stratégique exclusif de GE Hitachi Nuclear Energy Americas pour le déploiement de la technologie des PRM sous la forme du réacteur BWRX-300. Il y en aura bien d'autres dans la pratique, et de nombreuses discussions sont en cours au moment de la rédaction de cet article.

6.8.2. Réacteurs modulaires avancés et utilisation hors réseau (extraction et autres activités industrielles dans des zones reculées)

Les meilleurs exemples en la matière viennent du Canada, où l'approvisionnement énergétique des zones reculées constitue un défi majeur. Dans de nombreux endroits du pays, l'électricité est produite par des groupes électrogènes diesel et, dans les pires cas, le diesel est acheminé par avion. Les gouvernements fédéral et provinciaux ont mené une action politique remarquable pour renforcer la confiance dans les perspectives nucléaires au Canada, tirant parti du laboratoire national de manière impressionnante et créative et associant Ontario Power Group, qui sélectionne actuellement un PRM parmi trois options : le BWRX-300 de GE, l'IMSR de Terrestrial et l'X-Energy.

Pour une utilisation hors réseau, cependant, les réacteurs tels que l'uBattery sont les plus adaptés, que ce soit pour les communautés ou pour les entreprises, y compris extractives. Le Gouvernement canadien a publié plusieurs documents de politique clairs sur lesquels il continue de s'appuyer. La feuille de route de 2018⁴⁰ de l'Association nucléaire canadienne est une référence indiscutable soutenue fermement par les pouvoirs publics. Suite à cela, le Gouvernement fédéral a lancé un plan d'action en décembre 2020⁴¹ et les efforts en ce sens se poursuivent.

6.8.3. Réacteurs modulaires avancés et décarbonation du transport maritime

Comme indiqué ailleurs (voir les sections 6.2 et 6.11), l'utilisation de l'ammoniac comme combustible marin suscite un certain intérêt. Toutefois, cela ferait naître le besoin d'infrastructures majeures dans tous les ports et on aurait affaire à une substance beaucoup plus sale et dangereuse que le combustible marin traditionnel. Un groupe d'experts du transport scandinaves a créé l'entreprise Core Power⁴², active à Londres et à Singapour, qui travaille actuellement à la conception de navires à propulsion nucléaire avec TerraPower et d'autres collaborateurs. Une des différences fondamentales entre les grands porte-conteneurs à propulsion classique et ceux qui fonctionnent à l'énergie nucléaire est que ces derniers ont une consommation de combustible relativement négligeable (en comparaison) et pourraient être chargés en combustible tous les 15 ou 20 ans. Il est également possible, compte tenu de la grande puissance des sources nucléaires, qu'ils soient capables de naviguer à plus de 30 nœuds. Si cela s'avère réalisable, cela transformerait le transport de marchandises en vrac : le commerce transpacifique serait très différent et beaucoup plus pratique et le canal de Suez serait moins nécessaire vu que, à une vitesse de 30 nœuds, il serait tout à fait possible de contourner l'Afrique australe dans un délai acceptable pour les clients.

C'est un des exemples de travaux intéressants qui progressent de manière largement inaperçue.

⁴⁰ <https://feuillederoutepm.ca>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁴¹ <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/sources-denergie-reseau-distribution/energie-nucleaire-uranium/plan-daction-canadien-pour-les-petits-reacteurs-modulaires/21185>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁴² <https://corepower.energy>, page consultée le 14 juillet 2021.

6.9. EFFACER NOS TRACES : UN NOUVEAU MODÈLE DE RÉACTEUR POUR BRÛLER NOS DÉCHETS

6.9.1. Cycle fermé du combustible

Dans l'esprit du public, la question des déchets a toujours été le talon d'Achille du secteur nucléaire. Les déchets sont presque toujours la première ou la deuxième question ou objection soulevée dans les débats publics sur le nucléaire. Un travail colossal a été accompli en matière de stockage définitif en formations géologiques profondes en Finlande (début de la construction d'Onkalo en mai 2021), aux États-Unis (Yucca Mountain et WIPP au Nouveau-Mexique) et au Royaume-Uni, où l'organisme de gestion des déchets radioactifs a repris les travaux menés par Nirex pendant plusieurs décennies. Au Royaume-Uni, plusieurs communautés sont en lice pour accueillir une installation de stockage définitif en formations géologiques profondes, et des discussions sont déjà en cours avec Allerdale et Copeland (deux communautés situées près de Sellafield). D'autres communautés pourraient se manifester en temps voulu.

Le sujet est tellement sensible que les principes énoncés dans le livre blanc britannique de 2008 s'appuient sur l'hypothèse d'un cycle du combustible à passage unique (c'est-à-dire sans retraitement) et sur la condition que, avant d'autoriser un projet de construction nucléaire, le Gouvernement soit certain que des mesures efficaces ont été ou seront prises pour gérer et éliminer les déchets produits.

Le stockage définitif en formations géologiques profondes n'est toutefois pas la seule option. La Chine et la Fédération de Russie continuent de s'intéresser au « cycle fermé du combustible ». Dans les réacteurs classiques, seule une petite partie de l'uranium (le ^{235}U) est consommée lors de la combustion ; la grande majorité (généralement 97 %) n'est pas brûlée. Cependant, en théorie, tout élément ayant un numéro atomique supérieur à 56 (le fer) peut être divisé en plusieurs parties par une réaction de fission pour libérer de l'énergie. De manière générale, plus le numéro atomique est élevé, plus la quantité d'énergie libérée lors de la fission d'un atome est importante. La physique derrière ce phénomène est expliquée dans de nombreux manuels, la notion fondamentale étant l'« énergie de liaison par nucléon » (voir la figure 6.17), c'est-à-dire la quantité d'énergie qui lie ensemble chaque proton et chaque neutron dans le noyau d'un atome.

En principe, avec la bonne technologie, tous les atomes d'uranium devraient pouvoir être divisés en plusieurs parties pour libérer de l'énergie. Les réacteurs nucléaires classiques sont conçus pour permettre une réaction de fission en chaîne à l'aide de neutrons lents ; la fonction du modérateur dans chaque réacteur est de ralentir les neutrons libérés par la réaction en chaîne afin, grosso modo, de leur donner plus de temps pour réagir avec un autre atome d'uranium dans le cœur

du réacteur. Ces neutrons lents sont souvent appelés « neutrons thermiques » car leur vitesse est à peu près la même que celle que l'on attendrait de molécules à des températures de fonctionnement normales, tandis que la vitesse initiale des neutrons émis par la réaction de fission est beaucoup plus proche de la vitesse de la lumière. On peut le voir dans les piscines d'entreposage, où le combustible utilisé brille d'une lumière bleu clair. C'est ce qu'on appelle le rayonnement de Tcherenkov : il se produit lorsque les particules bêta (électrons) passent de (presque) la vitesse de la lumière dans le combustible uranium à la vitesse (plus faible) de la lumière dans l'eau⁴³.

6.9.2. Réacteur à neutrons rapides

On peut concevoir un autre type de réacteur qui utiliserait les neutrons rapides directement, sans qu'il faille les ralentir. Ces réacteurs à neutrons rapides, comme on les appelle, existent depuis les premiers jours de l'énergie

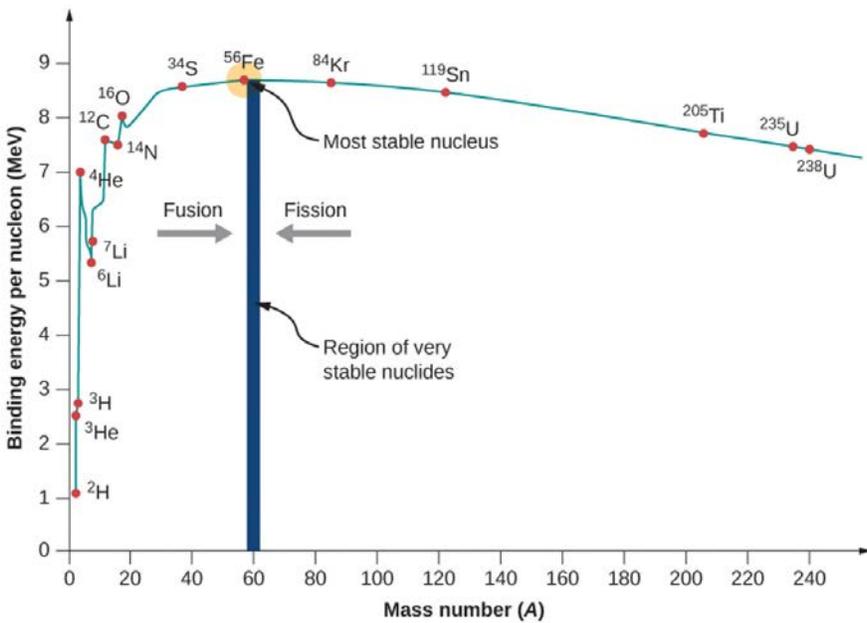


Fig. 6.17 Énergie de liaison par nucléon. Source : Ling et al. 2016.

⁴³ https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Cherenkov_Effect.htm, page consultée le 14 juillet 2021.

nucléaire – l’EBR-1 et son successeur l’EBR-2 ont été exploités pour la première fois en décembre 1951 et en juillet 1964, respectivement. Dans les réacteurs à neutrons rapides, pour le dire sommairement, les neutrons frappent les atomes d’uranium extrêmement fort, obligeant les neutrons à se séparer dans les cas où cela libère de l’énergie. Partant de là, si on utilisait le même combustible uranium pendant longtemps (on parle souvent de 60 ans comme durée nécessaire), il ne resterait à la fin que des éléments beaucoup plus petits (c’est-à-dire ayant un plus petit numéro atomique) et, encore une fois, les éléments radioactifs situés au milieu du tableau périodique ont des demi-vies beaucoup plus courtes que les éléments à numéro atomique élevé qui sont produits par la décroissance des atomes d’uranium dans les réacteurs à eau ordinaire et les autres réacteurs à neutrons thermiques.

D’où l’idée d’un cycle fermé du combustible⁴⁴. Il s’agirait de prendre des minerais d’uranium, de les enrichir (ou non), de les traiter dans une série de réacteurs – à neutrons lents et rapides – et d’entretenir la fission le plus longtemps possible. Les déchets produits, à période relativement courte, seraient entreposés aussi sûrement que possible pendant quelques centaines d’années, puis les déchets restants, qui auraient alors un niveau de radioactivité faible, seraient renvoyés dans les mines d’où l’uranium a été extrait. La Chine, la Fédération de Russie et l’Inde⁴⁵ se sont intéressées à ces processus, de même que la France et le Royaume-Uni. Dans les années 1970, le CEGB était convaincu qu’un cycle fermé du combustible pouvait bien fonctionner au Royaume-Uni compte tenu de l’expérience acquise en matière de retraitement (une étape nécessaire du recyclage du combustible) et des travaux sur les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium effectués à Dounreay, qui faisaient partie des premiers dans le domaine. Deux réacteurs de puissance à neutrons rapides ont été construits à Dounreay. Le premier, le Dounreay Fast Reactor (DFR), avait une puissance électrique de 15 MW. Mis en exploitation en 1960, il est devenu en 1962 le premier réacteur à neutrons rapides à alimenter un réseau national. Il a été arrêté en 1977. Le deuxième, le Prototype Fast Reactor (PFR), a été connecté au réseau en 1975. Il avait une puissance électrique de 250 MW. Il a été arrêté en 1994. Comme tant d’idées porteuses d’avenir du CEGB, une fois que le soutien public au développement des énergies futures est devenu démodé et entièrement dévolu aux « marchés », le Royaume-Uni a perdu son rôle moteur dans de nombreux aspects de la technologie nucléaire au profit d’autres pays.

⁴⁴ AIEA 2011.

⁴⁵ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Russia-proposes-new-closed-fuel-cycle>, page consultée le 14 juillet 2021.

Les travaux sur le cycle fermé du combustible se poursuivent dans un certain nombre de pays et le combustible nucléaire « usé » est souvent appelé dans le secteur du « combustible utilisé une fois ».

6.10. LE NUCLÉAIRE COMME ÉNERGIE PRIMAIRE À FAIBLE COÛT

6.10.1. L'impact majeur du coût du capital

L'énergie nucléaire a comme gros avantage le fait que les réacteurs construits au XXI^e siècle, souvent avec une durée de vie nominale de 60 ans, sont conçus de telle sorte que leur durée d'exploitation sera très probablement prolongée de 20, voire 40 ans. Si on ajoute un coût du capital faible et raisonnable, cela permet au nucléaire de concurrencer les énergies renouvelables, même sans prendre en compte les coûts systémiques de l'intermittence. On le voit clairement dans les prévisions actuelles du prix de l'électricité pour le projet Sizewell C établies par EDF Energy, qui sont présentées dans les travaux de David Newbery de l'Université de Cambridge⁴⁶ avec les coûts de l'énergie nucléaire plus largement (voir la figure 6.18, reproduite avec l'aimable autorisation de l'auteur). Newbery conclut que l'énergie nucléaire, dont les coûts ne devraient pas baisser au cours des 30 prochaines années, reste moins chère que les énergies renouvelables (en tenant compte des coûts de l'intermittence) pour toute une série de CMPC, si l'on se base sur les données du Conseil de l'industrie nucléaire britannique (2020b), et que même avec les prévisions de coûts de Sizewell C, elle reste moins chère si le CMPC est inférieur à 4 %. De nombreux professionnels du secteur, à l'heure où j'écris ces lignes, ne partagent probablement pas l'avis de Newbery concernant les coûts futurs de l'énergie nucléaire. Dans le rapport du Conseil de l'industrie nucléaire britannique (*Nuclear 2050*⁴⁷) en cours d'élaboration, le secteur affirme qu'il peut réduire et réduira les coûts de 30 % au minimum grâce aux enseignements qu'il tirera de la construction de prototypes et de modèles déjà construits. Ces enseignements ont déjà été mis à profit lors du déploiement des parcs solaire et éolien et, selon certaines sources, du parc de réacteurs nucléaires chinois.

À l'heure actuelle, on tient trop peu compte de l'impact du CMPC sur le prix de l'électricité produite à partir des différentes sources d'énergie primaire. Au Royaume-Uni, pour un projet de l'ordre du gigawatt, la sensibilité est d'environ 8 livres/MWh pour chaque variation de 1 milliard de livres du coût

⁴⁶ Newbery 2020.

⁴⁷ Le rapport est en cours d'élaboration au moment de la rédaction de cet article et sera disponible prochainement à l'adresse suivante : <https://www.niauk.org>.

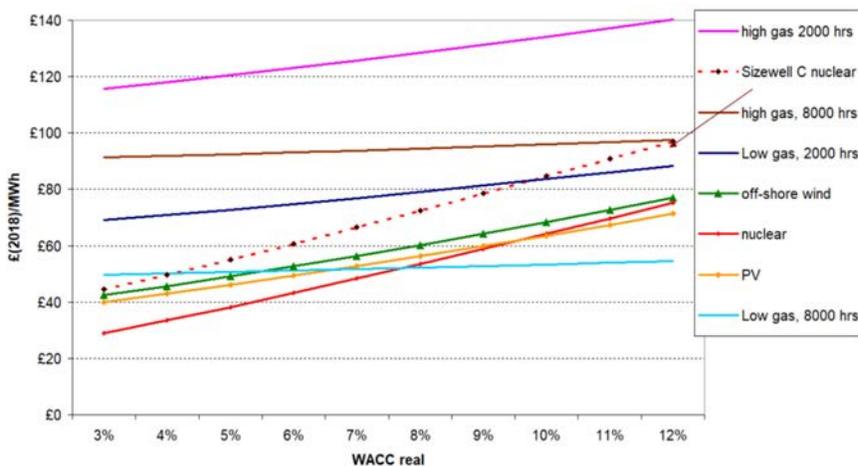


Fig. 6.18 Sensibilité du coût de l'électricité au CMPC. Coûts moyens par heure de fonctionnement en livres par MWh. Note : les coûts du gaz faibles et élevés tiennent compte des projections hautes et basses du prix du CO₂ figurant dans les scénarios de l'énergie future de 2020. Source : Newbery 2020.

d'investissement. Toutefois, elle est d'environ 13 livres/MWh pour chaque variation d'un *point* de pourcentage du coût du capital ; en réduisant de 9 à 8 % le CMPC pour un projet de centrale, on réduit le prix de l'électricité d'environ 13 livres pour chaque MWh produit. La sensibilité pour l'énergie éolienne, d'après Carbon Brief⁴⁸, est d'environ 2,50 livres/MWh pour chaque variation d'un point de pourcentage du CMPC. Il est important, quand on examine des modèles économiques, de bien comprendre les variations de la sensibilité au CMPC avant (comme le font de nombreux modèles) de faire des hypothèses standard sur le CMPC dans un modèle.

Les conséquences morales des variations du coût du capital méritent d'être prises en compte. Avant tout, le CMPC est simplement le coût de financement global d'un projet ou d'une entreprise, toutes sources de capitaux comprises, ajusté pour tenir compte des implications fiscales de chaque forme de financement – en particulier du fait que les intérêts de la dette sont déductibles fiscalement. Pour plus de détails, consultez les ressources du Corporate Finance Institute⁴⁹. Sous sa forme simple, la formule du CMPC est

⁴⁸ <https://www.carbonbrief.org/wind-and-solar-are-30-50-cheaper-than-thought-admits-uk-government>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁴⁹ Voir par exemple <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/what-is-wacc-formula>, page consultée le 14 juillet 2021.

$$WACC = \left(\frac{E}{V}\right)R_e + \left(\frac{D}{V}\right)R_d(1-T)$$

Où :

E = valeur marchande des capitaux propres de l'entreprise (valeur boursière)⁵⁰

D = valeur marchande de la dette de l'entreprise

V = valeur totale du capital (capitaux propres plus dettes)

E/V = pourcentage du capital sous forme de fonds propres

D/V = pourcentage du capital sous forme de dette

R_e = coût des capitaux propres (taux de rendement requis)⁵¹

R_d = coût de la dette (rendement à l'échéance de la dette existante)

T = taux d'imposition

6.10.2. Le financement ne devrait pas être plus compliqué que la science

Dans n'importe quel pays, le coût du capital le plus faible s'obtient simplement en empruntant au gouvernement. Cela s'explique en partie par le fait qu'il n'y a pas vraiment de notion de « capitaux propres » dans le financement public : si le budget d'un projet conventionnel public est largement dépassé, il n'y a pas de perte de capitaux propres, seule la dette publique semble souffrir. Dans la pratique, le projet n'est pas pénalisé et les pertes éventuelles sont compensées soit par des coupes dans d'autres dépenses publiques, soit par une augmentation du budget (hausse des impôts).

6.10.2.1. Financement de projets – Limitations

Les projets conventionnels sont financés par un mélange de capitaux propres et de dette. Le coût de cette dette et de ces capitaux propres dépend du risque perçu des projets, mais il est dans tous les cas nettement supérieur à celui des emprunts publics. Jusque dans les années 2020, il était normal de voir des projets financés avec un CMPC proche de 10 %, voire même à deux chiffres – il a été

⁵⁰ <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/what-is-market-capitalization>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁵¹ <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/trading-investing/required-rate-of-return>, page consultée le 14 juillet 2021.

dit en privé que certains des premiers projets d'énergie renouvelable avaient un rendement des capitaux propres supérieur à 30 % et un CMPC de près de 20 %⁵².

Dans les très nombreux projets PFI/PPP menés dans le monde, des capitaux privés ont été utilisés et, dans les bons arrangements, il y a eu un compromis entre l'utilisation de capitaux privés, plus coûteux, et de dette publique, moins chère. Ce compromis est évident lorsqu'on considère le coût du cycle de vie d'un projet. Pour certains types de projets (routes, hôpitaux, certains types de contrats de défense), il a été supposé que la tendance à l'optimisme et à la mauvaise gestion de projet dans le secteur public entraînerait un coût du cycle de vie plus élevé que nécessaire. Dans les arrangements PFI/PPP, un compromis a été trouvé entre un coût du capital plus élevé et la capacité du secteur privé de concevoir, de gérer et de mener à bien les projets de manière plus efficiente, réduisant le coût du cycle de vie. L'idée sous-jacente est que le propriétaire et exploitant privé assume une grande partie des risques du projet, qu'il gère ensuite plus efficacement que le secteur public ne le pourrait ou ne le voudrait ; la formule traditionnelle est que *les risques reviennent à la partie la mieux à même de les gérer et de les contrôler*. Cette approche a clairement bien fonctionné dans certains cas mais, en réalité, beaucoup dépend de la qualité des arrangements commerciaux et, comme toujours, de la sagesse de ceux qui concluent les accords et de ceux qui les mettent en œuvre.

Cependant, pour les grands projets nucléaires nécessitant un investissement de 13 à 20 milliards de livres, ce type de compromis est impossible, du moins pour les premiers éléments d'un parc. Avec de tels projets, les risques potentiels sont trop importants pour qu'une entreprise rationnelle accepte de les prendre. Cela s'est vu, tristement, avec le rachat du projet Horizon Nuclear Power, pour lequel Hitachi aurait payé près de 800 millions de livres aux groupes E.ON et RWE en 2012. En 2019, après s'être longtemps efforcée de réunir les fonds nécessaires au projet, en vain malgré la participation étroite des Gouvernements britannique et japonais, Hitachi a comptabilisé en pertes 2,75 milliards de dollars de capitaux propres. En temps normal, les membres de la direction et (souvent) du conseil d'administration d'une entreprise qui enregistre une telle perte sont honteusement licenciés. Toutefois, dès que la nouvelle a été annoncée dans la presse japonaise, le cours de l'action d'Hitachi a augmenté⁵³. On m'a suggéré en privé que le redressement du cours de l'action suite à l'annonce de l'arrêt des travaux par Hitachi avait en réalité fait prendre à l'entreprise plus de valeur que le

⁵² Information communiquée en privé à l'auteur par le directeur d'un investisseur majeur dans certains des premiers projets d'énergie renouvelable.

⁵³ <https://www.reuters.com/article/us-hitachi-nuclear/hitachi-shares-rise-after-report-it-is-considering-scraping-britain-nuclear-project-idUKKBN1O90KI>, page consultée le 14 juillet 2021.

montant qu'elle avait comptabilisé en pertes, tant l'avenir du projet préoccupait les investisseurs.

En réalité, pour les projets d'importance nationale tels que le train à grande vitesse, les grands tunnels souterrains et les grands projets énergétiques (qu'il s'agisse de la production d'énergie primaire ou de la rénovation majeure des réseaux de transport ou de distribution), l'échec est inévitablement la responsabilité des gouvernements. Les prototypes de centrale nucléaire de l'ordre du gigawatt (et peut-être même les projets de PRM) sont en définitive des risques souverains. Cela transparaît dans le fait qu'aucune entreprise privée n'acceptera plus de mener à bien un projet de prototype nucléaire au Royaume-Uni sur la base d'un financement traditionnel. Le « L » de SPRL contient une partie de l'explication : SPRL est le sigle de « société publique à responsabilité limitée » et les risques que la société peut assumer se limitent à ses capitaux propres.

Aussi, en l'absence d'une compensation pour les coûts du capital plus élevés avec un financement de projet traditionnel, et vu la grande sensibilité du prix de l'électricité au coût du capital (voir la figure 6.18), il est évident que les projets nucléaires, probablement quelle que soit leur taille, doivent être financés avec le coût du capital le plus faible possible. Le contraire revient simplement à créer une taxe artificielle sur le coût de l'énergie à l'échelle nationale, « taxe » dont les recettes – taux d'intérêt ou rendement des capitaux propres inutilement élevés – ne vont pas au trésor public mais à des investisseurs qui peuvent très bien ne pas être domiciliés dans le pays du projet.

6.10.2.2. Modèle de la base d'actifs réglementés

En 2021, l'attention du Royaume-Uni porte sur l'utilisation d'un modèle de base d'actifs réglementés pour financer les nouveaux projets nucléaires, voire également les autres projets énergétiques. À l'issue de consultations⁵⁴, il a été suggéré dans le livre blanc britannique sur l'énergie⁵⁵ publié en décembre 2020 que le mode de financement utilisé depuis les premières privatisations dans le pays pourrait s'appliquer aux grands projets énergétiques novateurs. Le document publié par le Réseau des régulateurs britanniques (UKRN) en septembre 2019⁵⁶ aide à voir la différence. On y voit l'évolution du CMPC dans les secteurs réglementés de l'énergie, des télécommunications et de l'eau. Après que des recours ont été introduits devant l'Autorité de la concurrence et des marchés en 2020, le CMPC pour les compagnies de distribution d'eau a finalement été fixé à environ 2,3 % en termes réels sur la base classique de l'indice des prix de détail

⁵⁴ Ministère des entreprises, de l'énergie et de la stratégie industrielle 2020a.

⁵⁵ Secrétaire d'État aux entreprises, à l'énergie et à la stratégie industrielle 2020.

⁵⁶ UKRN 2019.

ou à 3,3 % en termes réels sur la base de l'indice des prix à la consommation. Si le nucléaire obtenait un CMPC de l'ordre de 4 ou 4,5 %, cela aurait un impact considérable sur les prix de l'électricité d'origine nucléaire, comme l'a montré Newbery.

Étant donné qu'il faudra remplacer quasiment toute la production d'énergie primaire dans la plupart des pays pour atteindre le zéro net, le mode de financement des nouveaux projets énergétiques aura une incidence en définitive sur la compétitivité énergétique d'un pays et, partant, sur sa compétitivité économique. Les décisions prises au début du XXI^e siècle concernant les futurs systèmes énergétiques et leur financement détermineront la compétitivité économique des pays en 2050 et au-delà. Il y aura de grands gagnants et de grands perdants au niveau national et il semble, à l'heure où j'écris ces lignes, que peu de pays ont vraiment compris les répercussions à long terme de leurs politiques énergétiques, sans parler des contraintes d'ordre physique présentées à la section 6.11.6.

6.11. MARCHÉS ÉNERGÉTIQUES

6.11.1. Les marchés à l'ère du bas carbone

La logique et la structure des marchés de l'électricité dans le monde découlent en grande partie de l'époque de la privatisation de systèmes électriques, souvent tout entiers, et de la disparition des structures publiques monopolistiques qui les ont créés. Nous examinerons plus tard certains aspects physiques mais commençons par une réflexion de fond et réfléchissons à ceci : presque toutes les sources d'électricité bas carbone sur les marchés de l'électricité ont un coût marginal nul ou presque nul. Les énergies éolienne, solaire, nucléaire et hydroélectrique partagent toutes cette caractéristique. La situation pourrait changer si l'hydrogène servait un jour de combustible pour les turbines à gaz.

Cependant, un marché avec des coûts marginaux proches de zéro est clairement bizarre. Imaginez qu'il en soit ainsi pour n'importe quel autre marché actif dans le monde réel.

L'important pour le moment est de prendre du recul et de déterminer si certains des modèles et mécanismes de marché actuels – très sophistiqués – peuvent fonctionner dans un monde qui produit une électricité bas carbone et dont le système tout entier est en pleine transformation. Assurément, avec un marteau suffisamment gros, on doit pouvoir forcer les marchés existants à s'adapter.

Néanmoins, il est temps que les sages réfléchissent dès le début aux marchés de l'électricité dans un monde bas carbone. Compte tenu du rythme et de l'ampleur du changement et des contraintes physiques évidentes (voir la

section 6.11.6), une réflexion approfondie doit être engagée sur la raison d'être des marchés, ce que la société en attend et la meilleure manière d'obtenir les résultats voulus. Poursuivre avec les modèles de marché actuels que l'on tord et retord pour leur faire prendre des formes nouvelles et exotiques est une approche à laquelle correspond parfaitement l'expression « ce n'est pas parce qu'on peut le faire qu'on devrait le faire ».

6.11.2. Quand les marchés fonctionnent-ils ?

Il y a deux contextes dans lesquels examiner si les marchés peuvent être utilisés ou non. Le premier est la construction d'infrastructures d'importance nationale ou de systèmes d'infrastructure à grande échelle. Cette question a été bien prise en compte dans le cadre des PFI et des PPP. Le tableau 6.5 présente les caractéristiques d'un marché efficace et indique si elles s'appliquent à la construction d'infrastructures d'importance nationale ou de systèmes d'infrastructure à grande échelle. Cette analyse montre clairement que les marchés simples ne fonctionnent pas et ne peuvent pas fonctionner pour ce type de projet et initiative.

L'autre contexte dans lequel les marchés sont généralement utilisés est la tarification de l'énergie, et là les choses sont plus nuancées. La créativité autour des marchés de l'énergie est apparue principalement après la privatisation au Royaume-Uni, lorsque la théorie économique est passée au service de politiques rigoureuses d'efficacité. Une ressource précieuse pour mieux comprendre les marchés de l'électricité dans leur ensemble est le livre de Harris intitulé « Electricity Markets: Pricing, Structures and Economics⁵⁷ », qui retrace au chapitre 4 l'histoire de la libéralisation des marchés de l'électricité. Je ne m'y attarderai pas ici ; disons simplement que l'histoire est longue, complexe et pratiquement en filigrane. L'adoption d'un système de marché de l'énergie au Royaume-Uni est largement attribuable à l'ancien Ministre de l'énergie, Nigel Lawson, qui a déclaré en 1982 lors d'une conférence du BIEE : « Je ne pense pas que la tâche du gouvernement soit d'essayer de planifier la production et la consommation énergétiques futures. Il ne s'agit même pas, en premier lieu, d'essayer d'équilibrer l'offre et la demande énergétiques au Royaume-Uni. Notre tâche consiste plutôt à définir un cadre pour garantir que le marché fonctionne dans le secteur de l'énergie avec un minimum de distorsion et que l'énergie est produite et consommée efficacement⁵⁸ ».

⁵⁷ Harris 2006.

⁵⁸ Cette citation a été reprise dans sa version originale, en anglais, dans le rapport du Parlement britannique intitulé « The Price of Power: Reforming the Electricity Market », <https://publications.parliament.uk/pa/ld201617/ldselect/ldconaf/113/11305.htm>, page consultée le 14 juillet 2021.

TABLEAU 6.5 CARACTÉRISTIQUES DES MARCHÉS – S’APPLIQUENT-ELLES À LA CONSTRUCTION D’INFRASTRUCTURES ?

| Caractéristique | Infra ? |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Nombreux acheteurs et vendeurs → Nombreux consommateurs ayant la volonté et la capacité d’acheter le produit à un prix donné et nombreux producteurs ayant la volonté et la capacité de fournir le produit à un prix donné | × |
| Parfaite information → Tous les consommateurs et tous les producteurs connaissent tous les prix des produits et des services que chaque personne obtiendrait en possédant chaque produit | × |
| Produit homogène → Les produits se substituent parfaitement les uns aux autres (les qualités et caractéristiques d’un bien ou d’un service ne varient pas d’un fournisseur à l’autre) | × |
| Droits de propriété bien définis → Ils déterminent ce qui peut être vendu et définissent les droits conférés à l’acheteur | ✓ |
| Aucune barrière à l’entrée ou à la sortie | × |
| Chaque participant est un preneur de prix → Aucun participant ne dispose du pouvoir de marché de fixer les prix | × |
| Parfaite mobilité des facteurs → À long terme, les facteurs de production sont parfaitement mobiles, ce qui permet de procéder librement à des ajustements à long terme en fonction de l’évolution des conditions du marché | ?? |
| Maximisation du profit des vendeurs → Les entreprises vendent là où elles font le plus de profit, là où les coûts marginaux correspondent au produit marginal | ✓?? |
| Acheteurs rationnels → Les acheteurs font toutes les transactions qui augmentent leur utilité économique et ne font aucune transaction qui n’augmente pas leur utilité | × |
| Pas d’externalités → Les coûts ou les bénéfices d’une activité n’affectent pas de tiers (exclut également toute intervention des pouvoirs publics) | × |
| Coûts de transaction nuls → Les acheteurs et les vendeurs n’encourent pas de frais pour échanger des biens sur un marché parfaitement concurrentiel | × |
| Rendements d’échelle non croissants et pas d’effet de réseau → L’absence d’économies d’échelle ou d’effet de réseau garantit qu’il y aura toujours suffisamment d’entreprises dans le secteur | × |

Il y a clairement eu des problèmes majeurs dans la mise en œuvre presque expérimentale de la libéralisation, ce qui a des répercussions durables au XXI^e siècle sur le système énergétique en place dans différentes parties du monde. On peut citer notamment :

- Au Royaume-Uni, un système de réglementation axé sur la réduction des coûts pour les consommateurs sur une période de cinq ans, alors que le système entier a, de par sa conception, des conséquences sur plusieurs générations.
- Le fait que ce système de réglementation pénalise la résilience et réduit les marges de capacité à un point tel que l'équilibrage du système est devenu une occasion commerciale majeure.
- Des fluctuations majeures des prix du marché sur le réseau indépendant⁵⁹ du Texas en février 2021 suite à des conditions météorologiques extrêmes. Les prix du marché de gros en temps réel sur le réseau électrique exploité par l'Electric Reliability Council of Texas (ERCOT) dépassaient 9 000 dollars/MWh lundi en fin de matinée, alors qu'ils étaient inférieurs à 50 dollars/MWh avant la tempête, selon les données d'ERCOT⁶⁰.
- Le marché de l'électricité en Australie. Les problèmes à ce sujet ont été aggravés par toute une série de difficultés, mais on peut donner comme exemple de défaut de conception du système l'introduction de grandes quantités d'énergie solaire de toiture dans le système, alors que les frais de distribution sont simplement basés sur la consommation de kWh et non sur l'achat de la capacité totale requise par un utilisateur. À mesure que la consommation diminue, et en l'absence d'une modification majeure du système de tarification, les très longs fils électriques en Australie deviennent non rentables. Selon Simshauser⁶¹, l'absence de directives sur le changement climatique, le gaz naturel et la sortie des centrales a récemment eu des effets qui ont mis à l'épreuve les tolérances politiques.
- La tarification négative sur les marchés britannique et australien sont de plus en plus souvent la conséquence de l'augmentation de la production intermittente (voir les exemples à la figure 6.19). Début décembre 2019, lorsque la tempête Atiyah a frappé le Royaume-Uni avec des vents de quelque 110 km/h au niveau des terres, les prix de l'électricité ont chuté à 88 livres/MWh, ce qu'un commentateur partisan des énergies renouvelables a qualifié de « super cadeau de Noël à l'avance » (voir la figure 6.20).

⁵⁹ Le Texas, Hawaii et l'Alaska ont des réseaux indépendants.

⁶⁰ <https://www.reuters.com/article/us-electricity-texas-prices-idUSKBN2AF19A>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁶¹ Simshauser 2019.

Ces exemples d'éléments de distorsion de ce qui ressemble de plus en plus à des systèmes énergétiques intrinsèquement instables découlent des réformes de l'électricité mises en œuvre au Royaume-Uni au début des années 2020. Ces réformes ont introduit le mécanisme des contrats d'écart compensatoire, qui vise à protéger les producteurs d'énergie renouvelable de la volatilité des prix du marché de gros en fournissant un prix garanti par rapport au prix du marché à un jour. C'est une des mesures prises pour encourager le développement rapide des énergies renouvelables et socialiser les coûts inhérents et inévitablement croissants de l'intermittence de façon que le marché au sens large paie pour ces coûts. Des paiements au titre du mécanisme ne sont effectués que si le producteur a vendu sa production sur le marché à un jour, ce qui devient naturellement un comportement normal et rationnel. Si le jour même le producteur produit plus que ce qui est prévu dans son contrat (un parc éolien peut produire plus que prévu si le temps est plus venteux), il est alors soumis à des frais de déséquilibre. En ce qui concerne le coût d'équilibrage, rien ne dissuade la surproduction vu que si le gestionnaire du réseau demande à un producteur de diminuer sa production, ce dernier recevra une compensation – le producteur est en fait récompensé pour avoir créé des problèmes inattendus sur le marché de l'électricité. Cela crée une distorsion importante du marché, et l'augmentation des sources de production à coût marginal nul entraînera une baisse des prix de gros de l'électricité, ce qui entraînera à son tour une diminution des revenus des producteurs d'énergie non renouvelable et des producteurs d'électricité à coût marginal nul qui ne sont pas subventionnés ou qui sont subventionnés par d'autres programmes.

Alors que les problèmes et les possibilités liés à l'équilibrage du système continuent de croître inexorablement, un groupe d'ingénieurs ayant une vision globale du problème a indiqué qu'une intervention du côté de la demande était le pendant d'un échec du côté de l'offre⁶².

6.11.3. Quel est l'objet d'un marché ?

À l'origine, les marchés ont été des mécanismes puissants à l'appui d'une approche darwinienne de l'évolution de la production d'énergie. Ils ont été utiles pour indiquer aux investisseurs potentiels quelles technologies étaient les plus efficaces (autrement dit, quelles technologies offraient des revenus plus élevés ou plus stables). Cela a permis de faire progresser la production de turbines à gaz, par exemple, le coût d'une unité de production et la prévisibilité relative des

⁶² Communication privée motivée par des articles prédisant que l'innovation en matière de l'internet des objets « derrière le compteur » pourrait permettre de résoudre bon nombre des problèmes d'intermittence dans un réseau électrique à forte composante d'énergies renouvelables.

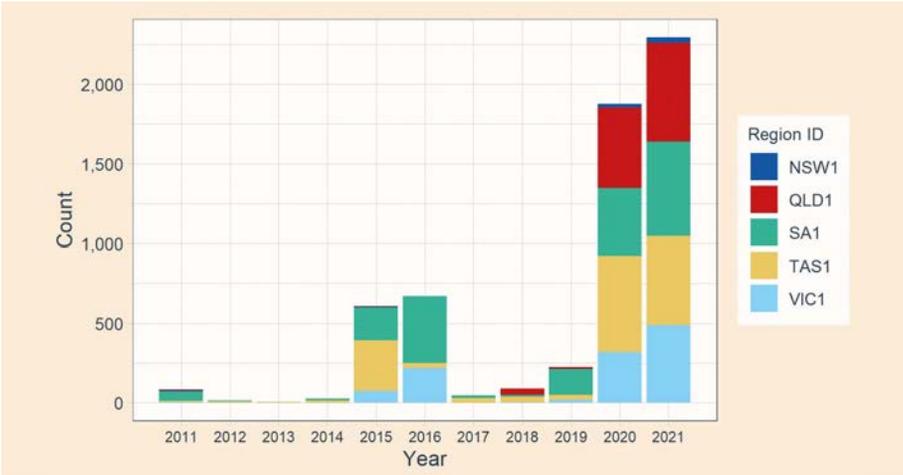


Fig. 6.19 Prix de distribution nuls ou négatifs pendant cinq minutes en mai, marché national de l'électricité australien 2011-2021. Source : @GrantChalmers.

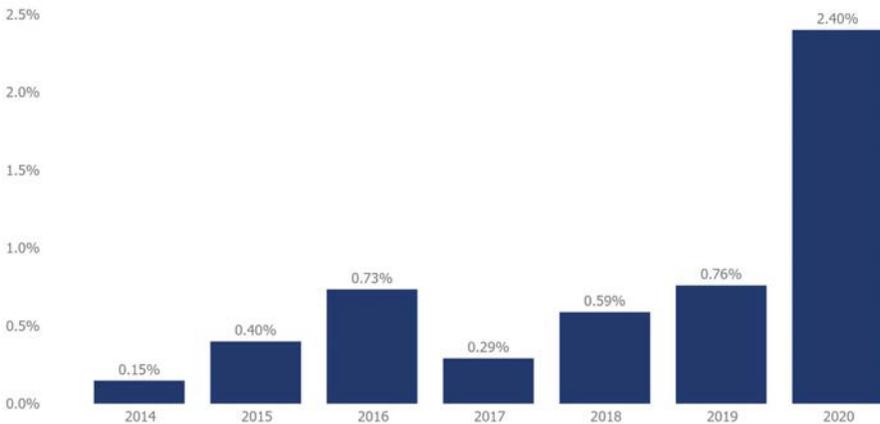


Fig. 6.20 Pourcentage de périodes de règlement avec un prix négatif au Royaume-Uni depuis 2014. Note : les coûts du gaz faibles et élevés tiennent compte des projections hautes et basses du prix du CO₂ figurant dans les scénarios de l'énergie future de 2020. Les chiffres pour 2020 ne représentent pas une année complète (1^{er} janvier - 31 mai 2020). Source : Elexon, voir <https://www.elexon.co.uk/article/elexon-insight-negative-system-prices-during-covid-19> (page consultée le 14 juillet 2021). Elexon est considéré comme la source de ces informations.

prix de l'énergie se situant dans la fourchette de risque des entités commerciales traditionnelles.

Fondamentalement, les mécanismes de marché se sont toujours bien adaptés aux changements relativement lents et minimes d'un point de vue technologique. Cependant, les perturbations des systèmes de réglementation tels que l'introduction des nouveaux régimes d'échanges d'électricité (NETA) au Royaume-Uni ont provoqué des échecs monumentaux sur le plan financier, notamment :

- la faillite de British Energy ;
- l'élimination de la capacité « excédentaire » au point de nuire gravement à la résilience ;
- l'annonce en octobre 2002 de la fermeture d'un quart de la capacité de production de PowerGen, le groupe allemand autrefois considéré comme un modèle, qui a déclaré sans détours aux ministres que le secteur tout entier était « en faillite » ;
- l'insolvabilité de TXU Europe, qui comptait plus de 5 millions de clients au Royaume-Uni, abandonnée par la société mère américaine en difficulté. Cette dernière a refusé d'investir 450 millions de livres pour aider sa filiale à honorer ses contrats à long terme avec d'autres producteurs et l'a mise en vente. TXU a déclaré qu'elle avait décidé de prendre des « mesures radicales » pour protéger sa position financière et sa cote de crédit aux États-Unis. Ses actions s'étaient effondrées à Wall Street au début du mois d'octobre 2002 et avaient encore chuté de 39 % en début de séance pour s'établir à 11,50 dollars. « Il n'y avait que deux options : protéger TXU Europe ou protéger TXU Corporation », a déclaré un porte-parole. « Ce n'est pas un choix difficile ». La réaction inévitable du marché – la question de savoir si c'était la bonne décision pour les citoyens britanniques à long terme – est une autre affaire.

La présente section (6.11) montre clairement à quel point la transformation des marchés de l'énergie dans leur ensemble est un défi colossal, compte tenu du rythme et de l'ampleur du changement nécessaire pour remplacer pratiquement toutes les sources d'énergie primaire dans la plupart des pays en seulement 30 ans. Les complexités du marché de l'électricité britannique post-privatisation ne peuvent être reproduites car les solutions de marché ne permettront pas d'assurer la production d'énergie primaire nécessaire à temps. La confiance est trop faible, à l'heure où j'écris ces lignes, pour que cela ne soit ne fût-ce qu'une chimère.

6.11.4. Les marchés comme évolution darwinienne

Avant de conclure cette section, il convient d'examiner les marchés en tant que processus darwinien⁶³. Pour que les marchés soient efficaces, le processus doit suivre essentiellement une logique de production et de test pour trouver des solutions progressivement meilleures à un problème. En biologie, cela se produit naturellement sous la forme des mutations génétiques qui peuvent survenir à chaque division cellulaire et à chaque cycle de reproduction. Dans l'industrie aussi, des petits ajustements des produits peuvent survenir le long de la chaîne de production.

L'évolution peut aussi être considérée comme la recherche d'un minimum dans une surface multidimensionnelle comme celle, relativement simple, représentée à la figure 6.21.

La surface multidimensionnelle à explorer pour concevoir un système dans le monde réel sera beaucoup plus complexe, avec de nombreux minima locaux, et même s'il existe un minimum global, il faudra de nombreuses itérations avant de trouver le minimum véritablement optimal.

Le processus doit créer des exemples à tester et un système de test permettant d'éliminer rapidement les échecs. En biologie, encore une fois, cela permet à des virus comme ceux de la grippe et du rhume d'évoluer continuellement, et

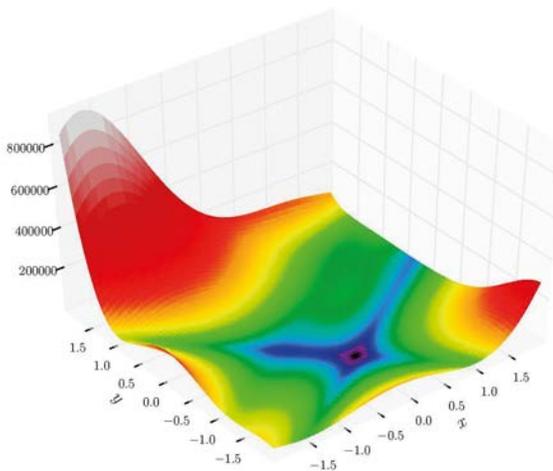


Fig. 6.21 Surface d'optimisation simple. Source : Gaortizg 2012.

⁶³ Voir à titre d'exemple Rajagopal 2015.

il faut donc adapter rapidement les traitements potentiels. Pour quelque chose d'aussi vaste que le système énergétique, où chaque élément (par exemple le réseau de transport ou de distribution) prend de nombreuses années à construire, l'évolution guidée par le marché ne peut pas fonctionner. Dans une faible mesure, le fonctionnement du système peut être ajusté dans les limites du minimum local où il se trouve forcément. Néanmoins, toute approche évolutive d'un bon système énergétique (sans parler d'un système parfait !) échouera si elle n'est pas guidée de manière extrêmement précise par un modèle capable de pointer du doigt les modifications subtiles à apporter à un plan bien réfléchi.

6.11.5. Exemple d'approche des systèmes

On trouve une des premières tentatives de modélisation des systèmes dans le calculateur initial DECC2050⁶⁴ conçu par feu Sir David MacKay, alors conseiller scientifique principal du Département de l'énergie et du changement climatique et auteur de « L'énergie durable : Pas que du vent ! ⁶⁵ », sans doute le meilleur livre jamais écrit sur l'énergie bas carbone. Ce calculateur est le premier outil qui a permis aux décideurs d'examiner de manière globale les effets potentiels de politiques éventuelles, et il a donné des résultats très surprenants. Les exemples qui y figurent mettent en évidence la complexité des interactions entre les différentes trajectoires de réduction des émissions de carbone. Il est particulièrement intéressant, et cela a été un exemple très malvenu à l'époque, de voir exactement ce que supposait la trajectoire « Low Cost » (à moindre coût). Le lecteur est invité à tester le calculateur pour voir à quel point la réduction des émissions de carbone peut être complexe et peu intuitive. Le calculateur lui-même a été rapidement copié (le code a été mis en libre accès) et plus de 25 modèles similaires ont été mis au point dans d'autres pays⁶⁶.

Plus récemment, le Laboratoire nucléaire national du Royaume-Uni et le centre technologiquement neutre Energy Systems Catapult ont également entrepris de modéliser les sources d'énergie primaire à l'échelle du système à l'horizon 2050⁶⁷. Leurs travaux, publiés en juin 2021⁶⁸, reposent sur un modèle de systèmes appelé « ESME », mis au point par Energy Systems Catapult⁶⁹.

⁶⁴ <http://classic.2050.org.uk>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁶⁵ MacKay 2012. L'auteur estime qu'il s'agit d'une lecture incontournable pour quiconque s'intéresse à la neutralité carbone.

⁶⁶ <https://www.gov.uk/guidance/international-outreach-work-of-the-2050-calculator>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁶⁷ <https://es.catapult.org.uk>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁶⁸ Laboratoire nucléaire national du Royaume-Uni 2021.

⁶⁹ <https://es.catapult.org.uk/capabilities/modelling/national-energy-system-modelling>, page consultée le 14 juillet 2021.

À l’opposé, les travaux présentés par le Ministère britannique des entreprises, de l’énergie et de la stratégie industrielle dans le livre blanc sur l’énergie de 2020⁷⁰ se basent sur un modèle de distribution dynamique créé à l’origine pour le ministère par Lane, Clark et Peacock, en 2012⁷¹. Néanmoins, s’il est vrai qu’une approche globale est la seule manière rationnelle d’aborder la transformation intégrale du système énergétique d’un pays, trop peu de travaux de ce type ont été réalisés à ce jour et les résultats ne sont pas encore largement utilisés dans l’élaboration des politiques. Il existe bien sûr d’autres modèles – l’University College London en utilise un large éventail⁷² – mais il n’y a pas encore d’approche uniforme de la modélisation des systèmes au niveau national, surtout avec des hypothèses valables actuellement. Par exemple, au moment de la rédaction de cet article, il n’existe aucun modèle tenant compte des répercussions potentielles d’une baisse des coûts du capital avec un régime de base d’actifs réglementés, ce qui modifierait pourtant radicalement toutes les analyses économiques.

6.11.6. Contraintes physiques liées à la conception des systèmes

Une des principales difficultés pour la conception des systèmes futurs, en plus d’évaluer raisonnablement les aspects économiques de l’ensemble du système, est de tenir compte des contraintes physiques et des modalités pratiques liées au remplacement de plusieurs GW/an de production d’énergie primaire d’ici à 2050. Il y a deux types de contraintes particulièrement importantes : les contraintes liées à la construction proprement dite et les mécanismes permettant d’acheminer l’énergie jusqu’aux utilisateurs finaux (ménages ou entités commerciales et industrielles).

6.11.6.1. Création d’énergie primaire : construction

Les scénarios utilisés dans le livre blanc britannique sur l’énergie de 2020 (voir référence à la section 6.11.5) donnent un exemple des contraintes physiques liées au choix des modes de production d’énergie primaire. À la figure 6.22 ci-après, les scénarios envisagent une production de 5 à 40 GW d’énergie nucléaire, de 65 à 180 GW d’énergie éolienne et de 15 à 120 GW d’énergie solaire.

Regardons d’abord les chiffres relatifs à l’énergie éolienne. En 2021, la capacité éolienne installée, sur terre et en mer, est d’environ 24,5 GW. Compte tenu de la politique du Royaume-Uni et de l’emplacement des grandes ressources éoliennes, les ajouts de capacité se feront probablement majoritairement en mer.

⁷⁰ Ministère des entreprises, de l’énergie et de la stratégie industrielle 2020b.

⁷¹ Département de l’énergie et du changement climatique 2011.

⁷² <https://www.ucl.ac.uk/energy-models/models>, page consultée le 14 juillet 2021.

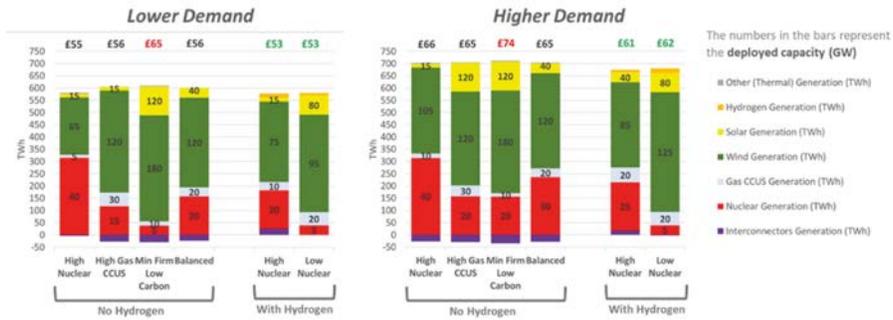


Fig. 6.22 Scénarios énergétiques à faible coût. Source : Ministère des entreprises, de l'énergie et de la stratégie industrielle 2020b.

À l'heure où j'écris ces lignes, la plus grande éolienne disponible est l'Haliade-X de GE, une petite merveille d'ingénierie d'une puissance de 14 MW dont la taille en exploitation égale celle de la tour Eiffel. D'après les modèles, le Royaume-Uni devrait déployer entre 40 et 155 GW de nouvelle capacité éolienne d'ici à 2050. En supposant le déploiement de turbines de 20 MW chacune, histoire de tenir compte des progrès technologiques, cela veut dire qu'il faudrait construire quelque 2 000 à 7 500 plateformes flottantes, dans des eaux plus profondes, pour y installer ces turbines. Cela revient à construire entre 80 et 300 plateformes flottantes par an, chaque année, entre 2025 et 2050. Même en construire 80 par an sera très difficile. Par ailleurs, il pourrait aussi y avoir un problème de place. À l'heure actuelle, il est prévu que le parc éolien de Dogger Bank comprenne 190 turbines de 13 MW chacune, réparties sur deux sites d'environ 515 et 598 km², respectivement. Si l'on se base sur ces chiffres, il faudrait environ 11 655 km² pour 2 000 turbines et près de 44 030 km² pour 7 500 turbines.

On rencontre le même problème avec l'énergie solaire. On ne connaît pas exactement la surface nécessaire pour la production d'énergie solaire, mais le projet britannique le plus dense – le parc de Cleve Hill – devrait avoir une capacité de 350 MW⁷³ au maximum pour une superficie de 4,89 km² environ⁷⁴. Sur cette base, il faudrait quelque 1 680 km² pour 120 GW d'énergie solaire.

Ces aspects pratiques – le rythme de construction des plateformes, la surface nécessaire sur terre et en mer et l'effort politique requis pour persuader les citoyens d'un pays de la faisabilité de tels projets – constituent des difficultés majeures que la plupart des modèles, au mieux, feignent d'ignorer.

⁷³ <https://www.clevehillsolar.com>, page consultée le 14 juillet 2021.

⁷⁴ <https://www.kentwildlifetrust.org.uk/campaigns/planning-and-development/cleve-hill-solar-park>, page consultée le 14 juillet 2021.

6.11.6.2. Livraison d'énergie aux utilisateurs finaux

Le deuxième aspect pratique à prendre en considération lors de la transformation d'un système énergétique est le mode de livraison de l'énergie aux utilisateurs finaux, qu'il s'agisse d'énergie primaire ou d'un vecteur dérivé tel que l'hydrogène. Au Royaume-Uni, par exemple, environ 17 % de l'énergie finale est livrée aux utilisateurs sous forme d'électricité, via le réseau de transport et de distribution. Les quelque 80 % restants sont livrés sous forme de gaz ou de liquide, comme le montre la figure 6.23.

Remplacer les 76 % d'énergie livrés sous forme de produits pétroliers ou de gaz par un autre canal de *distribution* représente un défi colossal. Tous les plans actuels de décarbonation des systèmes énergétiques, quasiment partout dans le monde, supposent une augmentation majeure de la production d'électricité. Au Royaume-Uni, on a évoqué jusqu'à un quadruplement de la production actuelle. Quelle que soit l'ampleur de l'augmentation requise, la reconstruction globale des réseaux de transport et de distribution semble inévitable. Elle est certainement justifiée, vu la base historique sur laquelle les réseaux ont été conçus (voir la section 6.2), mais elle devra être abordée en ayant à l'esprit un modèle de réseau final considéré traité comme un programme composé de plusieurs projets. Compte tenu des aspects pratiques sensibles de la reconstruction des réseaux de distribution, au moins du renforcement du dernier kilomètre (sans parler de la mise à niveau des raccordements des particuliers, avec le remplacement potentiel du câblage principal dans les habitations), l'adhésion des citoyens sera

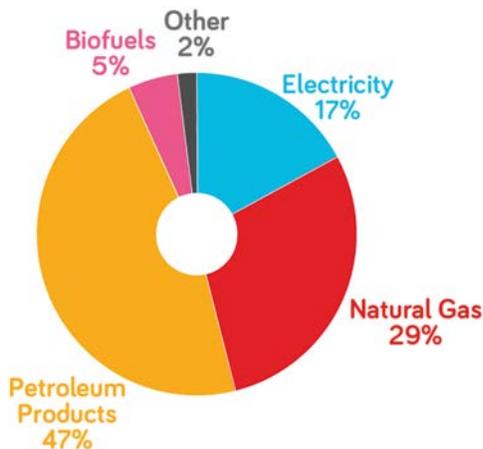


Fig. 6.23 Canaux de distribution de l'énergie au Royaume-Uni. Source : Association de l'industrie nucléaire.

nécessaire, ce qui demandera un leadership fort de la part de la classe politique. Par conséquent, il serait utile que les 29 % d'énergie actuellement livrés sous forme de gaz naturel puissent être remplacés par la même quantité livrée avec un vecteur différent. L'hydrogène est actuellement l'option privilégiée dans de nombreux pays. Le phénomène de la fragilisation de l'acier des canalisations, la grande capacité de fuite de l'hydrogène et sa faible densité énergétique constituent des défis que l'on pense aujourd'hui pouvoir relever. L'hydrogène contient environ trois fois moins d'énergie par unité de volume que le gaz naturel, bien qu'on estime que sa plus grande compressibilité devrait permettre le transport d'environ trois fois les volumes actuels de gaz naturel.

Le remplacement de l'énergie livrée sous forme liquide – non seulement l'essence mais aussi l'Avgas et tous les autres combustibles pétroliers liquides – soulève également des questions d'ordre pratique. Tandis que l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur énergétique alternatif bénéficie de l'appui enthousiaste d'un grand nombre, on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation potentielle de l'ammoniac comme combustible marin. La vitesse de flamme de l'ammoniac est trop faible pour qu'il puisse être utilisé seul dans les gros moteurs, mais l'ajout d'une petite quantité de méthane, d'hydrogène ou de diesel pourrait résoudre ce problème. MAN (Allemagne) et Samsung (République de Corée) travaillent tous les deux sur de tels moteurs et prévoient la mise en service d'un pétrolier alimenté à l'ammoniac vers 2024.

6.12. NOS OPTIONS ET NOTRE APPROCHE

6.12.1. Comment aborder une solution ?

6.12.1.1. *Courage, leadership et décisions*

Premièrement, vu qu'il ne reste que peu de temps avant 2050, il faudra des décisions et un leadership politiques forts et ambitieux pour produire les changements nécessaires au rythme nécessaire. Il faudra s'employer avant tout à maximiser le nombre de GW/an de nouvelle énergie primaire bas carbone, en maintenant un plafond de prix, au lieu de chercher à réduire au minimum le prix par MWh. Il faudra aussi que le prix soit mesuré en termes de coût pour l'économie nationale, et non calculé au point de connexion à la source, et qu'il soit mis fin aux pratiques trompeuses de « socialisation » des externalités telles que le coût de l'intermittence.

Deuxièmement, ce leadership laissera des traces. Naturellement, les solutions varieront selon les pays, et ce sont les livres d'histoire qui jugeront de l'efficacité de nos dirigeants. Qu'on le veuille ou non, les décisions prises entre

2020 et 2025 définiront les coûts de l'énergie pour les générations à venir et, partant, la compétitivité économique des pays. Elles auront un effet d'une ampleur comparable, sinon supérieure, à celui de la création de l'État-providence au Royaume-Uni à la fin des années 1940. Le paysage concurrentiel mondial risque d'être considérablement modifié par les politiques énergétiques des pays au fur et à mesure qu'ils s'adaptent à la neutralité carbone. C'est une épreuve de courage que doivent réussir aujourd'hui les femmes et les hommes politiques. Ils doivent renoncer à la tentation de rechercher la perfection et de réduire les coûts avec une précision feinte. Un système à coût faible/minimal pour l'économie nationale sera forcément imparfait, et le reconnaître en prenant de grandes décisions s'avèrera rapidement et inévitablement la voie la moins risquée. L'évolution technologique se poursuivra sans aucun doute, mais il est très peu probable qu'une technologie atteigne un niveau de maturité technologique suffisant pour être déployée à grande échelle à temps pour changer la donne en 2050.

Toutes les technologies qui fonctionnent bien aujourd'hui ou qui ont atteint un bon niveau de maturité technologique doivent être déployées aussi vite que possible dans des combinaisons permettant d'obtenir des résultats rapidement avec un coût du système faible. Toute planification doit clairement tenir compte des possibles déviations en cas de grande nouveauté technologique, mais parier sur l'apparition d'une solution miracle serait au mieux une perte de temps, au pire une atteinte aux perspectives d'un pays.

6.12.2. Mesure à faibles regrets – utiliser la technologie déployable maintenant et y concentrer l'investissement

Donc, qu'est-ce qui est déployable maintenant à l'échelle requise ? L'énergie éolienne en mer s'est clairement bien développée et, avec les turbines géantes de 14 MW de GE (Haliade-X), des parcs de l'ordre du gigawatt peuvent être établis au Royaume-Uni. L'énergie solaire ne peut pas être déployée à la même échelle dans des pays comme le Royaume-Uni. Le reformage du méthane à la vapeur avec capture, stockage et utilisation du carbone pourrait bien être utilisé à une échelle raisonnable, mais seulement après qu'une technologie éprouvée de capture et de stockage du carbone aura été mise au point. Cela permettrait la production d'hydrogène à grande échelle. Reste à savoir si cette technologie sera moins chère que l'électrolyse à haute température ou que la production d'hydrogène à partir de la chaleur à haute température générée par des réacteurs avancés. Des réacteurs nucléaires de l'ordre du gigawatt peuvent être livrés rapidement si le projet est bien géré et qu'il y a une chaîne d'approvisionnement bien développée et des contractants expérimentés, avec un financement et une gouvernance appropriés. La figure 6.24 montre clairement la vitesse de déploiement des réacteurs nucléaires.

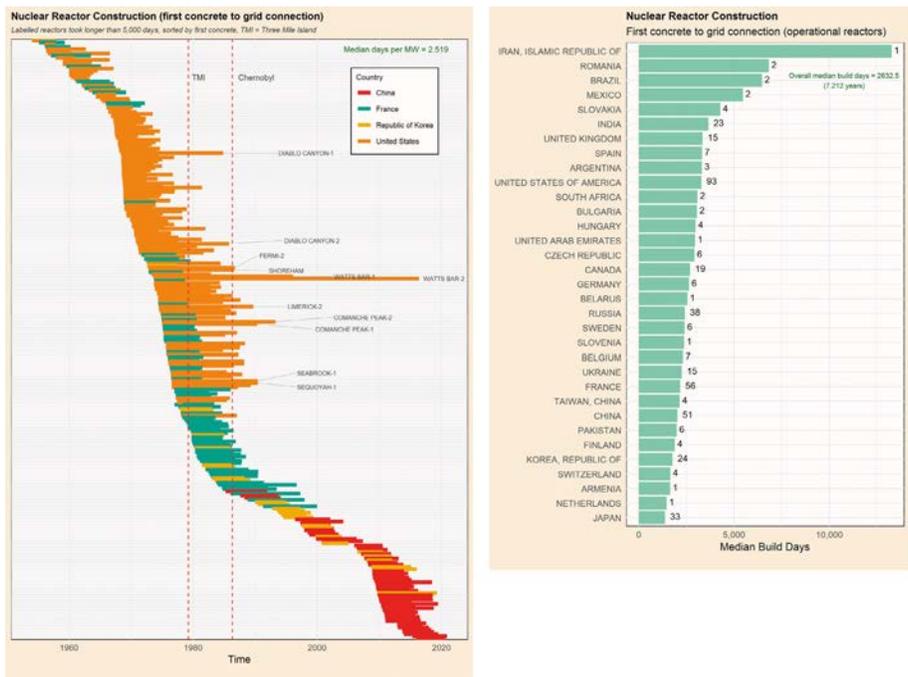


Fig. 6.24 Délais de construction d'un réacteur. Source : @GrantChalmers.

La réponse à la question « quelles sont les options à faibles regrets ? » dépend entièrement du pays. Outre l'ampleur de la ressource renouvelable, la capacité de construire le nouveau système à temps est probablement le facteur le plus déterminant. Dans le secteur nucléaire, il est important d'examiner pourquoi le délai de construction d'un réacteur varie autant entre le Japon et la République de Corée d'une part et les États-Unis et le Royaume-Uni d'autre part. La rigueur et la cohérence de la gestion des projets y est clairement pour beaucoup, et l'étude sur les facteurs de coût du nucléaire réalisée par l'Energy Technologies Institute⁷⁵ insiste particulièrement sur ce point. Les principales conclusions de cette étude sont présentées dans le tableau 6.6.

La réalité, bien sûr, est que les projets électronucléaires ont une ampleur et une complexité non négligeables que l'industrie fossile maîtrise depuis de nombreuses années. Les dépassements des délais et des coûts dans ces projets sont rarement dus à une mauvaise connaissance ou à une mauvaise compréhension de la technologie mais à des problèmes classiques rencontrés dans tout grand projet. Quelle que soit la manière de concevoir un nouveau système énergétique national,

⁷⁵ Energy Technologies Institute 2018.

il convient d'examiner soigneusement les technologies qu'un pays *pourrait* déployer à un certain rythme et à une certaine échelle, en tenant compte des facteurs énumérés dans le tableau 6.6. Il est très instructif de voir que les Émirats arabes unis ont réussi à construire leur premier réacteur dans un délai plus court que le délai médian au Royaume-Uni ou aux États-Unis, alors qu'ils n'avaient aucune expérience préalable en la matière. Clairement, il y avait un énorme avantage à construire une copie presque exacte d'un modèle construit ailleurs à plusieurs reprises, qui plus est en utilisant les mêmes équipes, et à accepter la certification du modèle délivrée par le pays d'origine tout en établissant un organisme de réglementation de la sûreté nucléaire extrêmement expérimenté qui serait chargé d'approuver la mise en service et le fonctionnement. Néanmoins, l'autre facteur qui a assurément joué un rôle majeur est la qualité de la réflexion et de la préparation préalables à la construction. L'embauche d'un directeur de projet expérimenté ayant fait ses preuves, l'élaboration d'un plan de construction solide et détaillé, le recours à des contractants expérimentés et le degré de complétude de la conception technique ont aussi aidé. Cela étant, la stratégie consistant à bâtir la réputation du projet dès les premiers stades a probablement aussi joué un rôle déterminant. Le directeur général a été épaulé par un expert en gestion de la réputation avisé dès le début du projet et l'importance qu'il accordait à la réputation du projet est très claire. Le projet d'ENEC à Abou Dhabi est incontestablement un exemple à suivre.

Le projet d'ENEC, bien que le premier des Émirats arabes unis, était le nième du genre vu que les mêmes réacteurs avaient déjà été construits et exploités en République de Corée. Les réacteurs d'ENEC étaient donc bien une nouveauté pour le pays, mais comme le même modèle avait déjà été construit en République de Corée, ils présentaient de nombreuses caractéristiques d'un nième du genre en termes de facteurs de réussite pour une construction dans les délais et dans les limites du budget. D'ailleurs, la construction d'un parc d'un petit nombre de réacteurs a été au cœur de la relance de la construction nucléaire, comme indiqué dans le livre blanc de 2008 qui a entraîné la première grande avancée législative vers un système énergétique bas carbone au Royaume-Uni. Il sera intéressant de voir si le Royaume-Uni parvient à construire un parc nucléaire, indépendamment de la technologie ; à l'heure où j'écris ces lignes, Hinkley Point C est en construction et Sizewell C, la deuxième centrale de la série, est à l'étude, mais rien d'autre n'est clair. Les mentalités sont très différentes au Canada, en Chine, de plus en plus aux États-Unis et maintenant dans de nombreux pays d'Europe. La dernière fois que le Royaume-Uni a construit une nouvelle centrale nucléaire, Sizewell B, il était prévu que celle-ci fasse partie d'un grand parc allant jusqu'à dix unités. La volonté politique s'est évaporée pendant la construction de la première unité, bien que celle-ci soit probablement la seule source d'énergie

TABLEAU 6.6 FACTEURS DE COÛTS DU NUCLÉAIRE –
 CARACTÉRISTIQUES DES CENTRALES À COÛT FAIBLE ET À COÛT
 ÉLEVÉ

| Centrales à coût faible | Centrales à coût élevé |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Conception achevée ou presque avant la construction | Conception inachevée avant le début de la construction |
| Conception largement reprise | Interventions réglementaires majeures pendant la construction |
| Responsable de la construction expérimenté | Première centrale du genre |
| Main-d'œuvre bon marché et très productive | Litiges entre les participants au projet |
| Consortium expérimenté en matière d'IAC | Retards et remaniements importants dus à la chaîne d'approvisionnement |
| Chaîne d'approvisionnement expérimentée | Long programme de construction |
| Planification détaillée de la construction avant le début des travaux | Coût de la main-d'œuvre relativement élevé et faible productivité |
| Programme de nouvelle construction délibérément axé sur la réduction des coûts et l'amélioration de la performance | Manque de supervision de la part du propriétaire |
| Plusieurs unités sur un même site | |
| Nième centrale du genre | |

primaire bas carbone en exploitation qui sera encore en service en 2050 (en supposant, bien sûr, que sa durée de vie soit prolongée de 20 ans).

De nombreux autres pays voient le Royaume-Uni comme un marché nucléaire potentiellement important, mais avec un degré de scepticisme qui ne pourra être surmonté que par un leadership et une volonté politiques forts et un véritable engagement. Sans cela, pourquoi les investisseurs accepteraient-ils de financer (par la dette ou par des capitaux propres) une centrale nucléaire en exploitation, sans parler d'une centrale en construction, même avec un modèle de

base d'actifs réglementés ? Pourquoi les acteurs de la chaîne d'approvisionnement investiraient-ils encore plus à l'avance pour renforcer les capacités, les compétences et la résilience de leurs entités au Royaume-Uni ? La bourse japonaise a déjà fait connaître sa position en refusant de soutenir la filiale britannique d'Hitachi avec Horizon. Les investisseurs d'aujourd'hui sont bien trop marqués par les coups portés par les politiques sur les marchés de l'énergie ; ils n'ont pas oublié la volte-face opérée par le Gouvernement espagnol sur le marché des énergies renouvelables à compter de 2010, qui a entraîné une diminution drastique des tarifs de rachat contractuels pour les projets opérationnels.

Le fait que, depuis quelques années, les investisseurs exigent des investissements conformes aux critères environnementaux, sociaux et de gouvernance a encore accru le risque politique potentiel. Les grands investisseurs tels que BlackRock⁷⁶ exercent une pression de plus en plus forte pour éliminer tous les investissements non conformes à ces critères, ce qui a créé un vaste champ de bataille pour le sentiment antinucléaire de nombreuses sources. Les taxonomies gouvernementales en Europe et ailleurs⁷⁷ sont rarement technologiquement neutres à l'origine – c'était le cas de la taxonomie européenne, et ce malgré le travail d'un groupe d'experts techniques⁷⁸ qui a conclu que les analyses n'avaient révélé aucune donnée scientifique indiquant que l'énergie nucléaire était plus néfaste pour la santé humaine ou l'environnement que les autres technologies de production électrique déjà inscrites dans la taxonomie comme activités favorables à l'atténuation du changement climatique. À moins qu'il ne soit dûment reconnu comme une source d'énergie primaire durable bas carbone, le nucléaire risque de ne pas attirer une catégorie importante d'investisseurs.

6.13. RÉFLEXIONS FINALES

Un chef militaire américain a déclaré à propos de la réaction des États-Unis aux événements du 11 septembre : « Lorsque l'émotion est forte, la rationalité est faible et de mauvaises décisions sont prises ». Le nucléaire se heurte encore et toujours à l'émotion dans les nombreux débats sur son éventuelle utilisation dans le cadre d'un système énergétique rationnel, équilibré, sûr et résilient. De très mauvaises décisions ont été et continuent d'être prises. Le mot « nucléaire »

⁷⁶ <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter>, page consultée le 14 juillet 2021 (lettre aux clients).

⁷⁷ <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/germany-leads-call-to-keep-nuclear-out-of-eu-green-finance-taxonomy>; https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/qanda_19_6804, pages consultées le 14 juillet 2021.

⁷⁸ Commission européenne 2021.

provoque une paralysie intellectuelle chez de trop nombreux décideurs et responsables politiques de par sa connotation agressive et des armes détestées à juste titre qu'il évoque.

Toutefois, la société parvient à surmonter ce genre de contradiction cognitive dans d'autres domaines. Pour une grande partie du public, la nitroglycérine est l'explosif de prédilection des cambrioleurs, du moins dans les films. Pour une plus petite partie de la population, c'est aussi la substance qui permet de fabriquer de la dynamite et qui a fait la fortune du jeune Alfred Nobel, lui permettant de fonder le prix du même nom. Mais pour une poignée de personnes, la même nitroglycérine, sous une forme non explosive, est également le traitement qui leur est donné lorsqu'elles arrivent aux urgences pour des problèmes cardiaques et qu'on leur donne un médicament du nom de « Nitrocot » ou « Nitrostat » par exemple. C'est la façon dont on utilise la science, et non la science elle-même, qui importe. C'est la même chose avec les rayonnements. Si vous vous exposez au soleil de midi pendant plusieurs heures, un jour de juillet, à Abou Dhabi, vous aurez un très mauvais coup de soleil. Si vous vous asseyez au clair de lune le même soir, en revanche, vous ne risquerez rien du tout (du moins pour ce qui est des coups de soleil). Il s'agit exactement des mêmes rayonnements – des photons de (plus ou moins) même longueur d'onde – mais en quantités différentes. D'après le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR), rien n'indique que les rayonnements ionisants augmentent le risque de cancer en dessous de 100 mSv. Cela n'empêche pas les gens de paniquer lorsqu'on leur dit qu'ils ont reçu une dose d'un ou deux millisieverts, soit l'équivalent de la dose reçue au clair de lune. Pendant ce temps, leur ami atteint d'un cancer pourrait bien être exposé à une dose de 20 sieverts – 20 000 fois plus – visant à le guérir dans le cadre d'une radiothérapie. C'est la façon dont on utilise la science, et non la science elle-même, qui importe.

Pour le public, les femmes et les hommes politiques doivent faire preuve de leadership. Il ne s'agit pas de manger un hamburger pendant l'épidémie de MCJ, pour donner un équivalent, mais d'engager une discussion et d'utiliser les compétences pour lesquelles ils ont été sélectionnés : convaincre les électeurs que leurs dirigeants rendront le monde globalement meilleur. Et créer un climat de confiance. Si la future politique énergétique est guidée par l'émotion, de mauvaises décisions seront prises. Nous laisserons alors à nos petits-enfants un pays beaucoup plus pauvre, et beaucoup d'entre eux finiront sans doute par partir s'installer dans un pays ayant pris de meilleures décisions dans les années 2020.

Une chose est claire : nous n'avons plus le temps. Nous devons agir maintenant, avec autant de force que possible, et construire un maximum de GW/an de nouvelles capacités de production d'énergie primaire bas carbone. Les décisions de politique énergétique auront des répercussions immenses à long

terme, comparables à celles de la création de l'État-providence au Royaume-Uni en 1948, et on se souviendra des personnes qui les ont prises comme les lecteurs britanniques se souviennent de Winston Churchill, Rab Butler, William Beveridge et Nye Bevin. Cela, toutefois, vaut uniquement pour les femmes et les hommes politiques qui ont le courage, la perspicacité et la volonté d'apprendre et d'agir en suivant la science, la technique et les faits. Les autres, qui flânent en rêvant d'une future nouvelle technologie miracle qui les dispensera de prendre une décision aujourd'hui, ou qui ont pour habitude de remettre la responsabilité de la décision à leur successeur, laisseront un lourd fardeau à leurs enfants, leurs petits-enfants et leurs descendants, et leurs noms seront honnis dans les livres d'histoire.

Le choix leur appartient.

RÉFÉRENCES

- Black G, Aydogan F, Koerner C (2019) Economic Viability of Light Water Small Modular Nuclear Reactors: General Methodology and Vendor Data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 103:248–258.
- Cheng V, Hammond G (2017) Life-Cycle Energy Densities and Land-Take Requirements of Various Power Generators: A UK Perspective. *Journal of the Energy Institute* 90:201–213.
- Chivers J, Foxon T, Galloway S, Hammond G, Infield D, Leach M, Pearson P, Strachan N, Strbac G, Thomson M (2017) Realising Transition Pathways for a More Electric, Low-Carbon Energy System in the United Kingdom: Challenges, Insights and Opportunities. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 231:440–477.
- Climate Change Committee (2020) Sixth Carbon Budget. <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget>, page consultée le 14 juillet 2021.
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2020a) RAB Model for Nuclear. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/943762/Nuclear_RAB_Consultation_Government_Response-.pdf, page consultée le 14 juillet 2021.
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2020b) Modelling 2050: Electricity System Analysis. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/943714/Modelling-2050-Electricity-System-Analysis.pdf, page consultée le 14 juillet 2021.
- Department of Energy and Climate Change (2011) DECC Dynamic Dispatch Model (DDM). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65709/5425-decc-dynamic-dispatch-model-ddm.pdf, page consultée le 14 juillet 2021.
- Elder R, Cumming D, Mongensen M (2015) High Temperature Electrolysis. In: Styring P, Quadrelli E A, Armstrong K (eds) *Carbon Dioxide Utilisation: Closing the Carbon Cycle*. Elsevier, pp 183–209.

- Energy Technologies Institute (2018) The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Summary Report. https://d2umxnkyjne36n.cloudfront.net/documents/D7.3-ETI-Nuclear-Cost-Drivers-Summary-Report_April-20.pdf?mtime=20180426151016, page consultée le 14 juillet 2021.
- European Commission (2021) Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’), JRC124193. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf, page consultée le 14 juillet 2021.
- Fuchs C, Poehls A, Skau K, Kasten J (2021) Economics of Battery Use in Agriculture: Economic Viability of Renewable Energy Complemented with Batteries in Agriculture. *Energies* 14:2430.
- Funk J (2001) Thermochemical hydrogen production: past and present. *International Journal of Hydrogen Energy* 26:185–190.
- Gagnon L, Belanger C, Uchiyama Y (2002) Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. *Energy Policy* 30:267–1278.
- Harris C (2006) *Electricity Markets: Pricing, Structures and Economics*. Wiley, Hoboken, NJ.
- HM Government (2020) The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution. <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>, page consultée le 14 juillet 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) The Nuclear Fuel Cycle. <https://www.iaea.org/sites/default/files/nfc0811.pdf>, page consultée le 14 juillet 2021.
- Keçebaş A, Muhammet K, Mutlucan B (2019) Electrochemical hydrogen generation. In: Calise F, Dentice D, Accadia M, Santarelli M, Lanzini A, Ferrero D (eds) *Solar Hydrogen Production*. Academic Press, pp 299–317.
- Ling S, Sanny J, Moebs W (2016) Nuclear Binding Energy. In: Ling S, Sanny J, Moebs W (eds) *University Physics Volume 3*. OpenStax, Texas.
- LucidCatalyst (2020) Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals. <https://www.lucidcatalyst.com/hydrogen-report>, page consultée le 14 juillet 2021.
- MacKay D. (2012), *L’énergie durable : Pas que du vent !*, UIT Cambridge.
- Marx C (2014) Failed Solutions to the Energy Crises: Nuclear Power, Coal Conversion, and the Chemical Industry in West Germany since the 1960s. *Historical Social Research / Historische Sozialforschung* 39:251–271.
- National Nuclear Laboratory (2021) UK Energy System Modelling: Net Zero 2050. <https://www.nnl.co.uk/wp-content/uploads/2021/06/NNL-UK-Energy-System-Modelling-for-Net-Zero.pdf>, page consultée le 14 juillet 2021.
- Newbery (2020) Net Zero and Future Energy Scenarios: A Response to the National Infrastructure Commission’s Report on Future Power Systems. EPRG. https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/03/D.-Newbery_Comment_26March2020.pdf, page consultée le 14 juillet 2021.

- Nishihara T, Yan X, Tachibana Y, Shibata T, Ohashi H, Kubo S, Inaba Y, Nakagawa S, Goto M, Ueta S, Hirota N, Inagaki Y, Iigaki K, Hamamoto S, Kunitomi K (2018) Excellent Feature of Japanese HTGR Technologies. Japan Atomic Energy Agency, Ibaraki.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2011) Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants.
<https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2011/load-following-npp.pdf>, page consultée le 14 juillet 2021.
- Rajagopal (2015) *The Butterfly Effect in Competitive Markets*. Palgrave Macmillan, London.
- Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy (2020) *Energy White Paper: Powering Our Net Zero Future*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/945899/201216_BEIS_EWP_Command_Paper_Accessible.pdf, page consultée le 14 juillet 2021.
- Simshauser P (2019) *Lessons from Australia's National Electricity Market 1998-2018: the strengths and weaknesses of the reform experience*.
<https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2019/08/1927-Text.pdf>, page consultée le 14 juillet 2021.
- UKRN (2019) *Cost of Capital – Annual Update Report*.
<https://www.ukrn.org.uk/wp-content/uploads/2019/09/2019-UKRN-Annual-Cost-of-Capital-Report-Final-1.pdf>, page consultée le 14 juillet 2021.
- World Nuclear Association (2021a) *Advanced Nuclear Power Reactors*.
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/advanced-nuclear-power-reactors.aspx>, page consultée le 14 juillet 2021.
- World Nuclear Association (2021b) *Small Nuclear Power Reactors*.
<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>, page consultée le 14 juillet 2021.

Les opinions exprimées dans le présent chapitre sont celles de l’auteur ou des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu’ils représentent.

7. IMPUTATION JURIDIQUE DU DOMMAGE RADIOLOGIQUE À DES SITUATIONS D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS

Abel Julio González

Résumé La doctrine de l'imputation juridique (y compris les concepts dérivés d'accusation, de poursuite, d'inculpation et de jugement) des effets sanitaires nocifs aux personnes responsables de situations d'exposition aux rayonnements fait l'objet depuis de nombreuses années d'un débat dont l'issue n'est toujours pas claire. Si l'attribution d'un préjudice dans les situations de forte dose de rayonnements est simple pour l'essentiel, les difficultés surgissent avec les doses moyennes et deviennent un véritable casse-tête dans les situations très courantes d'exposition à de faibles doses de rayonnements. Cette situation ambiguë pourrait être interprétée comme une épée de Damoclès pour la renaissance des activités entraînant une exposition professionnelle ou une exposition du public aux rayonnements. Le présent chapitre décrit la situation épistémologique concernant l'attribution des effets sanitaires des rayonnements et l'inférence des risques radiologiques, en s'appuyant sur les estimations du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) présentées à l'Assemblée générale des Nations Unies. Il examine les implications du paradigme affiné de l'UNSCEAR pour l'attribution de la responsabilité juridique. Il se termine par une recommandation visant à élaborer une doctrine juridique internationale sur la capacité d'imputer les effets sanitaires nocifs des rayonnements.

Mots clés Situations d'exposition aux rayonnements • Imputation juridique • Attribution des effets des rayonnements • Inférence du risque radiologique • Attestation radiopathologique • Attestation radioépidémiologique • Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) • Effets déterministes sur la santé • Effets stochastiques sur la santé • Sécurité radiologique

7.1. OBJECTIF

L'objectif du présent chapitre est de traiter de l'*imputation juridique*¹ du *dommage radiologique*² à des situations d'*exposition aux rayonnements*³. Le concept d'imputation juridique est utilisé comme précurseur des concepts juridiques dérivés de poursuite, d'accusation, d'inculpation et de jugement.

L'imputation juridique du dommage radiologique est controversée, en particulier pour les situations impliquant de faibles doses de rayonnements. Le manque de clarté sur une question aussi importante constitue un défi pour le développement normal des activités humaines entraînant une exposition de personnes aux rayonnements, comme la production d'électricité nucléaire et l'utilisation des rayonnements et de la radioactivité en médecine, dans l'industrie et dans la recherche.

Par conséquent, le présent chapitre vise à promouvoir une compréhension internationale commune de la question.

Il contient les éléments suivants :

- une description sommaire du consensus scientifique international fondamental sur les effets sanitaires des rayonnements, qui vise à fournir un aperçu de la question. Suivent une discussion sur l'estimation des effets et l'imputation du dommage et une présentation du paradigme fondamental, y compris une discussion sur les faits vérifiables par opposition aux conjectures subjectives ;

¹ Le concept d'*imputation juridique* est utilisé pour désigner les actions basées sur la loi qui visent à attribuer le dommage radiologique à des situations d'exposition aux rayonnements. Il est utilisé comme précurseur des concepts dérivés d'accusation, de poursuite, d'inculpation et de jugement. Dans un contexte juridique, imputer signifie assigner à quelqu'un qui cause un préjudice physique des effets nocifs réels ou potentiels liés à l'exposition aux rayonnements, c'est-à-dire assigner la responsabilité des effets de l'exposition. Il convient de noter que l'attribution est différente de l'imputation, mais malheureusement ces termes ont été utilisés internationalement comme synonymes. Voir OIT *et al.* 2010.

² Le concept de *dommage radiologique* est utilisé pour désigner tout *effet sanitaire des rayonnements* ou toute blessure physique subie par des personnes, à savoir des individus identifiés ou des populations entières, dont on peut attester qu'il a été infligé par une exposition aux rayonnements, le mot *rayonnements* désignant les rayonnements ionisants et l'expression *effet sanitaire des rayonnements* désignant tout effet sanitaire induit par l'exposition aux rayonnements.

³ Le concept de *situations d'exposition aux rayonnements* est utilisé pour désigner tout ensemble de circonstances dans lesquelles des personnes sont exposées à des rayonnements ionisants provenant d'une source située soit à l'extérieur soit à l'intérieur de l'organisme, une source étant tout ce qui peut provoquer une exposition aux rayonnements, par exemple en émettant des rayonnements ionisants ou en libérant des substances ou des matières radioactives.

- une discussion sur l'*attribution*⁴ du dommage radiologique par rapport à l'*inférence*⁵ du *risque radiologique*⁶ résultant de situations d'exposition aux rayonnements ;

⁴ L'*attribution* désigne le fait d'attribuer un effet sanitaire à l'exposition aux rayonnements grâce à des preuves factuelles objectives.

⁵ L'*inférence* (par opposition à l'*attribution*) désigne le processus consistant à tirer des conclusions à partir de conjectures subjectives impliquant des observations scientifiques indirectes, des preuves et un raisonnement en présence d'incertitude (si l'utilisation de l'*inférence* est généralement axée sur l'*inférence* prospective du risque, il convient de noter que l'estimation d'une *part assignée ou d'une probabilité de causalité* est aussi une *inférence*, mais rétrospective).

⁶ Le *risque radiologique* désigne la probabilité qu'un effet sanitaire associé à l'exposition aux rayonnements (par exemple l'apparition d'un cancer) puisse survenir (c'est-à-dire qu'il s'agit d'une notion prospective) pendant une période donnée (par exemple le reste de la vie après l'exposition). Les risques radiologiques ne devraient être attribués qu'en utilisant des preuves factuelles provenant d'enquêtes épidémiologiques sur les taux de maladie dans des populations précédemment exposées (c'est-à-dire basées sur des observations passées) ; il faut néanmoins noter que les résultats de telles analyses rétrospectives ont aussi été utilisés pour des inférences concernant le risque lié à d'autres situations d'exposition impliquant des populations différentes pour lesquelles des données épidémiologiques directes n'étaient pas disponibles.

- la question connexe de l'*attestation*⁷, par le *témoin expert*⁸, de l'apparition réelle des effets sanitaires des rayonnements ;
- les possibilités qui en découlent d'*imputer juridiquement* de tels dommages à des situations d'exposition aux rayonnements.

7.2. RÉSUMÉ DU CONSENSUS SCIENTIFIQUE FONDAMENTAL

Au fil des ans, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) est parvenu à un consensus universel sur l'estimation des effets sanitaires des rayonnements et en a régulièrement rendu compte à l'Assemblée générale des Nations Unies. L'UNSCEAR est l'organisme international intergouvernemental chargé par l'Assemblée générale des Nations Unies d'estimer les niveaux et les effets des rayonnements dans le monde.

⁷ Le mot *attestation* désigne le fait qu'un *témoin expert* fournit une preuve claire en déclarant formellement qu'un effet radiologique existe.

⁸ L'expression *témoin expert* désigne un spécialiste des effets des rayonnements qui peut présenter son opinion d'expert sans avoir été témoin d'un quelconque événement radiologique faisant l'objet d'un procès ou d'une affaire pénale, mais ayant constaté l'apparition réelle des effets, comme suit :

Les *radiopathologistes* sont des témoins experts de l'apparition réelle des effets sanitaires des rayonnements qui peuvent être diagnostiqués chez les individus, c'est-à-dire que ce sont des scientifiques reconnus et certifiés qui étudient les causes et les effets des maladies induites par les rayonnements, notamment en examinant des échantillons de laboratoire de tissus corporels à des fins diagnostiques ou médico-légales.

Les *radioépidémiologistes* sont des témoins experts de l'apparition réelle des effets sanitaires des rayonnements qui ne peuvent pas être diagnostiqués individuellement mais seulement estimés dans des populations (c'est-à-dire que ce sont des scientifiques reconnus et certifiés ayant une expertise en statistiques médicales, branche de la médecine qui traite de l'incidence et de la distribution des maladies associées à l'exposition aux rayonnements).

Les *radiobiologistes* sont des témoins experts de l'apparition réelle de changements biologiques attribuables à l'exposition aux rayonnements, en analysant des spécimens destinés à des essais biologiques spécialisés, comme certains échantillons hématologiques et cytogénétiques (c'est-à-dire que ce sont des scientifiques reconnus et certifiés ayant une expertise dans la branche de la biologie traitant des effets des rayonnements ionisants sur les organismes, organes, tissus et cellules).

Les *radioprotectionnistes* (appelés aussi experts en radioprotection) sont des témoins experts conjecturant et inférant les risques radiologiques (c'est-à-dire que ce sont des scientifiques certifiés et dûment reconnus comme ayant une expertise de la protection des personnes contre les effets nocifs de l'exposition aux rayonnements ionisants, et des moyens d'assurer cette protection).

Les thèses fondamentales du paradigme international, sur lesquelles repose le présent chapitre, peuvent être simplifiées comme suit :

- Il existe un consensus scientifique sur le fait que l'exposition à de fortes doses de rayonnements pendant une période relativement courte entraîne des effets nocifs aigus (c'est-à-dire critiques, graves) chez les personnes exposées. Ces effets peuvent être diagnostiqués, prouvés et *attestés* par des *radiopathologistes* qualifiés. En résumé, un effet observé sur la santé d'un individu peut être attribué sans équivoque à l'exposition aux rayonnements si l'individu présente des réactions tissulaires (souvent appelées effets « déterministes ») et s'il est possible d'obtenir un diagnostic pathologique différentiel qui élimine les autres causes possibles. Ces effets déterministes sont ressentis à la suite de doses absorbées élevées, reçues dans un laps de temps relativement court, comme cela peut se produire lors d'une exposition due à un accident ou à une radiothérapie. Ces effets déterministes peuvent donc être imputés individuellement à la situation dans le cadre d'un *procès*⁹ classique. À des doses plus faibles, les populations exposées peuvent subir un dommage collectif, qui peut se traduire par une augmentation de l'incidence de certains effets. De telles augmentations peuvent être évaluées, prouvées et *attestées* par des *radioépidémiologistes* qualifiés. Ces effets sur la santé d'un individu que l'on sait associés à l'exposition aux rayonnements – comme les tumeurs malignes radio-induites (et, en théorie, les effets héréditaires chez les descendants de la population exposée) – ne peuvent pas être attribués sans équivoque à l'exposition aux rayonnements, car celle-ci n'est pas la seule cause possible et qu'on ne dispose pas généralement à l'heure actuelle de biomarqueurs spécifiques de l'exposition aux rayonnements. Ces effets sont dits « stochastiques ». Un diagnostic pathologique différentiel clair n'est donc pas possible pour les effets stochastiques. Ce n'est que si l'incidence spontanée d'un type particulier d'effet stochastique est faible et que la radiosensibilité pour un effet de ce type est élevée (comme c'est le cas pour certains cancers de la thyroïde chez l'enfant) que l'attribution d'un effet à l'exposition aux rayonnements chez un individu particulier peut être évidente, notamment si la dose d'exposition est élevée. Toutefois, même dans ce cas, l'effet observé chez un individu ne peut pas être attribué sans équivoque à l'exposition aux rayonnements du fait de la présence d'autres causes possibles. En résumé, une augmentation de l'incidence d'effets stochastiques dans une population pourrait être attribuée à l'exposition aux rayonnements grâce à une analyse épidémiologique – à condition,

⁹ Le mot *procès* désigne une procédure engagée par une ou plusieurs parties avec une *imputation juridique* à l'égard d'une autre devant un tribunal civil.

notamment, que cette augmentation soit suffisante pour prévaloir sur les incertitudes statistiques inhérentes. Dans ce cas, une augmentation de l'incidence des effets stochastiques dans la population exposée pourrait être correctement vérifiée et attribuée à l'exposition. Il convient de noter que, bien qu'elle ait été démontrée dans des études sur les animaux, une augmentation de l'incidence d'effets héréditaires dans les populations humaines ne peut pas actuellement être attribuée à l'exposition aux rayonnements. Cela s'explique notamment par la grande fluctuation de l'incidence spontanée de ces effets. Dans certaines juridictions, les dommages radiologiques liés aux effets stochastiques pourraient être imputés *collectivement* (mais pas individuellement) à la situation, peut-être sous la forme d'un *recours collectif*¹⁰. Des spécimens destinés à des essais biologiques spécialisés, comme certains échantillons hématologiques et cytogénétiques, qui indiquent des changements biologiques attribuables à l'exposition aux rayonnements peuvent être analysés chez les personnes exposées par des *radiobiologistes* qualifiés. Ils peuvent servir d'indicateurs biologiques de l'exposition aux rayonnements, même à des niveaux d'exposition très faibles. Il convient toutefois de noter que la présence de tels indicateurs biologiques dans des échantillons prélevés sur une personne ne signifie pas nécessairement que celle-ci subira des effets sanitaires en raison de l'exposition. Il n'est pas certain que le « dommage » puisse être imputé dans ces cas.

- Il a récemment été convenu au niveau international que les effets sanitaires des rayonnements ne sont pas attribuables à des situations d'exposition à de faibles doses (par exemple, des doses similaires aux doses typiques du fond naturel de rayonnement), mais que l'on pouvait tout de même inférer les risques radiologiques associés à de telles situations, ce qui reste du domaine de la conjecture subjective. En résumé, l'augmentation de l'incidence des effets sanitaires dans les populations ne peut être attribuée de manière fiable à une exposition chronique aux rayonnements à des doses qui sont typiques du fond naturel de rayonnement moyen dans le monde. Cela s'explique par les incertitudes liées à l'évaluation des risques aux faibles doses, l'absence actuelle de biomarqueurs spécifiques des effets sanitaires des rayonnements et la puissance statistique insuffisante des études épidémiologiques. Il existe un consensus international sur le fait que le nombre d'effets sanitaires radio-induits au sein d'une population exposée à des incréments de doses égaux ou inférieurs au fond naturel de rayonnement ne peut pas être estimé en multipliant de très faibles doses par un grand nombre d'individus. Ces situations sont très courantes dans la pratique et l'imputation juridique

¹⁰ L'expression *recours collectif* désigne un procès dans lequel l'une des parties est un groupe de personnes qui est représenté collectivement par un membre de ce groupe.

des dommages radiologiques qui leur sont hypothétiquement attribués est controversée. Il a été noté que les organismes de santé publique doivent allouer les ressources de manière appropriée, et que cela peut impliquer de faire des projections du nombre d'effets sanitaires à des fins de comparaison. Cette méthode, bien que fondée sur des hypothèses raisonnables mais non vérifiables, pourrait être utile à ces fins si elle est appliquée de manière cohérente, si les incertitudes des évaluations sont pleinement prises en compte et si l'on n'en déduit pas que les effets sanitaires projetés sont autres que théoriques.

7.3. DE L'ESTIMATION DES EFFETS À L'IMPUTATION DU DOMMAGE

L'imputation juridique du dommage radiologique a suscité des controverses au fil des ans sans que le problème ne soit résolu. Il peut être résumé comme suit :

- a) attribution des effets sanitaires aux situations d'exposition aux rayonnements ;
- b) attestation de leur apparition par des experts qualifiés ;
- c) lancement de démarches juridiques telles que l'imputation d'abord, puis l'accusation, la poursuite, l'inculpation et le jugement, conformément à la pratique juridique en vigueur dans la juridiction concernée. Le problème semble être particulièrement difficile dans les situations où les doses individuelles sont faibles.

Si l'origine du problème remonte à l'époque des multiples essais d'armes nucléaires, il a été relancé à la suite d'accidents nucléaires de grande ampleur, comme ceux survenus dans les centrales nucléaires de Three Mile Island, Tchernobyl et Fukushima Daiichi, et par l'intérêt relativement récent porté à la « mauvaise administration » des doses de rayonnement dans les pratiques médicales telles que la radiothérapie et le radiodiagnostic.

Le débat s'est enflammé à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl et a été évoqué pour la première fois au colloque sur les accidents nucléaires : responsabilités et garanties, organisé en 1993 par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE/AEN)¹¹. Lors de cette réunion, le dilemme de la causalité associée aux conséquences sanitaires radiologiques de l'accident de Tchernobyl a

¹¹ OCDE/AEN 1993.

été abordé¹². Une décennie après ce premier débat, l'influence du problème dans le droit nucléaire était déjà un sujet de discussion dans la littérature juridique¹³.

Ainsi, des préoccupations ont été exprimées très tôt quant aux contraintes épistémologiques de l'attribution d'effets sanitaires à une exposition à des doses relativement faibles et quant à leurs conséquences juridiques. En dépit de ces préoccupations, des effets théoriques ont été attribués à de faibles doses de rayonnement résultant de l'accident, non seulement dans la littérature scientifique à comité de lecture¹⁴, mais aussi plus notablement au niveau universitaire (par exemple dans les Annales de l'Académie des sciences de New York)¹⁵. Ces opinions étaient en contradiction avec les estimations données par les organisations internationales¹⁶. Ces contradictions ont suscité de vives inquiétudes parmi les membres du public et leurs représentants.

Sans surprise, à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, le même type de signalement d'effets non prouvables est devenu à la mode dans la littérature scientifique¹⁷. Ces signalements étaient en totale contradiction avec les estimations scientifiques des organisations internationales¹⁸.

Ainsi, la controverse entre experts sur les effets sanitaires des faibles doses de rayonnements a été au centre d'un débat confus et déroutant. Il n'est pas surprenant que la réponse juridique aux cas d'exposition à des doses relativement faibles ait été ambiguë : si les actions en justice n'ont généralement pas abouti dans la plupart des pays ces dernières années, un certain nombre d'affaires ont été couronnées de succès, notamment au Japon, et elles pourraient avoir de nombreuses implications juridiques¹⁹.

Le traitement équivoque du problème et l'ambiguïté juridique qui l'entoure suscitent, comme on pouvait s'y attendre, la perplexité du grand public et favorisent le sensationnalisme dans les médias, et ont déjà coûté un prix élevé en termes de crainte du public à l'égard des faibles doses de rayonnements²⁰. Par conséquent, dans un certain nombre de cas, les processus réglementaires visant à prévenir l'exposition à de faibles doses afin d'éviter les incidences juridiques

¹² González 1993, p. 26.

¹³ González 2002.

¹⁴ Voir, par exemple, Cardis *et al.* 2006.

¹⁵ Yablokov *et al.* 2010.

¹⁶ AIEA 1996 ; UNSCEAR 2008.

¹⁷ Voir, par exemple, Ten Hoeve et Jacobson 2012.

¹⁸ UNSCEAR 2013 ; AIEA 2015 ; González *et al.* 2013.

¹⁹ Voir par exemple <https://www.bbc.com/news/world-asia-38843691>, page consultée le 11 octobre 2021.

²⁰ Waltar *et al.* 2016.

ont imposé des sanctions sévères à la société et ont entravé involontairement l'utilisation de pratiques bénéfiques comportant une radioexposition.

Les problèmes sont peut-être apparus d'abord à la suite d'une désinformation et d'une mauvaise communication entre les experts juridiques et un groupe hétérogène de radiobiologistes, radioépidémiologistes, radiopathologistes et radioprotectionnistes. En outre, la communication avec le public et ses représentants politiques a été loin d'être bonne. Ces problèmes ont été amplement discutés²¹, mais aucune solution n'a été trouvée.

Un problème juridique majeur est de savoir comment gérer l'erreur épistémologique dans l'attribution des effets des rayonnements à des situations d'exposition où ces effets peuvent être conjecturés mais non prouvés. Ce problème a été suffisamment discuté dans la littérature²², mais au fil du temps, il semble avoir été ignoré tant dans les règlements que dans la pratique juridique.

L'Organisation internationale du Travail (OIT) a déployé des efforts importants pour traiter cette question²³. Un rapport a été publié sur les approches de l'attribution des effets sanitaires nocifs à l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants et leur application dans les programmes d'indemnisation relatifs au cancer. Bien que de portée limitée (il ne couvrait que l'exposition professionnelle et était axé sur l'indemnisation), il s'agissait d'une tentative importante de faire progresser la question de l'imputation. Le document, rappelant la Convention n° 115 de l'OIT, qui dispose que les travailleurs atteints d'un cancer à la suite d'une exposition professionnelle aux rayonnements doivent être indemnisés, reconnaît qu'il faut choisir un processus d'indemnisation capable de distinguer les cas les plus susceptibles d'avoir été causés par l'exposition professionnelle des cas dus à d'autres facteurs.

Heureusement, un consensus intergouvernemental international sur l'attribution des effets sanitaires prouvés des rayonnements par opposition à l'inférence de risques hypothétiques a été atteint relativement récemment. Cette étape importante a finalement été franchie il y a quelques années par l'UNSCEAR²⁴.

En 2012, l'UNSCEAR a affiné la compréhension de ce paradigme en traitant l'attribution des effets sanitaires à l'exposition aux rayonnements et l'inférence des risques²⁵. L'Assemblée générale des Nations Unies a accueilli avec satisfaction, à l'unanimité, ce rapport scientifique de l'UNSCEAR²⁶. Les

²¹ AIEA 2018.

²² González 2011.

²³ OIT *et al.* 2010.

²⁴ UNSCEAR, 2012.

²⁵ *Ibid.*

²⁶ Assemblée générale des Nations Unies, 2012.

estimations de l'UNSCEAR ont été résumées par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) dans une brochure dont les principales constatations et illustrations pertinentes sont utilisées dans le présent chapitre²⁷. Cet important consensus a été largement évoqué dans la littérature²⁸, mais il est encore loin d'être mis en œuvre dans la pratique réglementaire. La Commission des normes de sûreté (CSS) s'est penchée sur la question et un rapport est en préparation (la CSS est l'organisme international qui approuve les normes internationales de sûreté établies sous l'égide de l'AIEA avec le coparrainage de toutes les organisations internationales concernées).

Après un long cheminement, il semble que la communauté scientifique soit parvenue, dans le cadre de l'UNSCEAR, à un consensus sur les effets sanitaires aux faibles doses : on peut inférer un risque, mais on ne peut pas attribuer d'effets réels. Cet important consensus scientifique devrait maintenant être converti en instruments juridiques concernant les questions d'imputation, de poursuite, d'accusation, d'inculpation et de jugement, suite à des situations d'exposition aux rayonnements. Ces développements ont été suivis d'une discussion sur le passage de l'attribution et de l'inférence scientifiques à l'imputation juridique (et donc aux poursuites, à l'inculpation, à l'accusation et au jugement)²⁹, mais celle-ci n'a pas encore abouti à des approches universelles.

7.4. LE PARADIGME FONDAMENTAL

Ce nouveau paradigme de l'UNSCEAR³⁰ est subtilement plus précis que les estimations précédentes³¹ qui sont actuellement utilisées dans les réglementations internationales intergouvernementales visant à protéger les personnes contre les effets nocifs de l'exposition aux rayonnements³² et, par conséquent, dans le vaste corpus des règlements de sûreté nucléaire. Ainsi, la réglementation actuelle ne fait pas de distinction claire entre l'attribution d'effets réels et l'inférence de risques conjecturaux. Cependant, le paradigme international renouvelé fournit la base scientifique et réglementaire des questions juridiques liées à l'imputation de dommages à des situations d'exposition aux rayonnements.

Le paradigme peut être résumé de manière simplifiée dans une relation dose-effet annotée (voir la section 7.4.1).

²⁷ PNUE, 2016.

²⁸ González 2014b, c.

²⁹ González 2014a.

³⁰ UNSCEAR 2012 ; CIPR 2005.

³¹ UNSCEAR 2008.

³² AIEA 2014 ; CIPR (2007) 2010.

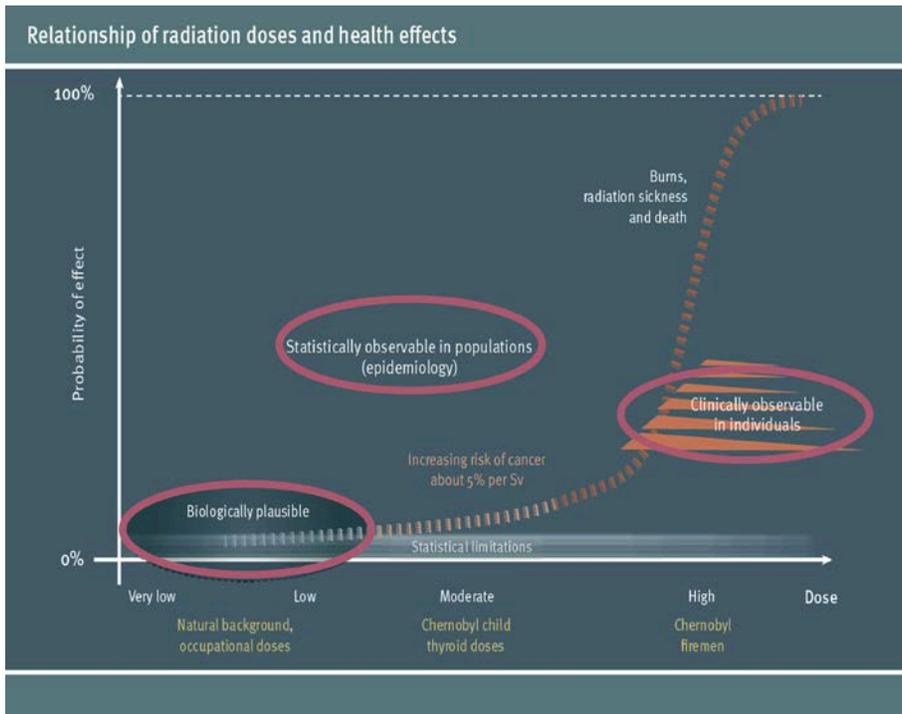


Fig. 7.1 La relation dose-effet. Source : PNUE 2016, p. 25.

7.4.1. La relation dose-effet

La relation entre les doses reçues par les personnes et la probabilité d'apparition d'effets sanitaires (appelée *relation dose-effet*), qui peut être dérivée des estimations de l'UNSCEAR, a été synthétisée par le PNUE dans le graphique présenté à la figure 7.1³³.

Les doses sont qualifiées comme suit :

- les « doses élevées » [environ un sievert de dose efficace (il convient de noter que la dose moyenne due au rayonnement de fond naturel est de 0,0024 sievert par an, ce qui signifie qu'un sievert est des milliers de fois supérieur aux niveaux annuels de rayonnement naturel)] ;
- les « doses modérées » [environ des centaines de millièmes de sievert (un millième de sievert est appelé millisievert)] ;
- les « faibles doses » (de l'ordre de quelques dizaines de millisieverts) ;

³³ PNUE 2016, p. 25.

- les « *très faibles doses* » (environ un millisievert).

Les probabilités sont exprimées en pourcentages compris entre 0 et 100 %, où :

- 100 % correspond à la certitude que l'*effet surviendra* ;
- 0 % correspond à la certitude que l'*effet ne surviendra pas*.

Il convient de noter que les probabilités estimées par l'UNSCEAR sont de deux types distincts :

- les *probabilités fréquentistes*, qui concernent les doses élevées, sont fondées sur l'existence vérifiable et vérifiable des effets sanitaires des rayonnements, et sont définies comme la limite de la fréquence relative de l'incidence de l'effet dans une série d'études épidémiologiques certifiables ;
- les *probabilités subjectives* (dites aussi « bayésiennes »), qui concernent les faibles doses, sont exprimées comme une attente possible de l'apparition d'effets sanitaires des rayonnements et sont quantifiées selon une conviction personnelle ou un jugement d'expert qui n'est pas étayé par la fréquence des effets ou leur propension à survenir réellement.

Les probabilités fréquentistes et subjectives sont mathématiquement compatibles mais épistémologiquement très différentes : les premières sont basées sur des *faits*, les secondes sur des *conjectures*.

L'UNSCEAR a souligné qu'il importait de faire la distinction entre :

- les *observations vérifiées d'effets sanitaires* chez les individus et les populations exposées, qui permettent d'attribuer sans ambiguïté ces effets aux situations d'exposition qui les ont provoqués ;
- les *projections théoriques d'effets sanitaires*, dont l'apparition est possible mais non vérifiable, c'est-à-dire les projections permettant seulement d'inférer certains risques.

Dans les deux cas, il est important de prendre en compte à la fois les incertitudes et les imprécisions associées aux estimations.

Dans l'état actuel des connaissances, certains effets sur la santé de personnes spécifiques exposées aux rayonnements, les « *effets déterministes* », peuvent être attribués avec confiance s'ils ont été diagnostiqués par un spécialiste. Ces effets sont généralement aigus et surviennent rapidement chez les personnes exposées à de fortes doses de rayonnement. Ils sont qualifiés de déterministes parce

qu'ils surviennent nécessairement si la dose dépasse une certaine valeur seuil, considérée comme dose élevée.

Il est aussi possible d'attribuer aux rayonnements des augmentations de l'incidence normale de certains effets dans les populations, les « *effets stochastiques* » (par exemple, des augmentations de l'incidence des cancers, qui ont été observées dans des populations exposées à des doses élevées). Ces effets peuvent se manifester dans certaines cohortes exposées à des doses modérées et élevées de rayonnements, et apparaissent après de longues périodes de latence. Ils peuvent être attribués à l'exposition en observant leur incidence dans les populations touchées, mais seulement si le changement observé dans l'incidence de base des effets est suffisamment important pour compenser les incertitudes statistiques et épistémiques. En raison du caractère aléatoire de leur apparition, ils sont appelés « *effets stochastiques* ». La probabilité d'apparition d'effets stochastiques est calculée sur la base de la fréquence mesurée des effets, et elle est appelée de manière générique « risque d'irradiation », ou simplement « risque » ; ce risque est généralement exprimé sous la forme d'un nombre sans dimension par dose unitaire reçue.

Il n'existe actuellement aucun biomarqueur permettant de distinguer si un effet stochastique chez une personne est dû à l'exposition aux rayonnements ou à une autre cause, ou s'il s'agit simplement d'une apparition naturelle. En d'autres termes, il n'existe pas de normes relatives aux spécimens biologiques qui permettent de diagnostiquer spécifiquement les effets stochastiques chez les individus. C'est pourquoi les effets stochastiques ne sont pas attribuables à l'exposition subie par des individus spécifiques, mais uniquement à l'exposition collective subie par une population. Ils sont ici exprimés comme une modification de l'incidence de base de l'effet.

Aucun changement n'a été confirmé dans l'incidence des effets sanitaires, dans des situations où le niveau d'exposition aux rayonnements est faible ou très faible (par exemple, dans des situations typiques d'exposition dans l'environnement ou d'exposition professionnelle). Entre autres raisons, les incertitudes statistiques et épistémiques des études épidémiologiques à faibles et très faibles doses rendent cette confirmation impossible.

Néanmoins, l'apparition silencieuse de tels effets ne peut en principe être écartée et une probabilité pourrait être attribuée à cette apparition hypothétique. Ainsi, *la probabilité que des effets stochastiques se produisent à faibles et très faibles doses ne peut être inférée que de manière subjective par des jugements d'experts*. À faibles et très faibles doses, il est donc nécessaire de formuler des hypothèses et d'utiliser des modèles mathématiques pour estimer une probabilité subjective d'apparition d'effets sanitaires, ce qui conduit à des résultats incertains. Cette probabilité subjective est aussi souvent appelée « risque ».

Par conséquent, pour les doses faibles et très faibles, l'UNSCEAR a choisi de ne pas utiliser ces modèles mathématiques dans ses projections du nombre d'effets sanitaires des rayonnements (ou même de décès), en raison des incertitudes inacceptables qui en résultent et qui sont intrinsèques aux prédictions. Cependant, il estime que ces calculs peuvent servir à formuler des suppositions qui peuvent être utilisées pour des comparaisons en matière de santé publique ou à des fins de radioprotection, à condition – comme il l'a précisé – que les incertitudes soient prises en compte et que les limitations soient clairement expliquées.

En résumé, comme indiqué par des ovales sur la figure 7.1, l'UNSCEAR a établi une distinction claire entre trois régions distinctes de la relation dose-effet, selon l'observation des effets, à savoir :

- la région où les effets sont cliniquement observables chez les individus, par un diagnostic radiopathologique et une attestation par certification ;
- la région où les effets ne sont que statistiquement observables dans les populations (mais non identifiables chez les individus), par des estimations radioépidémiologiques et des attestations ou certifications ;
- (dans ces deux cas, les probabilités sont fréquentistes),
- la région où les effets ne sont pas observables mais peuvent être biologiquement plausibles, et ne peuvent être inférés que par le jugement subjectif d'experts (c'est-à-dire que les probabilités subjectives ne sont possibles qu'ici).

7.5. FAITS VÉRIFIABLES CONTRE CONJECTURES SUBJECTIVES

Il ressort de la discussion précédente sur le paradigme que l'abscisse de la relation dose-effet, qui quantifie la dose, peut être divisée en deux zones distinctes, comme présenté à la figure 7.2 et décrit dans la présente section :

- les doses qui entraînent des effets résultant de faits objectivement vérifiables, c'est-à-dire d'événements véridiques et non d'événements interprétables, ceux qui se produisent de manière indiscutable et ne sont pas influencés par des sentiments ou des opinions personnels ;
- les doses qui ne conduisent qu'à des inférences subjectives basées sur des conjectures, c'est-à-dire sur des opinions ou des conclusions fondées sur des informations incomplètes non prouvées et peut-être influencées par des sentiments ou des opinions personnels.

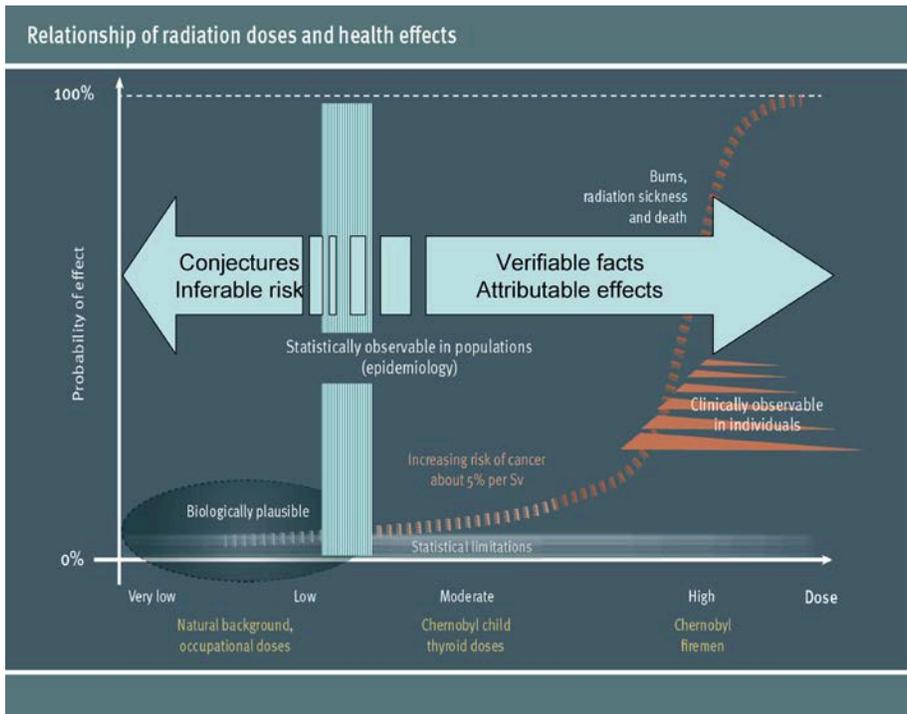


Fig. 7.2 L'abscisse de la relation dose-effet divisée en deux zones distinctes. Source : PNUE 2016, p. 25 (adaptée).

Il s'ensuit que les deux zones distinctes sont :

- la zone dans laquelle il est possible d'attribuer objectivement des effets à des situations d'exposition aux rayonnements ;
- la zone dans laquelle il n'est pas possible d'attribuer objectivement des effets, bien qu'il soit possible d'inférer des risques de manière subjective.

7.6. ATTESTATION

Comme nous l'avons vu précédemment, l'attestation de l'apparition d'effets des rayonnements peut être faite par des radiopathologistes pour les effets déterministes sur les individus et par des radioépidémiologistes pour les effets stochastiques sur les populations. L'attestation n'est pas possible sur la seule base d'un jugement d'expert.

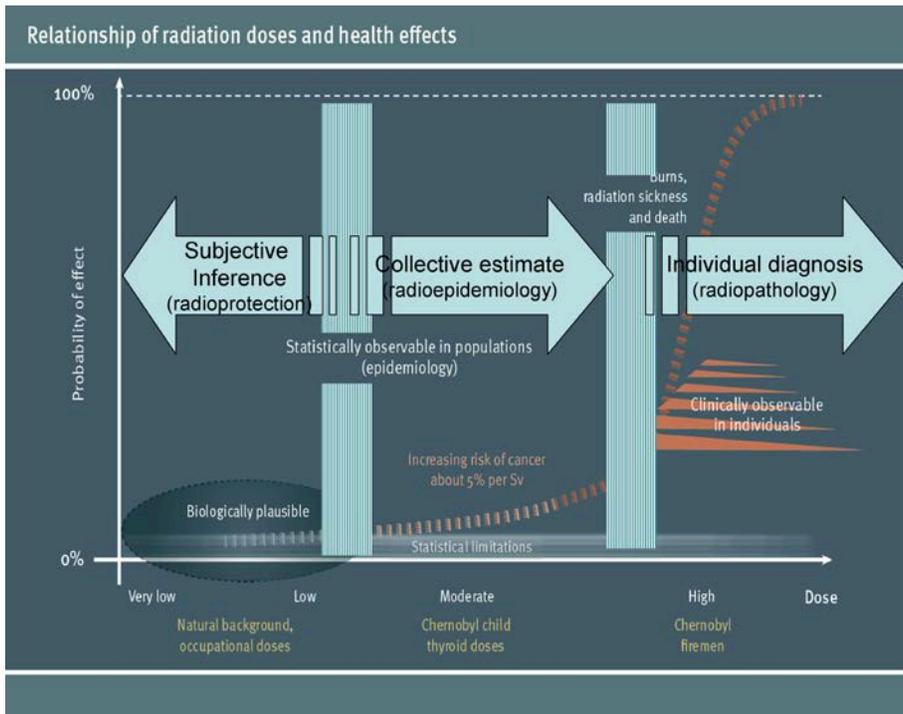


Fig. 7.3 Sous-zones de la relation dose-effet dans lesquelles les effets sont attribuables. Source : PNUE 2016, p. 25 (adaptée).

La zone de la relation dose-effet dans laquelle les effets sont attribuables peut encore être divisée en deux sous-zones, comme suit et comme le montre la figure 7.3.

- Dans la région des doses élevées, l'apparition des effets peut être *diagnostiquée* chez les personnes exposées.
- Dans la région des doses modérées, seules les modifications de l'incidence des effets dans les populations exposées peuvent être évaluées, généralement par des calculs statistiques, c'est-à-dire estimées dans le cadre d'études *épidémiologiques*.
- Dans la région des faibles et très faibles doses, il n'y a que la possibilité d'un *jugement d'expert* et d'une extrapolation des connaissances, mais il n'y a pas de possibilité de diagnostic individuel chez la personne exposée ni de détermination des changements de l'incidence collective des effets dans les populations exposées au moyen d'études *épidémiologiques*.

On peut donc faire une autre distinction dans l'attribution des effets, comme indiqué à la figure 7.3 :

- Dans la zone des doses élevées, les effets peuvent être attribués individuellement, c'est-à-dire que l'on peut diagnostiquer et attester par des procédures pathologiques qu'une personne exposée a subi l'effet.
- Dans la zone des doses modérées, les effets peuvent être estimés collectivement, c'est-à-dire qu'il est possible d'évaluer s'il y a une augmentation de l'incidence des effets dans une population exposée, bien qu'il ne soit pas possible de diagnostiquer ces effets individuellement.
- Dans le reste de la zone des faibles doses, les effets ne peuvent pas être attribués, ni individuellement ni collectivement, bien qu'un « risque » puisse être inféré, exprimé comme une probabilité subjective qui est basée non pas sur des fréquences mesurables mais sur des jugements personnels d'experts ou des décisions réglementaires.

Comme le montre la figure 7.3, le processus requiert différentes attestations professionnelles, comme suit :

- l'attribution individuelle des effets ne peut se faire que par un diagnostic suivi d'un certificat d'attestation formelle délivré par un *radiopathologiste* qualifié ;
- l'attribution collective des effets ne peut se faire que par une estimation statistique suivie d'un certificat d'attestation formelle délivré par un *radioépidémiologiste* qualifié ;
- l'inférence subjective des effets pourrait nécessiter un avis consensuel d'un corps professionnel de spécialistes, principalement des radiobiologistes et des radioépidémiologistes agissant en tant que radioprotectionnistes, qui doivent exprimer leur « jugement d'expert » sur les risques, le cas échéant, ainsi que sur leurs incertitudes et leurs limitations ; ce jugement devrait être validé par des décisions réglementaires.

7.7. CONSÉQUENCES JURIDIQUES

La possibilité d'attribuer les effets sanitaires à des situations d'exposition spécifiques peut influencer la capacité d'imputer juridiquement des dommages par ceux qui ont subi les effets. L'imputation peut inclure l'attribution de la responsabilité de blessures physiques ou d'effets nocifs délibérément infligés à ceux qui causent l'exposition. Par exemple, les travailleurs peuvent imputer cette responsabilité à leurs employeurs ; et les membres du public peuvent l'imputer

aux exploitants d'installations opérant dans leur environnement. Cependant, la législation relative à l'attribution des effets sanitaires des rayonnements, à l'inférence du risque radiologique et, en particulier, à l'imputation des dommages est hétérogène, incohérente et contradictoire entre les pays ainsi que dans les affaires traitées par les juridictions d'un même pays. Une distinction importante résulte de la comparaison entre la législation jurisprudentielle et la législation codifiée.

Le substantif *imputation* et le verbe *imputer* sont d'un usage très courant dans de nombreuses juridictions (par exemple dans les régions juridiques d'Amérique latine). Toutefois, le recours à l'imputation n'est pas si courant dans certaines cultures juridiques (par exemple, dans certaines juridictions anglo-saxonnes). L'imputation et ses dérivés sont grammaticalement corrects, car ils signifient l'attribution d'une chose mauvaise (dans ce cas, une chose mauvaise causée par l'exposition aux rayonnements) à quelqu'un (par exemple, aux employeurs par les travailleurs exposés aux rayonnements, ou aux opérateurs d'installations utilisant des rayonnements par les membres affectés du public). En résumé, imputer signifie attribuer la culpabilité à quelqu'un, qu'il s'agisse d'une personne physique ou morale³⁴. D'autres termes connexes sont utilisés à des fins juridiques similaires, notamment les suivants : *poursuites judiciaires*, qui fait référence à l'engagement de procédures judiciaires à la suite d'une exposition aux rayonnements ; *accusation*, qui fait référence à l'attribution formelle d'une infraction à la loi (par exemple, la violation de règlements de radioprotection) ; *inculpation*, qui fait référence à l'attribution formelle d'un crime (par exemple, tuer une personne à l'aide des rayonnements) ; et, bien sûr, *jugement*, qui fait référence au verdict prononcé par un agent public nommé pour décider des affaires dans un tribunal. Il est souligné que les descriptions du présent chapitre sont applicables *mutatis mutandis* à tous ces concepts.

7.7.1. Législation jurisprudentielle

La législation jurisprudentielle fondée sur l'herméneutique jurisprudentielle se distingue de la législation codifiée par sa flexibilité. Cette législation peut facilement traiter des situations impliquant des effets déterministes et elle est souple pour l'interprétation de situations probabilistes telles que les dommages que l'on peut attribuer ou inférer suite à une exposition aux rayonnements à des doses modérées, faibles et très faibles.

³⁴ Le terme est dérivé du latin *imputare* qui signifie « porter au compte ».

Par exemple, dans certains pays où ce type de législation prévaut, le concept de *part assignée*³⁵ a été utilisé pour régler des cas d'imputation en raison de dommages radiologiques dus à des effets stochastiques.

La *part assignée* est égale à la fraction du nombre total de cas d'un type spécifique de cancer diagnostiqué chez des individus qui est supérieure au nombre de cas de référence pour les personnes qui partagent les mêmes attributs, comme la dose absorbée à un organe, l'âge, le temps écoulé depuis la dernière exposition, le sexe ou les antécédents de tabagisme. La part assignée est quantifiée comme le rapport entre l'*excès de risque relatif* et le *risque relatif*³⁶. La *part assignée* est souvent appelée « fraction attribuable » ou « probabilité de causalité », ce qui suppose que l'excès de risque relatif calculé représente les conséquences nettes des mécanismes de manifestation de la maladie pour un individu donné chez qui la maladie a été diagnostiquée.

7.7.2. Législation codifiée

De nombreux systèmes juridiques de grandes régions (par exemple, en Amérique latine) ont une législation « codifiée », c'est-à-dire une législation élaborée par un processus de compilation et de reformulation du droit, généralement par sujet, formant un code juridique, c'est-à-dire un codex du droit. Le mouvement de codification a pris de l'ampleur au cours du siècle des Lumières et s'est généralisé après la promulgation du Code Napoléon.

Le système juridique codifié empêche l'arbitraire et la discrimination, qui étaient il y a des années relativement répandus dans les régimes monarchiques autoritaires. Cependant, il faut reconnaître qu'un système juridique codifié est fondamentalement un système déterministe, un système qui est prédéterminé par la codification.

³⁵ L'expression *part assignée* fait référence à la probabilité qu'un effet sanitaire observé (déterministe ou stochastique) chez un individu soit causé par une exposition spécifique aux rayonnements.

³⁶ L'expression *risque relatif* désigne le rapport des taux de maladie dans différents groupes (par exemple, un groupe exposé et un groupe non exposé) ou pour différentes conditions d'exposition (par exemple, des personnes exposées à des débits de dose élevés et des personnes exposées à de faibles débits de dose) ; il est souvent utile de considérer le risque relatif comme une fonction de variables, telles que la dose, le sexe ou l'âge (il convient de noter que, bien que ce rapport soit communément appelé risque relatif, le terme est impropre ; il s'agit en fait d'un rapport de taux, tout comme les statistiques qui en sont dérivées) ; strictement, alors que les rapports concernés sont calculés statistiquement à partir des fréquences/taux observés, l'excès de risque relatif est une estimation prospective inférée des données et du raisonnement. L'*excès de risque relatif* correspond au *risque relatif* moins un, et il est souvent considéré comme une fonction de la dose et d'autres facteurs.

Par conséquent, le système juridique codifié est adapté pour traiter les situations d'exposition conduisant à des effets déterministes, étant donné qu'il existe des seuils de dose qui déterminent si un effet va nécessairement apparaître ou non, c'est-à-dire s'il est attribuable ou non. L'apparition de l'effet peut être attestée sans ambiguïté par un expert compétent ayant des références en radiopathologie et comme les sanctions peuvent être codifiées, l'imputation devient simple. Mais le système n'est pas complètement adapté pour traiter les situations probabilistes, en particulier les situations de faible probabilité, comme celles liées aux dommages possibles dus à une exposition aux rayonnements, lorsque les probabilités ne s'appuient même pas sur des fréquences réelles d'apparition, mais résultent simplement du « jugement subjectif d'experts », lequel n'est pas adapté à la codification. La législation codifiée est donc problématique quand il s'agit de résoudre des cas d'imputation d'effets stochastiques.

7.7.3. Imputation individuelle, imputation collective et imputation fictive

L'imputation des dommages liés à l'exposition aux rayonnements reste un casse-tête juridique. Elle pourrait être plus simple à résoudre dans les systèmes juridiques de type jurisprudentiel, au cas par cas, mais elle est particulièrement complexe avec une législation codifiée où les approches au cas par cas ne sont pas possibles. Comme illustré par la figure 7.4, les situations suivantes peuvent se présenter :

- Dans la région des doses élevées, l'imputation est directe de l'individu affecté au coupable.
- Dans la région des doses modérées, il semblerait que seule une imputation collective ou de groupe soit possible.
- Dans la région des doses faibles, la situation est au moins discutable. Est-il possible d'imputer les conséquences perçues des risques radiologiques sur la base de jugements subjectifs ?

Dans la région des doses élevées, les effets sanitaires individuels sont cliniquement attribuables et attestables, et l'imputation du dommage causé à l'individu affecté est donc possible. Dans la région des doses modérées, l'augmentation de l'incidence d'effets nocifs dans les groupes de population est épidémiologiquement attribuable et attestable, et l'imputation du dommage causé au groupe affecté est donc possible. Dans la région des faibles doses, dans laquelle les dommages causés par les rayonnements ne sont ni attribuables ni attestables, ni individuellement ni collectivement, mais où l'on peut aussi inférer un risque radiologique, la situation semble se trouver dans un vide juridique.

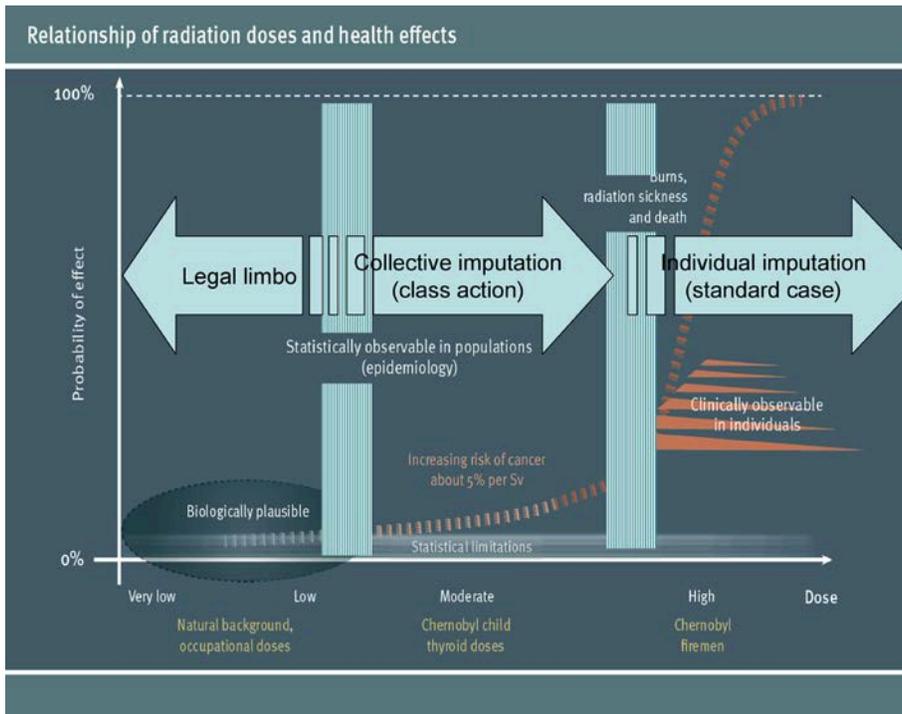


Fig. 7.4 Représentation schématique de la capacité d'imputation avec différentes doses d'exposition. Source : PNUE 2016, p. 25 (adaptée).

7.8. CONCLUSION

Après un long cheminement, il semble que la communauté scientifique soit parvenue, dans le cadre de l'UNSCEAR, à un consensus sur l'imputabilité des dommages aux situations d'exposition aux rayonnements. Cet important consensus scientifique devrait maintenant être converti en instruments juridiques concernant le problème de l'imputation juridique, et les questions connexes de poursuite, d'accusation, d'inculpation et de jugement, suite à des situations d'exposition aux rayonnements. Bien que, grâce à ces développements, le passage de l'attribution et de l'inférence scientifiques à l'imputation juridique ait fait l'objet de discussions préliminaires³⁷, celles-ci n'ont pas encore abouti à des approches universelles.

Le temps semble maintenant venu pour les experts juridiques de convertir en orientations juridiques les réalisations scientifiques sur l'attribution des effets

³⁷ González 2014a.

des rayonnements et l'inférence des risques radiologiques à la suite de situations d'exposition aux rayonnements.

Compte tenu des différences culturelles, réglementaires et législatives entre les pays, il est jugé prudent et nécessaire d'aborder cette question juridique au niveau international avec deux objectifs fondamentaux :

- a) favoriser une compréhension juridique commune de la politique relative aux dommages radiologiques attribués à des situations d'exposition aux rayonnements ;
- b) explorer la faisabilité d'une interprétation législative universelle pour réglementer l'application de la loi dans ces situations, laquelle pourrait servir de contribution potentielle aux différentes législations nationales.

La responsabilité incombe maintenant aux spécialistes du droit nucléaire.

RÉFÉRENCES

- Cardis E, Krewski D, Boniol M, Drozdovitch V, Darby S C, Gilbert E S, Akiba S, Benichou J, Ferlay F, Gandini S, Hill C, Howe G, Kesminiene A, Moser M, Sanchez M, Storm H, Voisin L, Boyle P (2006) Estimates of the Cancer Burden in Europe from Radioactive Fallout from the Chernobyl Accident. *International Journal of Cancer* 119:1224–35.
- González A. J. (1993), Les conséquences radiologiques de Tchernobyl sur la santé : le dilemme de la causalité. *In* : Accidents nucléaires : responsabilité et garanties. OCDE/AEN, Paris.
- González A J (2002) The debate on the health effects attributable to low radiation exposure. *Pierce Law Review* 1:39–67.
- González A J (2011) Epistemology on the Attribution of Radiation Risks and Effects to Low Radiation Dose Exposure Situations. *International Journal of Low Radiation* 8.
- González A J (2014a) Key Note Address: Imputability of Health Effects to Low-Dose Radiation Exposure Situations. *In*: Manóvil R M (ed) *Nuclear Law in Progress*. Legis Argentina S.A., Buenos Aires.
- González A J (2014b) Clarifying the Paradigm on Radiation Effects & Safety Management: UNSCEAR Report on Attribution of Effects and Inference of Risks. *Nuclear Engineering and Technology* 46:467–474.
- González A J (2014c) Clarifying the Paradigm for Protection Against Low Radiation Doses: Retrospective Attribution of Effects Vis-à-Vis Prospective Inference of Risk. *Radiation Protection in Australasia* 31:2–12.
- González A J, Akashi M, Boice Jr J D, Chino M, Homma T, Ishigure N, Kai M, Kusumi S, Lee J-K, Menzel H-G, Niwa O, Sakai K, Weiss W, Yamashita S, Yonekura Y (2013) Radiological Protection Issues Arising During and After the Fukushima Nuclear Reactor Accident. *Journal of Radiological Protection* 33:497–571.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1996) One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2015), L'accident de Fukushima Daiichi. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2016), Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements : Normes fondamentales internationales de sûreté. Coparrainées par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, la Commission européenne, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation mondiale de la Santé, l'Organisation panaméricaine de la Santé et le Programme des Nations Unies pour l'environnement. N° GSR Part 3 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Report of the 2018 International Symposium on Communicating Nuclear and Radiological Emergencies to the Public. <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/01/cn-265-report.pdf>, page consultée le 3 octobre 2021.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2005) Low dose Extrapolation of Radiation-Related Cancer Risk. Elsevier, Amsterdam.
- Commission internationale de protection radiologique (CIPR), Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique, Publication 103, Lavoisier, Paris, 2009.
- International Labour Organization (ILO), International Atomic Energy Agency (IAEA), World Health Organization (WHO) (2010) Approaches to Attribution of Detrimental Health Effects to Occupational Ionizing Radiation Exposure and Their Application in Compensation Programmes for Cancer: A Practical Guide. ILO, Geneva.
- Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (OCDE/AEN) (1993) Accidents nucléaires : responsabilité et garanties. OCDE/AEN, Paris.
- Ten Hoeve J E, Jacobson M Z (2012) Worldwide Health Effects of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. *Energy & Environmental Science* 5:8743–57.
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (2016), Radiation : Effets et sources. Nairobi, Kenya.
- Assemblée générale des Nations Unies (2012), Effets des rayonnements ionisants, A/RES/67/112.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2008) Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.II.pdf, page consultée le 3 octobre 2021.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2012) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Report.pdf, page consultée le 3 octobre 2021.

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2013) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.II.pdf, page consultée le 3 octobre 2021.
- Waltar A E, Brooks A L, Cuttler J M, Feinendegen L E, González A J, Morgan W F (2016) The High Price of Public Fear of Low-Dose Radiation. *Journal of Radiological Protection* 36:387
- Yablokov A V, Nesterenko V B, Nesterenko A V (2010) Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. In: Sherman-Nevinger J D (ed) *Annals of the New York Academy of Sciences*. Blackwell, Boston.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

8. EFFICACITÉ DU RÉGIME MONDIAL DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE ET CAPACITÉ DES ÉTATS À L'APPLIQUER COMPTE TENU DE L'ARRIVÉE PROCHAINE DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES AVANCÉS

Bonnie Denise Jenkins

Résumé L'arrivée prochaine de petits réacteurs modulaires et d'autres réacteurs nucléaires avancés peut fortement aider le monde à atteindre la sécurité énergétique et les objectifs relatifs au changement climatique. La question essentielle est de savoir si ces nouveaux types de réacteurs remettent sensiblement en cause les hypothèses fondamentales sur lesquelles repose le régime de sécurité nucléaire en vigueur. La Convention sur la protection physique des matières nucléaires et son amendement (A/CPPMN) sont les seuls instruments internationaux juridiquement contraignants qui régissent la protection physique des matières et installations nucléaires. L'A/CPPMN et les orientations internationales relatives à la sécurité nucléaire forment conjointement le cadre juridique actuel de la sécurité nucléaire. Dans le présent chapitre, on examine si l'A/CPPMN prend bien en compte les réacteurs avancés et si les États qui envisagent d'acquérir ces nouveaux types de réacteurs ont la capacité de mettre réellement en œuvre les prescriptions juridiques, les normes réglementaires et les orientations internationales qui accompagnent de telles innovations. L'analyse porte sur le rôle de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), sur les orientations de l'AIEA en matière de sécurité nucléaire et sur les questions de cybersécurité.

Mots clés Convention sur la protection physique des matières nucléaires (CPPMN) • Amendement à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires • Protection physique • Petits réacteurs modulaires (PRM) • Réacteurs nucléaires avancés • Cybersécurité • Collection Sécurité nucléaire de l'AIEA • États fournisseurs • Fournisseurs

8.1. INTRODUCTION

Lorsque l'utilisation de l'énergie nucléaire s'est répandue dans les années 1960 et 1970, la communauté internationale a de plus en plus pris conscience de la nécessité d'adopter des pratiques communes pour assurer la sécurité physique des matières nucléaires qui sont utilisées à des fins civiles. À l'époque, les réacteurs à eau ordinaire étaient les seuls types de réacteurs civils à être commercialisés à grande échelle, et la communauté internationale a cherché à élaborer des accords, des règlements et des orientations sur la sécurité nucléaire en tenant compte de cette situation. À long terme, il semble probable que, au cours des prochaines décennies, les réacteurs à eau ordinaire perdront leur prédominance au profit des réacteurs avancés, y compris des petits réacteurs modulaires (PRM). Les spécialistes qui sont responsables de l'efficacité à long terme du régime mondial de sécurité nucléaire doivent donc se demander si le régime en vigueur devra être actualisé. La question essentielle est de savoir si ces nouveaux types de réacteurs remettent sensiblement en cause les hypothèses fondamentales sur lesquelles repose le régime de sécurité nucléaire en vigueur. Le champ d'application de la convention internationale concernée, la Convention sur la protection physique des matières nucléaires et son amendement (A/CPPMN)¹, est-il suffisamment large pour que ses dispositions s'appliquent aux réacteurs avancés ? Les autres orientations internationales pertinentes sont-elles suffisamment larges ? Les États qui envisagent d'acquiescer ces nouveaux types de réacteurs auront-ils la capacité de mettre réellement en œuvre les prescriptions juridiques, les normes réglementaires et les orientations internationales qui accompagnent de tels produits ?

Pour étudier ces questions, nous devons tout d'abord examiner l'A/CPPMN et les orientations internationales connexes, qui forment conjointement le cadre juridique actuel. La seconde question essentielle concerne la capacité des États à assumer la responsabilité au premier chef de la sécurité physique des matières et des installations nucléaires placées sous leur juridiction lorsque ces nouveaux réacteurs deviendront une réalité. En définitive, nous pensons qu'il n'est pas nécessaire de procéder à une révision générale du régime de sécurité nucléaire en vigueur et des orientations correspondantes pour tenir compte des nouveaux types de réacteurs nucléaires civils, et souhaitons exposer les raisons de cette conclusion.

¹ Convention sur la protection physique des matières nucléaires, ouverte à la signature le 3 mars 1980 et entrée en vigueur le 8 février 1987 (CPPMN) ; Amendement à la CPPMN, entré en vigueur le 8 mai 2016.

8.2. EXAMEN DES PRINCIPALES COMPOSANTES INTERNATIONALES DU RÉGIME MONDIAL DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

8.2.1. Convention sur la protection physique des matières nucléaires et amendement à cette convention

Pour répondre au besoin croissant de définir des normes internationales communes permettant d'assurer une sécurité physique satisfaisante pour le transport international des matières nucléaires, la CPPMN a été ouverte à la signature le 3 mars 1980 ; elle est entrée en vigueur le 8 février 1987. À la fin des années 1990, et surtout à la suite des attentats du 11 septembre 2001, un grand nombre d'États qui détiennent des matières nucléaires ont reconnu qu'il fallait élargir le champ d'application de la CPPMN pour assurer la protection physique de ces matières en cours d'utilisation, en entreposage et en cours de transport sur le territoire national, ainsi que la protection des matières et installations nucléaires contre le sabotage. Les États parties à la CPPMN ont donc adopté par consensus un amendement à la Convention le 8 juillet 2005. Cet amendement est entré en vigueur le 8 mai 2016, conformément à l'article 20.2 de la Convention. La Convention et son amendement forment conjointement la seule convention internationale juridiquement contraignante qui régit la protection physique des matières et installations nucléaires. Sur la question des réacteurs nucléaires avancés, il est essentiel de souligner que, contrairement à la CPPMN, l'A/CPPMN couvre les installations nucléaires.

Lorsque l'on étudie la question de savoir si l'A/CPPMN prend bien en compte les réacteurs avancés, il faut examiner les articles premier, 2 et 2 A, qui portent sur son champ d'application. Le paragraphe d) de l'article premier définit l'« installation nucléaire », comme « une installation (y compris les bâtiments et équipements associés) dans laquelle des matières nucléaires sont produites, traitées, utilisées, manipulées, entreposées ou stockées définitivement, si un dommage causé à une telle installation ou un acte qui perturbe son fonctionnement peut entraîner le relâchement de quantités significatives de rayonnements ou de matières radioactives² ». L'article 2 stipule que la Convention « s'applique aux matières nucléaires utilisées à des fins pacifiques en cours d'utilisation, en entreposage et en cours de transport et aux installations nucléaires utilisées à des fins pacifiques³ ». Aux termes de l'article 2 A, chaque État partie « élabore, met en œuvre et maintient un système approprié de protection physique des matières et installations nucléaires sous sa juridiction ayant pour objectifs :

² Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

³ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

a) [d]e protéger les matières nucléaires en cours d'utilisation, en entreposage et en cours de transport contre le vol et l'obtention illicite par d'autres moyens ; [...]
c) [d]e protéger les matières et installations nucléaires contre le sabotage⁴ ». Le paragraphe 3 de l'article 2 A impose également à chaque État partie d'appliquer un ensemble de principes fondamentaux de protection physique des matières et installations nucléaires.

Plusieurs de ces principes fondamentaux portent sur la nature de l'installation nucléaire concernée. Selon le principe fondamental F (Culture de sécurité), « [t]outes les entités impliquées dans la mise en œuvre de la protection physique devraient accorder la priorité requise à la culture de sécurité, à son développement et à son maintien, nécessaires pour assurer sa mise en œuvre effective à tous les échelons de chacune de ces entités⁵ ». Le principe fondamental G (Menace) stipule que la protection physique dans un État « devrait être fondée sur l'évaluation actuelle de la menace faite par l'État⁶ ». Le principe fondamental H (Approche graduée) stipule notamment que les prescriptions concernant la protection physique « devraient être établies selon une approche graduée qui tienne compte de l'évaluation actuelle de la menace [...] et des conséquences qui pourraient résulter [...] d'un acte de sabotage contre [...] des installations nucléaires⁷ ». Selon le principe fondamental I (Défense en profondeur), les prescriptions nationales concernant la protection physique « devraient être l'expression d'un concept reposant sur plusieurs niveaux et modalités de protection [...] qui doivent être surmontés ou contournés par un agresseur pour atteindre ses objectifs⁸ ».

Les prescriptions pertinentes ayant été répertoriées, nous devons maintenant examiner si l'une d'entre elles montre que des changements sont nécessaires pour tenir compte des futurs modèles de réacteurs avancés. La définition de l'« installation nucléaire » qui figure à l'article premier de l'A/CPPMN ne fait référence à aucun type de technologie nucléaire ni au mode de fonctionnement du réacteur. Les prescriptions de l'article 2 n'imposent pas non plus de telles limites. De même, les prescriptions de l'article 2 A qui concernent spécifiquement le vol, l'obtention illicite ou le sabotage ne prévoient en aucune manière de limitation de leur champ d'application en fonction du type d'installation ou de réacteur. Les principes fondamentaux F, G, H et I contiennent donc tous des formules suffisamment générales pour qu'il ne soit pas nécessaire de les modifier afin de tenir compte des nouveaux réacteurs.

⁴ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

⁵ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

⁶ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

⁷ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

⁸ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 1.

Aucune révision de l'A/CPPMN ne serait donc requise pour qu'il s'applique aux futurs réacteurs avancés.

8.2.2. Publication INFCIRC/225/Rev.5

En 1975, le Directeur général de l'AIEA a réuni un groupe d'experts pour examiner un projet de brochure contenant des recommandations à l'intention des États Membres concernant la protection physique des matières nucléaires⁹. Ces recommandations ont ultérieurement été mises à jour et portées à l'attention des États Membres de l'AIEA ; il s'agit de la publication INFCIRC/225¹⁰, parue en septembre 1975. Par la suite, cette circulaire d'information a été actualisée et sa portée a été élargie de manière notable. La version actuelle a été publiée sous le titre *Recommandations de sécurité nucléaire sur la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (INFCIRC/225/Rev.5)*¹¹ en novembre 2011. La publication INFCIRC/225/Rev.5 contient l'ensemble de recommandations de l'AIEA le plus approfondi et le plus complet concernant la protection physique des matières et installations nucléaires. Elle constitue un grand pas en avant, car elle donne pour la première fois des orientations sur plusieurs sujets nouveaux, notamment la protection des systèmes numériques utilisés pour la protection physique, la sûreté nucléaire et la comptabilité et le contrôle des matières nucléaires contre les cyberattaques¹². Cette cinquième révision mentionne également les inquiétudes que suscitent les menaces internes et souligne l'importance de développer une culture de sécurité appropriée dans le cadre du programme nucléaire d'un État¹³.

Tandis que les sections 1 et 2 sont de nature introductive, la section 3 de la publication INFCIRC/225/Rev.5 énumère les éléments d'un régime national de protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires et correspond aux principes fondamentaux qui figurent dans l'A/CPPMN. La manière dont ces éléments sont appliqués dépend du type d'installation nucléaire concerné. La section 3 recommande d'établir une évaluation de la menace et, s'il y a lieu, une menace de référence. Elle recommande aussi que les prescriptions concernant la protection physique soient établies selon une approche graduée qui tienne compte de la nature des matières nucléaires et des conséquences qui pourraient résulter de l'enlèvement non autorisé de telles matières et d'un acte de

⁹ AIEA 1975.

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ AIEA 2011.

¹² Bunn *et al.* 2020.

¹³ *Ibid.*

sabotage contre des matières ou une installation nucléaires¹⁴. Elle recommande enfin que ces prescriptions soient l'expression d'un concept reposant sur plusieurs niveaux de protection qui doivent être surmontés par un agresseur¹⁵, et souligne la nécessité d'accorder la priorité au développement et au maintien d'une culture de sécurité¹⁶.

La section 4 de la publication INFCIRC/225/Rev.5 présente de manière plus détaillée les prescriptions applicables aux mesures à prendre contre l'enlèvement non autorisé des matières nucléaires en cours d'utilisation ou d'entreposage. La section 4.9 recommande que le système de protection physique d'une installation nucléaire soit intégré et efficace à la fois contre le sabotage et l'enlèvement non autorisé¹⁷. Les sections 4.13 à 4.49 énumèrent les recommandations de sécurité physique qui concernent les installations abritant des matières de catégorie I, mais elles ne s'appliquent pas à un type particulier de réacteur. La section 5 présente les prescriptions applicables aux mesures à prendre contre le sabotage des installations nucléaires et des matières nucléaires en cours d'utilisation ou d'entreposage. Elle met en évidence plusieurs moyens permettant de concevoir un système de protection physique qui peut atténuer les risques de sabotage¹⁸. Cette section évoque aussi plusieurs questions relatives à l'aménagement (comme la création de zones distinctes expressément définies, ou les barrières d'arrêt des véhicules installées à une distance appropriée des zones vitales), mais aucune ne touche uniquement un type de réacteur particulier¹⁹.

En résumé, un examen détaillé des dispositions particulières qui figurent dans les sections 3 à 5 de la publication INFCIRC/225/Rev.5 montre que, si de nombreuses recommandations portent sur la construction et l'exploitation d'une installation nucléaire, aucune disposition ne s'applique qu'à un certain type d'installation nucléaire. Aucun changement ne devrait donc être apporté à la publication INFCIRC/225/Rev.5 pour tenir compte des modèles de réacteurs avancés.

8.2.3. Collection Sécurité nucléaire de l'AIEA

En mars 2002, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a approuvé le premier « Plan sur la sécurité nucléaire (pour 2002-2005)²⁰ ». Ce plan prévoyait

¹⁴ AIEA 2011.

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ AIEA 2011, par. 5.25 à 5.31.

²⁰ Comité des orientations sur la sécurité nucléaire de l'AIEA, Rapport du Président sur le premier mandat de trois ans du Comité (2012-2014), p. 6.

l'élaboration de « normes, de lignes directrices et de recommandations » pour l'ensemble du périmètre élargi des activités de l'Agence relatives à la sécurité nucléaire, tel qu'il avait été approuvé par le Conseil²¹. La même année, le Directeur général de l'AIEA a créé un groupe d'experts, le Groupe consultatif sur la sécurité nucléaire (AdSec), pour donner des avis sur la teneur et l'ordre de priorité des activités de l'Agence relatives à la sécurité nucléaire. Une fois le Plan adopté par le Conseil, l'AdSec a immédiatement participé à l'élaboration de ces normes, de lignes directrices et de recommandations²². Sur la recommandation de l'AdSec, le Comité des publications de l'AIEA a approuvé le lancement de la collection Sécurité nucléaire en 2004²³. Depuis 2006, les publications de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA se répartissent entre les quatre catégories suivantes :

- les Fondements de la sécurité nucléaire, qui énoncent les objectifs, les concepts et les principes de la sécurité nucléaire et sont à la base des recommandations en matière de sécurité ;
- les Recommandations, qui présentent les pratiques exemplaires que les États Membres devraient adopter pour la mise en œuvre des Fondements de la sécurité nucléaire ;
- les Guides d'application, qui complètent les Recommandations dans certains grands domaines et proposent des mesures pour en assurer la mise en œuvre ;
- les Orientations techniques, comprenant les Manuels de référence, qui présentent des mesures détaillées et/ou donnent des conseils pour la mise en œuvre des Guides d'application dans des domaines ou des activités spécifiques ; les Guides de formation, qui présentent les programmes et/ou les manuels des cours de formation de l'AIEA dans le domaine de la sécurité nucléaire ; et les Guides des services, qui donnent des indications concernant la conduite et la portée des missions consultatives de l'AIEA sur la sécurité nucléaire²⁴.

Les Fondements de la sécurité nucléaire et les Recommandations sont des publications de haut niveau, qui ne sont donc pas suffisamment détaillées pour s'appliquer à un modèle particulier de réacteur. Les Guides d'application et les Orientations techniques étant par nature plus précis, il est judicieux d'examiner quelques-unes des publications les plus susceptibles de remplir ce critère.

²¹ *Ibid.*

²² *Ibid.*

²³ *Ibid.*

²⁴ *Ibid.*

Le Guide d'application n° 8-G (Rev. 1) de la collection Sécurité nucléaire, intitulé *Mesures de prévention et de protection contre les menaces internes*, présente des mesures de protection précises qui concernent la détection, le retardement, les interventions et les plans d'urgence, mais aucune disposition ne s'applique à un type particulier de réacteur²⁵. Le Guide d'application n° 10-G (Rev. 1) de la collection Sécurité nucléaire, intitulé *National Nuclear Security Threat Assessment, Design Basis Threats and Representative Threat Statements* (Évaluation de la menace contre la sécurité nucléaire nationale, menaces de référence et énoncés de la menace représentative), donne des orientations sur la conduite d'évaluations de la menace et sur l'élaboration et l'actualisation d'une menace de référence pour une installation particulière, mais ne contient aucune recommandation propre à un certain type de réacteur²⁶. Le Guide d'application n° 27-G de la collection Sécurité nucléaire, intitulé *Protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (Guide d'application de la publication INFCIRC/225/Révision 5)*, constitue le principal guide d'application au sein d'une série d'orientations fournies aux États concernant l'application des recommandations qui figurent dans la publication INFCIRC/225/Rev.5. Il n'atteint toutefois pas un niveau de précision tel que des formules dépendant du type de réacteur sont employées. Par conséquent, comme pour l'A/CPPMN et la publication INFCIRC/225/Rev.5, toutes les dispositions qui figurent dans les orientations de la collection Sécurité nucléaire sont suffisamment larges pour tenir compte des réacteurs nucléaires avancés.

Dans l'ensemble, les accords juridiquement contraignants et les orientations adoptés par la communauté internationale sont suffisamment larges pour prendre en compte les technologies nucléaires avancées. Cela étant, des complications peuvent apparaître dans la manière dont les États mettent en œuvre les prescriptions et les orientations mentionnées plus haut en faisant réellement face aux problèmes et aux risques relatifs à la sécurité nucléaire qui existent sur leur territoire. Lorsque les États construiront et exploiteront ces nouveaux réacteurs, des enseignements seront tirés et il pourra s'avérer utile de disposer d'orientations actualisées ou supplémentaires sous forme de Guide d'application ou d'Orientations techniques.

8.2.4. Cybersécurité

En dehors de la Convention et des orientations connexes mentionnées plus haut, il y a une question spécifique qui mérite une attention particulière : la cybersécurité. À l'heure actuelle, il est prévu que l'automatisation numérique

²⁵ AIEA 2021a.

²⁶ AIEA 2021b.

fasse partie intégrante du fonctionnement de tous les modèles de réacteurs nucléaires avancés. Par suite de cette automatisation, les risques de cyberincident augmentent. L'AIEA a déjà publié plusieurs Guides d'application et Orientations techniques sur la question (où la cybersécurité est appelée sécurité informatique). Ceux-ci portent directement ou indirectement sur la mise au point de techniques d'atténuation des risques liés à la cybersécurité. Les Guides d'application et les Orientations techniques existants sont rédigés de manière suffisamment générale pour s'appliquer aux réacteurs avancés, mais, à mesure que ces nouveaux réacteurs seront mis en service, l'AIEA et ses États Membres devraient prendre en considération les avantages de l'élaboration de Guides d'application ou d'Orientations techniques supplémentaires concernant les problèmes spécifiques de cybersécurité que présente la sécurité physique des modèles de réacteurs avancés.

8.3. EXAMEN DE LA CAPACITÉ DES ÉTATS À APPLIQUER DE NOUVELLES PRESCRIPTIONS OU À METTRE EN ŒUVRE DE NOUVELLES ORIENTATIONS EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

En dehors de l'étude de l'applicabilité des prescriptions juridiques internationales et des recommandations relatives à la sécurité nucléaire aux modèles de réacteurs avancés, la seconde question essentielle est de savoir si les États qui envisagent d'acquérir ces nouveaux réacteurs auront la capacité de mettre réellement en œuvre les prescriptions juridiques, les normes réglementaires et les orientations complémentaires qui les accompagnent. La responsabilité de la création, de l'application et du maintien d'un régime de protection physique incombant entièrement à l'État, si ce dernier n'en a pas la capacité, quels sont les moyens permettant de l'aider à l'acquérir ? Le régime mondial de sécurité nucléaire est solide, mais il est constamment nécessaire de renforcer les cadres législatifs et réglementaires nationaux.

8.3.1. Rôle des États fournisseurs et des fournisseurs

Dans le cadre de la conception et de la construction de nouveaux types de réacteurs, les États fournisseurs (par l'intermédiaire de l'autorité qui délivre les licences) et les fournisseurs doivent être attentifs à tous les aspects d'un système de sécurité nucléaire adéquat, notamment la culture de sécurité, la menace (y compris l'élaboration d'une menace de référence appropriée), l'approche graduée et la défense en profondeur, comme on l'a vu plus haut. En tant que représentantes des gouvernements, les autorités qui délivrent les licences portent

en dernier ressort la responsabilité de veiller à ce que les réacteurs fournis soient conformes aux normes internationales les plus rigoureuses en matière de sûreté, de sécurité et de non-prolifération. Elles ont donc une obligation renforcée et particulière de faire en sorte que les questions de sécurité physique propres à ces nouveaux réacteurs soient prises en compte dans le cadre de leurs décisions. Elles devraient expliquer spontanément aux fournisseurs l'importance de tenir compte des principes de la culture de sécurité, de la menace, de l'approche graduée et de la défense en profondeur pour la conception de leurs réacteurs. De même, les fournisseurs devraient être encouragés à consulter l'autorité qui délivre les licences à un stade précoce afin de s'assurer que les modèles de réacteurs sont conformes aux prescriptions juridiques et aux orientations internationales.

Les États-Unis d'Amérique prennent ces responsabilités très au sérieux et se préparent aux conséquences de l'arrivée des réacteurs avancés sur la sécurité nucléaire depuis de nombreuses années. La Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis (NRC) s'est intéressée aux conséquences de l'arrivée de ces réacteurs sur la délivrance des licences et a créé plusieurs groupes de travail internes pour étudier ces conséquences et sa capacité à examiner les demandes de licences de manière exhaustive et en temps voulu. En 2019, elle a estimé qu'elle devait modifier sa réglementation en établissant des prescriptions plus précises pour les réacteurs avancés en matière de sécurité physique. Cette décision visait à définir clairement un ensemble de prescriptions et d'orientations pour la sécurité physique des réacteurs avancés et à améliorer la stabilité, la prévisibilité et la clarté de la réglementation pour les demandeurs de licences relatives à des réacteurs avancés²⁷.

En collaboration avec la NRC, l'industrie nucléaire américaine s'est engagée dès 2015 à faire face aux futures évolutions des pratiques de sécurité nucléaire qui résulteront de l'essor des techniques nucléaires avancées. L'Institut de l'énergie nucléaire des États-Unis, organisme financé par le secteur nucléaire et installé à Washington, a publié deux livres blancs, respectivement en novembre 2015 et en décembre 2016, dans lesquels il proposait de nouvelles prescriptions pour les modèles de réacteurs avancés en matière de sécurité physique et invitait instamment la NRC à se servir de ces documents pour établir des règles. La NRC continue de collaborer avec l'industrie nucléaire américaine pour élaborer ces règles.

La coopération bilatérale dans ce domaine permet à des États dotés de centrales nucléaires de disposer des outils dont ils ont besoin. Pour leur part, les États-Unis fournissent, sous des formes très diverses, une aide bilatérale et multilatérale en matière de sécurité nucléaire. Depuis des dizaines d'années, des experts techniques du Ministère de l'énergie des États-Unis et de la NRC sont

²⁷ Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis 2019.

en contact avec des partenaires étrangers pour contribuer à assurer la sécurité des installations nucléaires de ces partenaires. Ils prévoient de poursuivre ce type de coopération à l'avenir, à mesure que de nouveaux modèles de réacteurs apparaîtront. En matière de coopération nucléaire, les États-Unis entretiennent des contacts bilatéraux avec des partenaires qui étudient les perspectives offertes par les réacteurs avancés. En avril 2021, au Sommet des dirigeants sur le climat, la Maison Blanche a annoncé la toute dernière initiative américaine à cet égard, baptisée programme FIRST (Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology). Ce programme permet de renforcer les capacités conformément à l'approche par étapes de l'AIEA, afin que les pays partenaires puissent bénéficier des technologies nucléaires avancées et atteindre leurs objectifs en matière d'énergie propre, dans le respect des normes de sécurité, de sûreté et de non-prolifération nucléaires les plus rigoureuses.

8.3.2. Rôle de l'Agence internationale de l'énergie atomique

En dehors des partenariats bilatéraux et des partenariats public-privé décrits plus haut, l'AIEA devra aussi jouer un rôle essentiel en aidant les États, à leur demande, à s'acquitter de leurs obligations relatives à la sécurité physique pour les installations qui abriteront des réacteurs avancés.

L'Agence devrait être prête à fournir des services consultatifs dans le cadre de missions du Service consultatif international sur la protection physique (IPPAS) et du Service consultatif international sur la sécurité nucléaire (INSServ). Elle devrait également proposer aux États Membres intéressés des formations sur certains problèmes précis que posent les modèles de réacteurs avancés. Enfin, à mesure que les utilisateurs de ces nouvelles technologies acquerront plus d'expérience dans le monde entier, l'AIEA devrait s'efforcer de servir non seulement de dépositaire de la sagesse collective, mais aussi de propagateur d'orientations et de bonnes pratiques à tous les utilisateurs par diverses activités de sensibilisation. Les États Membres de l'AIEA devraient faire en sorte que celle-ci dispose de moyens suffisants pour élaborer les orientations nécessaires et organiser des formations appropriées et fournir des services consultatifs, afin d'aider les États Membres qui décident de bénéficier de ces technologies.

8.4. CONCLUSION

L'arrivée prochaine de petits réacteurs modulaires et d'autres réacteurs avancés peut fortement aider le monde à atteindre la sécurité énergétique et les objectifs relatifs au changement climatique. Pour que ces nouveaux réacteurs y contribuent, tous les acteurs du monde de la coopération nucléaire civile doivent

participer activement à cette entreprise. Heureusement, le régime mondial de sécurité nucléaire en vigueur permet déjà de recueillir plus facilement ces avantages. Pour que les États puissent en profiter, ils doivent collaborer avec les États fournisseurs, les fournisseurs et l’AIEA. C’est uniquement par les efforts sérieux et concertés de chaque personne concernée que nous pourrions faire en sorte que, au moment où ces nouveaux réacteurs seront commercialisés, les États disposeront des outils permettant d’assurer une sécurité physique satisfaisante dans les installations qui les abriteront.

RÉFÉRENCES

- Bunn M, Holgate L, Kovchegin D, Tobey W (2020) IAEA Nuclear Security Recommendations (INFCIRC/225): The Next Generation. <https://www.stimson.org/2020/iaea-nuclear-security-recommendations-infcirc-225-the-next-generation>, page consultée le 11 octobre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1975) The Physical Protection of Nuclear Material, INFCIRC/225. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (2011), Recommandations de sécurité nucléaire sur la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (INFCIRC/225/Révision 5), n° 13 de la collection Sécurité nucléaire de l’AIEA. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (2021a), Mesures de prévention et de protection contre les menaces internes, n° 8-G (Rev. 1) de la collection Sécurité nucléaire de l’AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021b) Development, Use and Maintenance of the Design Basis Threat, IAEA Nuclear Security Series No. 10-G (Rev. 1). IAEA, Vienna.
- United States Nuclear Regulatory Commission (2019) Physical Security for Advanced Reactors – Regulatory Basis for Public Comment.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu’ils représentent.

9. CRÉATION D'UN RÉGIME DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE : LES QUESTIONS À EXAMINER

Régine Gaucher, Thomas Languin et Erik Ducouso

Résumé Le présent chapitre expose certaines des principales questions qu'un État doit se poser lorsqu'il envisage de lancer un programme nucléaire et donc de créer un régime de sécurité nucléaire. Dans le contexte de la mondialisation et de l'émergence d'un monde où les États sont interdépendants, on constate que la manière dont un État s'acquitte de sa mission consistant à protéger les matières et les activités nucléaires concerne aussi les autres États. Compte tenu de cette situation, et même si les États répugnent à exposer leurs pratiques souveraines en matière de sécurité, un cadre international, composé d'instruments juridiquement contraignants et d'instruments non contraignants, a été mis en place afin de favoriser une plus grande cohérence et de donner des garanties à tous les États. Outre la sécurité nucléaire, l'État concerné doit également connaître le contexte national et international dans lequel il se situe. Au vu des problèmes de sécurité et du principe fondamental de la souveraineté nationale, il doit ensuite s'interroger sur les notions incontournables qui apparaissent dans certaines composantes des activités nucléaires, comme la création d'une autorité compétente, la protection des informations, la transparence ou le rôle de l'exploitant.

Mots clés Sécurité nucléaire • Régime de sécurité nucléaire • Évaluation de la menace • Menace de référence • Cadre international • Cadre législatif et réglementaire • Souveraineté et responsabilité nationales • Convention sur la protection physique des matières nucléaires (CPPMN) • Amendement de 2005 à la CPPMN • Approche normative • Approche fondée sur les résultats • Transport • Confidentialité

9.1. INTRODUCTION

L'énergie nucléaire, et plus particulièrement l'énergie nucléaire civile, amène un État à prendre en compte plusieurs aspects lorsqu'il envisage de mettre en place des installations ou des activités nucléaires à des fins industrielles (électronucléaire, par exemple), médicales ou scientifiques. La prévention du risque de conséquences inacceptables pour la population et l'environnement est l'un des éléments fondamentaux qu'un État doit constamment prendre en considération dans le cadre de son programme nucléaire. Cet élément

fondamental se compose de trois branches : sûreté nucléaire et radioprotection, utilisation pacifique de l'énergie nucléaire (garanties) et sécurité nucléaire.

La sécurité nucléaire est apparue pendant la guerre froide, lorsque la principale menace était l'utilisation de matières nucléaires pour fabriquer des armes nucléaires. Cette situation a conduit à la création d'un cadre international de lutte contre la prolifération nucléaire (surtout depuis la signature du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, qui est entré en vigueur en 1970¹). Ce cadre définit les obligations qu'un État doit respecter pour prouver que ses installations et les activités nucléaires qu'il mène ne font pas l'objet d'une utilisation abusive, et qu'il ne détourne pas de matières nucléaires des utilisations pacifiques. En complément du principe des garanties, la sécurité nucléaire est apparue pour prévenir le risque que des personnes malveillantes volent ou détournent des matières nucléaires. Ultérieurement, cette notion a été élargie à tous les actes malveillants et à tous les actes de terrorisme qui peuvent avoir des conséquences radiologiques. Il s'agit notamment du sabotage de matières nucléaires et d'autres matières radioactives, de leurs installations et de leur transport, ainsi que du risque de vol ou de détournement pour fabriquer des engins à dispersion de radioactivité. Il est donc généralement admis que l'expression « sécurité nucléaire » englobe la prévention et la détection des vols, des actes de sabotage, des accès non autorisés, du trafic illicite et de tout autre acte malveillant où entrent en jeu des matières nucléaires, des matières radioactives ou des installations nucléaires, ainsi que les interventions correspondantes.

À l'échelle internationale, les dernières décennies ont été marquées par une universalisation des problèmes et ont fait apparaître un monde où les États sont de plus en plus interdépendants sur le plan économique, politique et social. Le multilatéralisme est donc une nécessité pour résoudre certains de ces problèmes.

Le secteur nucléaire est particulièrement concerné par cette affirmation, en raison de son universalisation et du fait que les risques ne s'arrêtent pas aux frontières d'un État. Le terrorisme est un mode d'action et parfois aussi un objectif. Aucun État ne peut y échapper. Chacun doit donc être prêt à faire face à cette menace extrêmement évolutive, qui surveille et exploite la moindre innovation technique. L'industrie nucléaire peut être une cible de choix pour ce type d'action, non seulement à cause des conséquences, mais aussi à cause des séquelles pour la population. Le terrorisme nucléaire peut donc prendre différentes formes.

En raison de l'universalisation des problèmes nucléaires, on admet généralement que la manière dont un État s'acquitte de sa mission consistant à protéger les matières nucléaires, les matières radioactives et les installations

¹ Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968 et entré en vigueur le 5 mars 1970 (TNP).

nucléaires concerne aussi les autres États. Au cours des 30 dernières années, plusieurs instruments internationaux (juridiquement contraignants, tels la Convention sur la protection physique des matières nucléaires et son amendement de 2005², ou non contraignants, comme des codes de conduite ou les publications de la collection de l'AIEA consacrée aux recommandations de sécurité nucléaire) ont donc été élaborés. Ce cadre international vise aussi bien à aider les États à renforcer leur régime de sécurité nucléaire qu'à donner des garanties aux autres États. Il faut ainsi particulièrement veiller à la cohérence des dispositions adoptées dans ce domaine très complexe.

Il importe toutefois de noter que ce qui relève de la sécurité nationale est assujéti au principe fondamental de la souveraineté de l'État. Même si elles répondent à des objectifs internationaux, les mesures de sécurité nucléaire qui sont mises en place par un État s'inscrivent au départ dans une démarche nationale de protection de la population et de l'environnement, dans le contexte du pays. La notion fondamentale de souveraineté, un des principes du système westphalien, qui est à l'origine du système international actuel, reste un élément essentiel de l'élaboration du cadre international et des travaux qui sont menés dans les différentes enceintes multilatérales.

L'objet du présent chapitre est d'exposer les étapes importantes qu'un État souhaitant lancer un programme nucléaire doit prendre en compte pour créer un régime de sécurité nucléaire adapté au contexte et aux problèmes nationaux et conforme aux recommandations et aux bonnes pratiques définies à l'échelle internationale.

9.2. SOUVERAINETÉ ET RESPONSABILITÉ DE L'ÉTAT

9.2.1. **Quelle place pour la sécurité nucléaire dans le dispositif global de sécurité d'un État ?**

À l'échelle internationale, il est reconnu que la responsabilité de la sécurité nucléaire incombe entièrement à l'État, conformément à deux principes qui figurent dans l'Amendement de 2005 à la CPPMN³ :

² Convention sur la protection physique des matières nucléaires, ouverte à la signature le 3 mars 1980 et entrée en vigueur le 8 février 1987 (CPPMN). Amendement à la CPPMN, entré en vigueur le 8 mai 2016.

³ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 2, art. 2 A, par. 3.

PRINCIPE FONDAMENTAL A : Responsabilité de l'État

La responsabilité de l'élaboration, de la mise en œuvre et du maintien d'un régime de protection physique sur le territoire d'un État incombe entièrement à cet État.

PRINCIPE FONDAMENTAL B : Responsabilités pendant un transport international

La responsabilité d'un État pour assurer la protection adéquate des matières nucléaires s'étend au transport international de ces dernières jusqu'à ce qu'elle ait été transférée en bonne et due forme à un autre État, de manière appropriée.

La sécurité nucléaire est un aspect important de la sécurité nationale et, à ce titre, elle incombe fondamentalement à l'État. Depuis le XIX^e siècle au moins, les États appréhendent de plus en plus la défense et la sécurité de manière globale, la guerre et l'économie étant intrinsèquement liées.

De même, il n'est plus possible de dissocier sécurité intérieure et sécurité extérieure. Des faits récents confirment que des actes extérieurs ont une grande influence sur la sécurité intérieure et vice versa. Ainsi, l'essor de la menace terroriste en France ces dernières années est inextricablement lié à la situation internationale et en particulier aux actes commis par Al-Qaida et par l'État islamique autoproclamé, ainsi qu'à la politique française de lutte contre ces organisations.

Il y a donc une continuité entre criminalité, terrorisme et menaces pesant sur les États, et ces différents aspects des menaces peuvent être étroitement liés.

Dans ce cadre, les matières, les installations et le transport nucléaires, ainsi qu'un programme nucléaire, peuvent être des cibles importantes. À titre d'illustration, on peut penser à l'attaque informatique qui a été menée à l'aide du ver informatique « Stuxnet » en 2010 dans une usine d'enrichissement de l'uranium en République islamique d'Iran, ou au manifeste d'Anders Breivik⁴, qui appelle à « utiliser les centrales nucléaires européennes comme armes de destruction massive ».

Un État qui souhaite lancer un programme nucléaire devra donc examiner très tôt les conséquences de ce programme pour la défense et la sécurité nationale.

La première question à examiner est l'acceptation des risques associés à l'électronucléaire. La création d'un régime de sécurité nucléaire jouera donc un rôle essentiel dans la gestion des menaces et du risque. Il convient de ne pas

⁴ Breivik 2011.

oublier que, plus le risque qu'un État est prêt à accepter est faible, plus le niveau de protection et donc le coût seront élevés. En outre, ce niveau de risque acceptable, choix éminemment politique, doit être régulièrement comparé à l'évolution des menaces. En France, par exemple, ces dernières années, une demande accrue de contrôle du risque de la part de la population et un niveau de menace élevé se sont traduits par une très forte hausse du niveau de sécurité requis, et donc des efforts humains et financiers, pour l'État comme pour les exploitants nucléaires. Cet aspect ne doit pas être sous-estimé, car le coût de la sécurité peut être important et doit donc être pris en compte dans l'économie du projet.

L'État dispose déjà de lois, de règlements et d'institutions pour gérer la sécurité nationale. Il devra donc déterminer comment intégrer la sécurité nucléaire dans ce cadre (voir section 9.5.3) pour créer le régime correspondant. En France, par exemple, la sécurité nucléaire est régie par le Code de la défense⁵, qui porte notamment sur la protection physique des matières nucléaires, des installations correspondantes et du transport de telles matières (article 1333), ainsi que sur la protection des installations d'importance vitale (article 1332), qui relève de la défense économique. La sécurité nucléaire est donc traitée séparément de la sûreté nucléaire, qui est abordée dans le Code de l'environnement, dans le cadre de la prévention de la pollution et des autres risques pour l'environnement.

Le fait que la sécurité nucléaire concerne principalement les États est important, car cette composante impose des contraintes particulières qui sont moins courantes en sûreté nucléaire. En effet, alors que la responsabilité de la mise en œuvre des mesures de sûreté peut être entièrement confiée aux exploitants, tel n'est pas le cas pour la sécurité, qui exige toujours des moyens de l'État. Les choix faits par les États ont une grande incidence sur la manière dont la coopération internationale se développe (voir section 9.4), le cadre législatif et réglementaire est élaboré (voir sections 9.5.3 et 9.6) et la communication s'effectue (voir section 9.9).

9.3. LA MENACE : ÉVALUATION DE LA MENACE ET MENACE DE RÉFÉRENCE

9.3.1. Contre quoi doit-on se protéger ?

L'un des principaux marqueurs de la souveraineté d'un État dans le domaine de la sécurité nucléaire est sa menace de référence. Il s'agit généralement

⁵ Code de la défense 2021, p. 236 à 252, <https://codes.droit.org/PDF/Code%20de%20la%20d%C3%A9fense.pdf>, page consultée le 30 août 2021.

d'informations de sécurité nationales et confidentielles, qui sont protégées en conséquence.

Indépendamment du fait qu'un dispositif de protection des activités nucléaires doit être soumis à des obligations de moyens (approche normative) ou de résultats (approche fondée sur les résultats), l'objectif est toujours le même : se protéger contre une menace définie et caractérisée.

Parmi les nombreuses responsabilités de l'État, l'une des actions fondamentales sera de répertorier les menaces auxquelles le pays fait face et qui pourraient donc nuire à ses activités. Cette analyse exige la participation des services et des organismes publics qui sont chargés de la sécurité nationale (police, services de renseignements et services responsables de la cybersécurité, par exemple). Elle doit tenir compte des événements qui se sont produits dans le pays, mais aussi des faits qui ont lieu à l'étranger.

9.3.2. Quelle part de la sécurité confier à l'exploitant ? Quel est le niveau de menace à prendre en compte pour la réglementation relative à la sécurité nucléaire ?

S'agissant de la protection de certaines activités, comme celles qui sont menées dans le secteur nucléaire, lesquelles sont particulièrement exposées à la menace terroriste, l'État doit faire un choix politique. Compte tenu de l'exhaustivité de la liste des menaces répertoriées, il est difficile d'imaginer qu'un État pourrait décider de confier exclusivement aux exploitants la protection des activités nucléaires. L'État peut donc décider d'exercer seul cette responsabilité ou adopter une approche mixte, qui associe pouvoirs publics et exploitants. La première solution aboutirait à un désengagement complet des exploitants, ce qui ne serait pas judicieux.

Il ne peut y avoir de sécurité réelle si l'on ne tire pas parti des connaissances et de l'expérience des exploitants, surtout pour des installations aussi complexes sur le plan technique et organisationnel que celles du secteur nucléaire (s'agissant par exemple des interfaces entre la sécurité et les autres domaines qui présentent des risques dans ce type d'installation). La menace interne est un exemple pertinent qui montre que les exploitants contribuent de manière importante à prévenir l'apparition d'une telle menace au sein de leur organisation, mais aussi à se protéger aussi efficacement que possible contre ce type de menace (anticipation). Il est vrai que l'État joue un rôle capital, en particulier dans le cadre d'un programme d'habilitation, mais il ne serait pas efficace s'il agissait seul.

La communauté internationale considère donc généralement qu'il est préférable d'adopter une approche mixte pour protéger les activités nucléaires. Cette approche apparaît particulièrement dans les plans de sécurité, qui visent à définir les stratégies adoptées pour détecter, ralentir, bloquer et neutraliser la

menace. L'État doit alors décider à quelle menace déjà répertoriée l'exploitant doit pouvoir faire face avec ses propres moyens. Cette menace, généralement appelée menace de référence, est utilisée pour la conception et l'évaluation des dispositifs de protection dans les recommandations de l'AIEA.

9.3.3. Comment tenir compte de la menace dès la conception ?

Pour être efficace, la sécurité nucléaire doit être prise en compte le plus tôt possible en phase de conception d'un projet (qu'il s'agisse d'une activité nouvelle ou de la modification d'une activité existante).

Les États doivent donc commencer par définir une menace de référence lorsqu'ils souhaitent lancer un programme nucléaire. Les dispositions législatives et réglementaires nationales applicables doivent figurer dans cette menace. Cet ensemble d'éléments est indispensable pour tout État qui souhaite promouvoir le principe de la « sécurité dès la conception ». Pour appliquer ce principe, il faut à la fois une conception intrinsèquement sûre et des caractéristiques de l'installation qui contribuent à réduire le nombre de cibles, à mieux atténuer les éventuelles conséquences des failles restantes et ainsi à faciliter une protection physique en amont afin de remédier aux points faibles de l'installation. La sécurité dès la conception est considérée comme une approche intégrée, car, outre la sécurité nucléaire, elle tient compte de la sûreté et de la maintenance.

Les modes d'action et les moyens des menaces évoluent. La notion de sécurité dès la conception permet plus facilement de prendre en compte les menaces actuelles et d'anticiper leur évolution pendant toute la durée de vie d'une installation. Il est par exemple possible de prévoir de la place pour des systèmes de protection physique supplémentaires. Compte tenu de l'évolution constante de la menace, l'État a intérêt à prévoir un réexamen périodique de la menace de référence et des obligations du cadre législatif et réglementaire qui en découlent.

Comme il est expliqué plus haut, la menace de référence est établie pour l'exploitant, mais constitue aussi un élément essentiel des forces de sécurité intérieure concernées. Dans le cadre d'une approche mixte, les forces de sécurité intérieure peuvent intervenir dans l'installation pour aider les forces de l'exploitant à sécuriser la zone ou à mettre fin à la crise de sécurité.

Certaines menaces, comme les cyberattaques, voire le survol par des drones, permettent à des personnes malveillantes de compliquer, voire d'empêcher l'intervention des forces de sécurité intérieure de l'État. En pareil cas, il est judicieux de répertorier les pratiques interdisciplinaires appropriées afin de pouvoir intervenir efficacement en toutes circonstances et de définir des stratégies coordonnées pour la gestion des actes malveillants.

9.4. CADRE INTERNATIONAL

9.4.1. Comment la sécurité nucléaire est-elle intégrée à l'échelle internationale ?

L'objet du droit nucléaire, tel qu'il est présenté dans les publications sur la question⁶, est d'offrir un cadre juridique permettant de mener des activités ayant trait à l'énergie nucléaire et aux rayonnements ionisants d'une manière qui protège convenablement les individus, les biens et l'environnement. Comme il est expliqué plus haut, l'universalisation des problèmes relatifs à l'énergie nucléaire civile a conduit à l'élaboration de plusieurs instruments internationaux afin de contribuer à renforcer la protection physique et de favoriser une plus grande cohérence des mesures applicables dans le domaine nucléaire. La sécurité nucléaire, comme les autres composantes du secteur nucléaire, repose sur plusieurs textes (juridiquement contraignants ou non) à l'échelle nationale et internationale (voir section 9.5.3). À l'échelle internationale, chacune répond à une logique particulière et vise à atteindre des objectifs plus larges dans le domaine de la sécurité, voire dans d'autres domaines étroitement liés à la sécurité nucléaire, celle-ci n'étant pas alors le sujet principal. Un État doit donc pouvoir connaître et comprendre ces interfaces importantes afin d'adopter une politique qui répond aux attentes et aux besoins nationaux, ainsi qu'aux différentes préoccupations internationales.

Pour comprendre le cadre international de la sécurité nucléaire, il faut commencer par s'intéresser à l'Organisation des Nations Unies (ONU), dont l'histoire est liée à celle de l'électronucléaire. La toute première résolution adoptée par l'Assemblée générale des Nations Unies, le 24 janvier 1946⁷, visait à créer une commission chargée d'étudier les problèmes soulevés par la découverte de l'énergie atomique, ainsi que d'autres questions connexes. Le rôle normatif de l'ONU dans la lutte contre le terrorisme l'a conduite à prendre un grand nombre de décisions, souvent sous forme de résolutions. Parmi celles-ci, certaines concernent la sécurité nucléaire. Ainsi, la résolution 1540 (2004) du Conseil de sécurité de l'ONU⁸, même si elle porte principalement sur la prévention de la prolifération des armes nucléaires, mentionne les mesures « imposées par la Convention sur la protection physique des matières nucléaires ou celles que l'Agence internationale de l'énergie atomique a recommandées dans son Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives ». Elle appelle les États à « [a]rrêter et [à] instituer des mesures de protection physique appropriées et efficaces ». Par

⁶ Stoiber *et al.* 2006.

⁷ Assemblée générale des Nations Unies 1946.

⁸ Conseil de sécurité de l'ONU 2004, p. 2 et 3.

sa résolution 51/210 de décembre 1996⁹, l'Assemblée générale des Nations Unies a lancé l'élaboration de trois traités internationaux qui élargissent le cadre international de la sécurité nucléaire : la Convention internationale pour la répression des attentats terroristes à l'explosif, la Convention internationale pour la répression du financement du terrorisme et la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire¹⁰.

Le principal objectif de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) est de promouvoir, avec ses États Membres, l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des techniques et applications nucléaires. À cette fin, l'Agence encourage les États Membres à ratifier les conventions et les codes de conduite dont elle est dépositaire. Elle mène également un large éventail d'évaluations sur la sécurité, les besoins, les priorités et les menaces en matière nucléaire, surtout en ce qui concerne le terrorisme. L'AIEA favorise donc la création de partenariats et de réseaux internationaux. Elle élabore également des instruments juridiquement non contraignants, comprenant des recommandations, des guides et des procédures techniques ou opérationnelles qui forment la collection Sécurité nucléaire. L'AIEA a également mis en place des services pour les États, comme le Service consultatif international sur la sécurité nucléaire (INSServ). Ce service est conçu pour aider les États à créer et à maintenir des régimes de sécurité nucléaire efficaces. Il existe aussi un Service consultatif international sur la protection physique (IPPAS), qui constitue un élément fondamental de la stratégie de sécurité nucléaire de l'AIEA. Il propose une aide aux États Membres, sur demande, pour évaluer leur régime de protection physique. Cette évaluation comprend un examen, à l'échelle nationale, du cadre législatif et réglementaire et des mesures et des procédures mises en œuvre dans les installations et pendant le transport pour satisfaire aux prescriptions réglementaires. Elle s'appuie sur les prescriptions qui figurent dans les instruments internationaux, ainsi que dans les recommandations et les orientations de l'AIEA. Ceux-ci comprennent les principaux textes qui sont mentionnés dans le présent chapitre, ainsi que toutes les autres publications pertinentes de l'Agence, notamment celles de la collection Sécurité nucléaire et d'autres orientations ou recommandations : CPPMN et son amendement de 2005, Objectifs et principes fondamentaux de la protection physique (AIEA, GOV/2001/41)¹¹, Code de conduite sur la sûreté et la sécurité

⁹ Assemblée générale des Nations Unies 1997.

¹⁰ Convention internationale pour la répression des attentats terroristes à l'explosif, ouverte à la signature le 12 janvier 1998 et entrée en vigueur le 23 mai 2001. Convention internationale pour la répression du financement du terrorisme, ouverte à la signature le 10 janvier 2002 et entrée en vigueur le 10 avril 2002. Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, ouverte à la signature le 14 septembre 2005 et entrée en vigueur le 7 juillet 2007.

¹¹ Objectifs et principes fondamentaux de la protection physique (AIEA, GOV/2001/41).

des sources radioactives¹² et publications n^{os} 13, 14 et 20 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA¹³.

La CPPMN est un traité international qui a été adopté le 26 octobre 1979. Elle est entrée en vigueur le 8 février 1987¹⁴. Ce texte est un des nombreux instruments internationaux de lutte contre le terrorisme et reste le seul instrument juridiquement contraignant qui est consacré à la protection physique des matières nucléaires. Ses dispositions techniques portent sur la protection des matières nucléaires pendant un transport international, tandis que ses dispositions pénales et les dispositions relatives à la coopération judiciaire sont également applicables aux matières nucléaires en cours d'utilisation, en entreposage ou en cours de transport sur le territoire national. En 2005, un amendement à la CPPMN a été adopté. Il vise notamment à élargir le champ d'application de la Convention aux matières nucléaires en cours d'utilisation, en entreposage ou en cours de transport sur le territoire national. Il introduit aussi les 12 principes fondamentaux de protection physique : responsabilité de l'État, responsabilités pendant un transport international, cadre législatif et réglementaire, autorité compétente, responsabilité des détenteurs d'agréments, culture de sécurité, menace, approche graduée, défense en profondeur, assurance de la qualité, plans d'urgence et confidentialité. Lorsqu'un État envisage de lancer un programme nucléaire civil, il lui est donc fortement recommandé de devenir partie à ces deux instruments internationaux : la CPPMN et son amendement.

9.4.2. Comment gérer les interfaces ?

Cette brève introduction, qui définit les principaux instruments formant le cadre international de la sécurité nucléaire, montre que la sécurité nucléaire est intrinsèquement liée à un ensemble beaucoup plus large de dispositions internationales qui répondent à des préoccupations particulières et qui ne concernent pas toujours que le secteur nucléaire.

La sécurité nucléaire ne constitue qu'une partie de la problématique nucléaire. Il en va de même pour la sûreté nucléaire, la radioprotection et les garanties. Même s'ils répondent au même objectif, à savoir protéger la population et l'environnement contre les risques que fait peser l'énergie nucléaire, ces différents domaines ont leur propre objet et donc leur propre logique. Il importe donc de répertorier et d'évaluer les interfaces nécessaires afin que l'objectif fondamental puisse être atteint dans chacun de ces domaines sans que la finalité générale soit compromise. Le mode de fonctionnement international actuel

¹² AIEA 2004.

¹³ AIEA 2011a, 2011b et 2014.

¹⁴ CPPMN, *supra*, note 2.

consiste à permettre l'élaboration d'un cadre international pour chaque domaine du secteur nucléaire, sous la supervision d'une seule organisation, l'AIEA. Celle-ci a mis en place une organisation qui permet aux experts des différents États Membres d'établir et d'élargir efficacement le cadre international dans leur domaine de spécialité. Ils peuvent ainsi tenir compte d'autres domaines extérieurs au secteur nucléaire, tout en établissant les ponts nécessaires pour détecter et gérer efficacement les interfaces avec les autres composantes du secteur nucléaire. Cette approche permet d'éviter que toutes les questions nucléaires soient traitées dans un cadre international unique. Elle peut avoir un sens du point de vue de la gestion des interfaces, mais elle peut aussi avoir des inconvénients qui ne doivent pas être sous-estimés.

L'un des principaux risques est d'adopter une approche restrictive des questions nucléaires, ce qui aurait pour effet d'écartier les experts d'un domaine particulier au profit de généralistes. Une telle situation ne permettrait pas d'établir les relations nécessaires avec les domaines connexes. À long terme, elle pourrait conduire à isoler le secteur nucléaire du contexte plus large dans lequel il s'inscrit et avec lequel des interfaces doivent exister.

9.4.3. Comment trouver un équilibre entre les considérations internationales et les considérations nationales ?

Comme il est expliqué plus haut, la sécurité nucléaire est un aspect parfois très important de la sécurité nationale. Le contexte actuel est marqué par une universalisation des problèmes et par un monde où les États sont de plus en plus interdépendants. Cela ne veut pas dire que certains grands principes qui régissent les relations internationales depuis des dizaines d'années, comme la souveraineté des États ou leur intérêt propre (la crise sanitaire de la COVID-19 en est un exemple concret et récent), ni que les tensions entre États, ont disparu. Dans ce contexte, la sécurité nucléaire doit être envisagée dans un cadre international avec beaucoup de précautions. Le principe fondamental de la confidentialité, introduit par l'Amendement de 2005 à la CPPMN, est particulièrement pertinent dans le cadre des relations multilatérales qui ont été mises en place pour répondre à la menace mondiale qui pèse sur le secteur nucléaire, même si son champ d'application est principalement national. Il est par exemple indispensable de garantir la confidentialité des informations sensibles du système de protection physique.

Dans d'autres domaines nucléaires (comme la sûreté nucléaire ou la radioprotection), la transparence qui accompagne la convergence des meilleures pratiques est utile. Les risques pour lesquels des mesures sont adoptées dans ces domaines sont les risques climatiques, les défaillances matérielles ou le résultat d'actions humaines en l'absence d'intention criminelle ou délictueuse. Ils

évoluent indiscutablement, mais ils ne s'adaptent pas une situation particulière. Cette approche normalisée permet donc de répondre efficacement à l'objectif d'un niveau élevé de protection pour tous et au besoin de confiance dans la mise en œuvre des mesures qu'exigent les différents États et la société civile. Un accident nucléaire aura toujours des conséquences transfrontières, radiologiques, économiques ou sociales.

Dans le domaine de la sécurité nucléaire, et de la sécurité en général, la menace à laquelle les États font face a la capacité de s'adapter, car, par définition, il s'agit d'une action humaine malveillante. Ainsi, contrairement aux objectifs fixés dans d'autres domaines, qui autorisent la transparence, il y a lieu de penser que toute tentative visant à renforcer la transparence et la convergence sur les pratiques communes en matière de sécurité nucléaire peut être perçue par certains États comme de la fausse naïveté, voire de la manipulation, afin d'obtenir des informations. Le principe fondamental de la confidentialité est donc particulièrement important pour les États, et rappelle l'importance, dans le domaine de la sécurité, de trouver un juste équilibre entre ce qui peut être communiqué et ce qui ne doit être su que de ceux qui ont besoin d'en connaître.

L'adoption de traités internationaux dans les dernières décennies s'explique par une adhésion croissante à différents éléments de la communauté internationale. L'intérêt commun des États, qui font face à des problèmes qu'ils ne peuvent résoudre seuls, les incite à trouver des solutions dans un cadre multilatéral. Comme il est expliqué plus haut dans le présent chapitre, les problèmes de sécurité nucléaire sont aujourd'hui universels. Les États ont donc absolument besoin d'amener la communauté internationale à les résoudre. Dans ce cadre, des conventions comme la CPPMN et son amendement sont les instruments les plus appropriés. Encourager les États à ratifier ces instruments et à participer aux conférences d'examen est la première mesure, et sans doute la plus importante, permettant de renforcer la sécurité nucléaire à l'échelle mondiale. Il existe toutefois différents degrés d'application de ces instruments. Il y a d'une part un aspect politique, l'objectif étant de veiller à ce que les États parties aient la même perception des problèmes et des efforts à fournir pour les résoudre. Mais il y a aussi un aspect technique, dont l'objectif est de veiller à ce que les instruments internationaux aient un effet concret sur les mesures de protection physique qui sont prises par les États parties.

Ces deux aspects mettent en évidence le principe fondamental de l'application d'un traité international, qui repose sur la bonne foi des États parties et sur son caractère invérifiable. Ce principe montre le besoin de confiance (au sens de la confiance dans les paroles de quelqu'un) entre les parties, qui est essentiel pour la notion de bonne foi. Ce besoin est particulièrement important lorsque l'on considère la CPPMN et son amendement d'un point de vue technique. Dans une enceinte multilatérale, il est difficile de vérifier, selon des

critères concrets et qualitatifs, que les mesures prises par les États leur permettent d'atteindre un niveau de sécurité suffisant pour la menace à laquelle ils sont exposés. Les principes de confidentialité et de souveraineté des États dans le domaine de la sécurité limitent les échanges, ce qui montre la nécessité d'une confiance entre les États. Certaines barrières pourraient être levées dans le cadre d'échanges plus limités, par exemple à l'échelle régionale, voire bilatérale, où des intérêts communs apparaissent et où une relation de confiance peut être établie. Ces contraintes sont dûment prises en compte pour les missions d'examen par des pairs de l'AIEA (IPPAS), car le pays hôte peut choisir, sur une liste d'experts internationaux de plusieurs pays, des experts de pays avec lesquels il entretient de bonnes relations.

Après de nombreuses années d'amélioration sous la direction de l'AIEA, le cadre international de la sécurité nucléaire a atteint un tel niveau de maturité qu'il est difficile de définir des besoins à court terme sur le plan du développement structurel. Cette observation s'accorde avec le fait que les relations doivent être renforcées à l'échelle régionale et bilatérale. Il faut néanmoins que l'AIEA conserve un rôle central de coordination de la coopération internationale. Elle doit en particulier aider les États, notamment en organisant des formations et des missions d'examen par des pairs (IPPAS) et en fournissant des services, comme ceux de l'INSServ.

L'AIEA doit continuer de faciliter la coopération internationale afin de permettre aux États de maintenir un niveau satisfaisant de sécurité nucléaire à long terme. En outre, les ateliers, les conférences et les autres manifestations permettent de créer ou de maintenir un réseau international de spécialistes, dans lequel chaque État peut trouver des partenaires de bon niveau lorsqu'il souhaite communiquer ou obtenir des informations de référence sur un sujet précis. L'AIEA contribue aussi de manière essentielle à établir les ponts qui sont indispensables pour définir et gérer convenablement les interfaces entre les trois composantes du secteur nucléaire, tout en garantissant le respect de leur singularité pour la bonne prise en compte des considérations de leur environnement, au-delà des préoccupations du secteur nucléaire.

9.5. CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

Une autre responsabilité importante de l'État consiste à établir le cadre législatif et réglementaire, comme le rappelle le principe fondamental C de la CPPMN¹⁵ :

PRINCIPE FONDAMENTAL C : Cadre législatif et réglementaire

L'État est chargé d'établir et de maintenir un cadre législatif et réglementaire pour la protection physique. Ce cadre devrait inclure l'élaboration de prescriptions de protection physique pertinentes et la mise en place d'un système d'évaluation et d'agrément ou prévoir d'autres procédures pour la délivrance des autorisations. Il devrait en outre comporter un système d'inspection des installations nucléaires et du transport de matières nucléaires, destiné à s'assurer que les prescriptions pertinentes et les conditions d'agrément ou des autres documents d'autorisation sont respectées et à mettre en place des moyens pour les faire appliquer, incluant des sanctions efficaces.

9.5.1. Comment la sécurité nucléaire peut-elle être intégrée au mieux dans le cadre national général ?

La réglementation de la sécurité nucléaire fait partie d'un vaste cadre législatif et réglementaire qui a déjà été mis en place. Comme le rappelle le *Manuel de droit nucléaire* de l'AIEA¹⁶, il importe de souligner qu'il n'existe pas de modèle définitif pour la réglementation nucléaire. Cela est particulièrement vrai pour la sécurité nucléaire, compte tenu de ses nombreuses interfaces réglementaires avec d'autres questions réglementées :

- protection de l'information ;
- protection des infrastructures d'importance vitale ;
- protection des systèmes d'information ;
- professions réglementées, liées à la sécurité nationale, pour lesquelles une enquête administrative ou une enquête de sécurité peuvent être exigées ;
- régime de détention et d'utilisation des armes ;
- réglementation et limites pour l'espace terrestre, aérien et maritime ;
- gestion de crise.

¹⁵ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 2, art. 2 A, par. 3.

¹⁶ Stoiber *et al.* 2006.

Au vu de ces interfaces et comme l'explique la section 9.2, la sécurité nucléaire fait partie de la sécurité nationale. À ce titre, elle s'inscrit dans le débat public sur la sécurité et sur son équilibre avec les libertés publiques.

Une enquête d'habilitation est par exemple exigée pour détecter les situations où des personnes peuvent présenter des failles qui ne leur permettent pas d'accéder à des sites nucléaires ou d'exercer des fonctions sensibles dans le domaine nucléaire. En France, l'exploitant demande à l'autorité administrative compétente de mener cette enquête. Celle-ci peut sembler intrusive et contraire aux libertés. Il est cependant essentiel de souligner que les règles imposées sont publiques et connues de tous, et offrent une possibilité de recours aux personnes qui estiment avoir été injustement exclues d'un poste sensible auquel elles ont postulé. Les libertés ne sont pas absolues et s'exercent dans le cadre législatif et réglementaire qui les régit. L'autorité administrative donne à l'exploitant un avis sur le risque que la personne peut représenter. La décision de donner accès à un site revient ensuite à l'exploitant.

Il est donc essentiel de définir avec une extrême rigueur les notions de « poste sensible » et d'« information sensible » afin de parvenir à un bon équilibre, qui répond aux problèmes de sécurité. Ainsi, de nombreuses personnes peuvent participer à la préparation d'un transport de matières nucléaires, qui exige une logistique complexe. Cette situation peut conduire à organiser des contrôles sur un grand nombre de personnes. La question du caractère réaliste et de la proportionnalité des mesures au regard de leurs conséquences pour les libertés publiques doit être prise en compte.

Les problèmes de sécurité sont si importants que le législateur a décidé de soumettre l'accès à certaines installations ou à certaines informations à une enquête d'habilitation ou à une procédure d'habilitation au secret de la défense nationale, qui repose sur une enquête d'habilitation renforcée. Tel est le cas dans le secteur nucléaire. La procédure d'habilitation doit être appliquée aux emplois énumérés dans un catalogue qui est établi par le ministère compétent. L'absence de procédure d'habilitation est une cause de licenciement.

Face aux menaces, la question d'une intervention armée se pose inévitablement. La détention et l'utilisation d'armes sont d'ordre culturel et varient donc grandement d'un pays à l'autre. En France, elles sont strictement réglementées et ne sont autorisées en dehors des forces de l'État que dans des cas très particuliers, qui sont régis par le Code de la sécurité intérieure. Dans le secteur nucléaire, les exploitants peuvent disposer d'un service armé interne ou, depuis peu, faire appel à un service armé extérieur¹⁷. Cette mesure permet

¹⁷ Décret n° 2017-1844 du 29 décembre 2017 et arrêté du 15 novembre 2019 pris pour l'application de l'article 35 de ce décret.

de répondre au besoin d'intervention initiale face à une menace, qui exige de pouvoir agir rapidement.

9.5.2. Comme faire un choix entre un régime administratif particulier et un régime qui s'applique aussi à d'autres domaines ?

Quelle place doit occuper la sécurité nucléaire dans le cadre réglementaire d'un État ? Il est indiscutablement possible d'intégrer la sécurité nucléaire aux procédures en vigueur pour la sûreté, la protection de l'environnement, les installations critiques, la défense, la sécurité nationale, la radioprotection, etc. Il existe toutefois un risque que les spécificités de la sécurité nucléaire ne soient pas correctement prises en compte, que certains conflits d'objectifs ou de moyens ne soient pas détectés, et qu'il ne soit pas possible de faire des choix. La France a donc choisi d'établir un régime particulier pour la sécurité nucléaire et a décidé d'en confier la responsabilité à une autorité publique.

9.5.3. Quelle approche un État devrait-il privilégier, l'approche normative ou l'approche fondée sur les résultats ?

L'approche normative consiste à définir très précisément les obligations de l'exploitant, et en particulier les moyens à employer. Elle présente l'avantage d'être plus complète et plus facile à mettre en œuvre par l'exploitant et à contrôler par l'autorité compétente.

Cette approche convient bien pour fixer un niveau minimal de prescriptions, même dans les situations où l'exploitant ne connaît pas bien la culture de sécurité. Elle est appliquée en France pour la sécurité des sources radioactives et, dans le cas des matières nucléaires, pour le transport et les installations lorsque le risque est très faible (matières de catégorie III ou inférieure). Elle présente toutefois des limites, car les prescriptions peuvent se périmenter à court ou moyen terme en raison de l'évolution des techniques et de la menace. Il convient également de veiller particulièrement à éviter tout conflit avec les prescriptions d'autres domaines comme la sûreté nucléaire ou la radioprotection. Ainsi, les informations relatives à l'emplacement où sont détenues des sources radioactives étaient initialement considérées comme sensibles, et leur accès aurait donc dû être restreint. Cependant, du point de vue de la radioprotection, qui impose de signaler tout risque lié à une source, ces informations doivent être diffusées largement.

L'approche fondée sur les résultats consiste à fixer des objectifs de résultat à l'exploitant et à le laisser libre de choisir les moyens de les atteindre. Elle permet d'obtenir un niveau de protection plus élevé, mais exige de très fortes compétences de la part des exploitants et des personnes chargées du contrôle.

Cette approche est plus facilement adaptable aux différentes installations existantes, aux régimes de fonctionnement, à l'emplacement, etc., mais aussi aux innovations techniques et à l'évolution de la menace. Elle permet également de trouver des solutions originales, propres à chaque exploitant et donc moins connues. Enfin, il n'est pas nécessaire de la réexaminer fréquemment pour tenir compte des dernières évolutions. En France, cette approche prévaut pour les installations nucléaires à haut risque. Les prescriptions fixées en 2009 sont restées pertinentes en dépit des évolutions, du retour d'expérience et des enseignements tirés des menaces informatiques, des attaques de drones, etc.

L'approche fondée sur les résultats permet aussi d'atteindre un très haut niveau de sécurité, parce qu'elle oblige l'exploitant à concevoir un système de sécurité nucléaire très efficace et très bien adapté à l'objet à protéger. L'évaluation des résultats obtenus permet en particulier de détecter les failles résiduelles et de prévoir les améliorations nécessaires. En France, cette approche a par exemple abouti à des progrès substantiels. Des moyens de sécurité qui semblaient très solides au départ se sont révélés insuffisants. Un enseignement très important en a été tiré : il n'est pas suffisant de rassembler des moyens considérables pour être efficace. Ce constat a conduit plusieurs exploitants à modifier leur stratégie de sécurité et à constituer des moyens différents et souvent plus importants afin d'atteindre le résultat exigé.

L'approche fondée sur les résultats exige de très fortes compétences de la part des exploitants et des autorités. Elle a imposé un renforcement des compétences et des effectifs au sein de l'autorité compétente. En fait, les résultats obtenus sont évalués lors de l'examen des demandes d'autorisation, au moment de la demande initiale et à l'occasion des réévaluations périodiques ou lorsque des modifications sont apportées à l'infrastructure ou aux procédures d'exploitation.

Il y a cinq ans, l'autorité française a donc créé une procédure d'autorisation spéciale appelée « instruction technique détaillée ». Tout d'abord, les questions techniques les plus importantes que pose la démonstration de sécurité d'un exploitant sont répertoriées, puis l'autorité renvoie la question à son appui technique (en France, l'IRSN¹⁸), qui examine les questions soulevées avec l'exploitant et communique à l'autorité des recommandations argumentées. En fonction de la nature des demandes d'expertise et de la complexité des sujets, cette analyse peut prendre plusieurs mois, voire des années. La procédure comprend des réunions au cours desquelles l'autorité statue sur les divergences d'opinions qui ont pu apparaître entre l'exploitant et l'IRSN.

Cette instruction du dossier ne représente bien sûr qu'une partie de l'évaluation. L'autorité effectue aussi plusieurs inspections sur site pour mettre à l'épreuve la stratégie de l'exploitant. Ces contrôles peuvent conduire à remettre

¹⁸ IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

en question des solutions qui semblaient solides sur le papier. Des essais, y compris des essais destructifs, peuvent également être demandés à l'appui de la démonstration faite par l'exploitant, par exemple pour contrôler la résistance des barrières au franchissement ou à la destruction par des explosifs. Enfin, des exercices destinés à évaluer la sécurité globale sont menés et servent à détecter les failles que présente la démonstration de sécurité de l'exploitant.

L'approche fondée sur les résultats est celle qu'il permet le mieux d'adapter les interventions aux changements. C'est un défi, si l'on tient compte du fait que la durée de vie d'une installation nucléaire s'élève à des dizaines d'années. Il faut donc avoir une vision qui ne se limite pas à la situation actuelle. Une vision anticipatrice qui envisage les évolutions possibles joue donc un rôle important.

9.6. L'AUTORITÉ DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

Pour être efficace, la sécurité nucléaire doit être contrôlée par une autorité, comme le prévoit le principe D de la CPPMN¹⁹ :

PRINCIPE FONDAMENTAL D : Autorité compétente

L'État devrait créer ou désigner une autorité compétente chargée de mettre en œuvre le cadre législatif et réglementaire et dotée des pouvoirs, des compétences et des ressources financières et humaines adéquats pour assumer les responsabilités qui lui ont été confiées. L'État devrait prendre des mesures pour veiller à ce qu'il y ait une réelle indépendance entre les fonctions de l'autorité nationale compétente et celles de tout autre organisme chargé de la promotion ou de l'utilisation de l'énergie nucléaire.

9.6.1. Une autorité consacrée à la sécurité nucléaire ?

Il peut être envisagé de créer une autorité distincte de celle qui est chargée de la sûreté nucléaire, par exemple.

En France, le principe retenu est celui d'une seule autorité responsable du contrôle de la sûreté et de la sécurité nucléaires, le ministère chargé de l'énergie, qui compte deux départements : l'un est responsable de la sûreté, la Direction générale de la prévention des risques, et l'autre de la sécurité, le Département de la sécurité nucléaire du Service du haut fonctionnaire de défense et de sécurité. La

¹⁹ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 2, art. 2 A, par. 3.

loi a également désigné une autorité indépendante du gouvernement²⁰, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), pour contrôler comment la réglementation relative à la sûreté est appliquée par les exploitants.

Il n'est pas possible de créer une autorité indépendante du gouvernement pour la sécurité, car le contrôle ne concerne pas seulement les exploitants, mais aussi les services publics qui contribuent à la sécurité nucléaire, comme il est expliqué plus haut. L'avantage de cette formule est qu'elle permet d'avoir une vision globale et d'assurer une grande cohérence entre les différents acteurs, qu'il s'agisse d'autorités publiques ou d'organismes privés.

De nombreux pays, surtout lorsqu'ils commencent à établir un régime de sécurité nucléaire, souhaitent créer une autorité qui sera chargée de tous les aspects de l'énergie nucléaire. Cette démarche est bien sûr souvent tout à fait logique, surtout du point de vue pratique. Il ne faut cependant pas oublier tous les problèmes mentionnés plus haut.

L'autorité de sécurité nucléaire aura nécessairement besoin de liens forts avec les ministères et d'autres entités publiques. À cet égard, il ne devrait y avoir aucune méprise concernant le caractère indépendant de cette autorité. En matière de sécurité nucléaire, l'indépendance ne peut être que relative. Il est difficile d'imaginer comment une autorité indépendante du gouvernement pourrait évaluer les interventions des ministères qui contribuent à la sécurité nationale. Toutefois, comme il est expliqué plus haut, la sécurité nucléaire ne concerne pas uniquement les locaux des exploitants. Enfin, il importe de noter que le choix d'une autorité centrale ne contredit pas le principe fondamental D : l'indépendance est exigée vis-à-vis des organismes chargés de la promotion et de l'utilisation de l'énergie nucléaire.

9.6.2. Comment garantir qu'un certain niveau de prescriptions s'applique à l'autorité concernée ?

L'indépendance vis-à-vis de la promotion des activités nucléaires est principalement exigée pour éviter que les décisions de l'autorité concernée ne soient influencées par des questions politiques ou économiques.

L'une des possibilités consiste à limiter strictement le rôle de l'autorité compétente au contrôle et de disposer d'un organisme de réglementation qui doit aussi être indépendant. Dans ces conditions, l'autorité chargée du contrôle

²⁰ Autorité administrative indépendante : organisme public n'ayant aucune obligation légale, mais pourvu de ses propres pouvoirs, auquel est confié une des missions suivantes : protéger les droits et libertés des citoyens, veiller au bon fonctionnement de l'administration dans ses relations avec les citoyens ou participer à la réglementation de certains secteurs d'activité.

ne fixe pas elle-même les règles. Elle vérifie seulement que le cadre législatif et réglementaire est respecté. Si ce dernier prévoit que toute violation des règles doit être sanctionnée par l'autorité compétente, celle-ci ne pourra pas modifier les règles pour rendre une décision favorable à l'exploitant. Elle devra donc agir conformément au cadre législatif et réglementaire.

Une telle organisation n'est toutefois pas suffisante. Une réglementation nationale dont les objectifs ne concordent pas avec les prescriptions minimales définies par le cadre international (CPPMN, son amendement et les guides d'application) sera considérée comme pertinente par l'autorité nationale sans garantir un niveau de sécurité suffisant. Le respect du cadre international constitue donc une protection très importante. À cette fin, un processus visant à promouvoir l'universalisation de la CPPMN et de son amendement de 2005 est nécessaire. Il consiste à inviter tous les États à montrer qu'ils respectent le cadre international en communiquant les renseignements visés à l'article 14.1 de la CPPMN, et à les encourager à se servir des missions IPPAS pour s'assurer que leur régime est conforme à la CPPMN et pour montrer à la communauté internationale leur engagement.

Les prescriptions de la CPPMN doivent être considérées comme le niveau minimal requis, mais elles ne sont pas nécessairement suffisantes pour un État, qui doit donc comparer ce niveau avec la menace qu'il a évaluée. Pour les États où des installations nucléaires à haut risque ont été construites, cet examen plaide encore une fois pour la mise en œuvre d'une approche fondée sur les résultats (voir section 9.5.3).

La capacité d'un État à disposer d'un niveau de sécurité élevé dépend de la capacité de ses services à évaluer de manière simple et sincère l'efficacité du dispositif qu'il a mis en place. Cela exige du courage quand ce qui est attendu est plus souvent de rassurer les responsables politiques et la population que de mettre le doigt sur les problèmes, et de faire preuve d'efficacité et de compétence que de souligner les limites et les progrès à accomplir. Pour qu'une évaluation soit efficace, il faut des exercices ou des simulations grandeur nature, où entre en jeu l'intervention effectuée grâce aux moyens de l'exploitant et de l'État, et qui reposent sur des scénarios adaptés au niveau de la menace. Les scénarios doivent bien sûr être inattendus. Rien n'est pire qu'un exercice préparé depuis longtemps, où chacun sait ce qui va se passer et a pu anticiper sa réaction, et où le scénario se déroule comme prévu. Il est également possible de procéder à une évaluation à l'aide de simulations (à échelle réduite ou par des outils numériques), mais aussi grâce au retour d'expérience.

9.6.3. Comment garantir le niveau de compétence de l'autorité ?

Sur le plan technique, la sécurité nucléaire exige un vaste éventail de compétences qui ne sont pas nécessairement toutes réunies au sein de l'autorité de sécurité nucléaire. Ainsi, dans le domaine des drones ou de la sécurité informatique, cette autorité doit souvent s'appuyer sur l'expertise acquise par d'autres services publics. Si les spécificités du secteur nucléaire peuvent être limitées à la détermination des cibles à protéger, l'évaluation des capacités offensives de la menace et les moyens d'y faire face sont les mêmes dans tous les domaines (secteur bancaire, domaine pénitentiaire, etc.). Des spécialistes peuvent être trouvés dans d'autres autorités qui contribuent à la sécurité nationale. En France, par exemple, on peut citer l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI)²¹.

En raison de la coopération essentielle évoquée plus haut en matière de sécurité nucléaire, il faut que l'autorité soit placée au bon niveau hiérarchique dans un gouvernement pour pouvoir établir un cadre législatif et réglementaire pertinent.

Les diverses compétences seront ainsi coordonnées, sous la direction de l'autorité de sécurité nucléaire. Les différents acteurs pourront participer à la mise en œuvre du contrôle. Par exemple, la police ou l'armée contrôleront les mesures d'intervention armée des exploitants, les organismes de sécurité informatique contrôleront la protection des systèmes d'information, etc.

En France, il a été décidé qu'aucune exigence relative à la sécurité nucléaire ne serait ajoutée à celles qui sont déjà prévues par le cadre réglementaire général pour la sécurité des systèmes d'information. Des travaux sont donc menés en coopération avec l'ANSSI pour déterminer comment appliquer le cadre général à la sécurité nucléaire et exploiter les synergies et les complémentarités des approches, surtout pour le contrôle des exploitants (inspections et exercices).

9.7. RESPONSABILITÉS DES EXPLOITANTS

La CPPMN a également instauré le principe fondamental de la responsabilité des exploitants²² :

PRINCIPE FONDAMENTAL E : Responsabilité des détenteurs d'agrément

Les responsabilités en matière de mise en œuvre des différents éléments composant le système de protection physique sur le territoire d'un

²¹ Cette agence relève du Premier Ministre.

²² Amendement à la CPPMN, *supra*, note 2, art. 2 A, par. 3.

État devraient être clairement définies. L'État devrait s'assurer que la responsabilité de la mise en œuvre de la protection physique des matières ou des installations nucléaires incombe en premier lieu aux détenteurs d'agréments pertinents ou d'autres documents d'autorisation (par exemple les exploitants ou les expéditeurs).

Toutefois, dans certains modèles de réglementation, comme le modèle français, le rôle de l'exploitant concernant la sécurité nucléaire est moins évident qu'il n'y paraît.

9.7.1. Quelles sont la place et la responsabilité de l'exploitant en matière de sécurité nucléaire ?

L'État doit étudier la place et la responsabilité de l'exploitant par rapport à celles de l'État. À première vue, dans un modèle comme celui de la France, il ne semble pas évident que la sécurité nucléaire doit être confiée à l'exploitant. De fait, le Code civil²³, un des textes fondamentaux du droit français, pratiquement inchangé depuis Napoléon I^{er}, définit les principes de la responsabilité :

Article 1241

Chacun est responsable du dommage qu'il a causé non seulement par son fait, mais encore par sa négligence ou par son imprudence.

Article 1242

On est responsable non seulement du dommage que l'on cause par son propre fait, mais encore de celui qui est causé par le fait des personnes dont on doit répondre, ou des choses que l'on a sous sa garde.

La responsabilité d'un exploitant en matière de sûreté nucléaire peut être interprétée comme l'application de ces principes au cas particulier du secteur nucléaire : l'exploitant a une installation nucléaire sous sa responsabilité. L'exploitant est chargé d'exploiter une installation nucléaire qui présente des risques pouvant conduire à des dommages très importants, et il lui incombe d'appliquer des mesures proportionnées à ces risques.

Qu'en est-il toutefois pour la sécurité nucléaire ? Les principes mentionnés plus haut impliquent que l'on n'est pas responsable des dommages causés par les

²³ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000032004939/>.

actes d'autrui. Cette règle est illustrée par l'arrêt Franck du 2 décembre 1941²⁴, célèbre pour avoir créé une jurisprudence importante. Dans cette affaire, le docteur Franck avait prêté sa voiture à son fils. La voiture a été volée et le voleur, demeuré inconnu, a renversé et blessé mortellement un facteur. La cour a jugé que le docteur Franck n'était pas responsable des dommages causés au facteur.

Par conséquent, si l'on revient au domaine nucléaire, l'exploitant est-il considéré comme responsable si une personne malveillante attaque intentionnellement un exploitant pour causer des dommages à ses installations ? Si l'on étudie le cadre international et les conditions de la responsabilité nucléaire, on constate que les principes mentionnés plus haut, qui sont notamment exposés dans la Convention de Paris²⁵, sont adaptés aux accidents dus à un problème de sûreté nucléaire. Leur application aux actes malveillants, et en particulier aux actes de terrorisme, semble toutefois moins évidente.

Par conséquent, en France, la sécurité nucléaire repose sur les conditions qui doivent être réunies par les exploitants pour mener leurs activités nucléaires. Leur responsabilité dans ce domaine n'est pas automatiquement engagée. Elle est strictement limitée à l'application des dispositions prévues par la réglementation. Il s'agit d'une différence fondamentale par rapport à la sûreté nucléaire, pour laquelle la responsabilité de l'exploitant est systématiquement engagée et il incombe à l'exploitant de choisir les moyens d'assurer la sûreté nucléaire.

9.7.2. Pourquoi une responsabilité de l'exploitant ?

L'État doit donc d'abord se demander quelle est la responsabilité de l'exploitant dans le domaine de la sécurité nucléaire. Pourquoi la sécurité nucléaire devrait-elle incomber à l'exploitant plutôt qu'à l'État ? Plusieurs raisons peuvent être avancées.

La logique veut que les mesures de sécurité nucléaire soient plus efficaces lorsqu'elles sont situées aussi près que possible des matières et installations à protéger. Elles doivent donc être prises en compte dans la structure de l'exploitant et être coordonnées avec d'autres prescriptions, notamment celles de la sûreté nucléaire. Seul l'exploitant peut assurer une intégration satisfaisante. Cela est particulièrement vrai pour la gestion d'une crise de sécurité, au cours de laquelle

²⁴ Cour de cassation, Chambres réunies, *Connot c. Franck*, 2 décembre 1941, n° N, Bull. civ., N. 292, p. 523. <https://www.doctrine.fr/d/CASS/1941/JURITEXT000006953144>.

²⁵ Convention du 29 juillet 1960 sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, amendée par le Protocole additionnel du 28 janvier 1964 et par le Protocole du 16 novembre 1982. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_31793/convention-de-paris-texte, page consultée le 30 août 2021.

il peut être nécessaire de faire face à des acteurs malveillants et aux conséquences de leurs actes pour la sûreté nucléaire. Le rôle de l'exploitant est donc essentiel.

En outre, la sécurité nucléaire doit être l'affaire de tous. Chez l'exploitant, chaque salarié doit comprendre l'importance des mesures de sécurité nucléaire et participer à leur mise en œuvre, afin que les actes malveillants et les tentatives d'actes malveillants soient détectés le plus tôt possible. Tel est le sens du principe fondamental F²⁶ :

PRINCIPE FONDAMENTAL F : Culture de sécurité

Toutes les entités impliquées dans la mise en œuvre de la protection physique devraient accorder la priorité requise à la culture de sécurité, à son développement et à son maintien, nécessaires pour assurer sa mise en œuvre effective à tous les échelons de chacune de ces entités.

Les menaces internes représentent un risque important pour la sécurité nucléaire. En raison de la proximité et des liens hiérarchiques avec des membres du personnel qui pourraient commettre des actes malveillants ou les faciliter, l'exploitant joue un rôle essentiel. L'exploitant doit être en mesure de prévenir cette menace, de la détecter et d'y faire face.

Ainsi, même dans un pays comme la France, où la sécurité a longtemps été considérée comme une prérogative de l'État, il n'est pas possible d'obtenir un bon niveau de sécurité nucléaire sans la participation et la contribution très active des exploitants. Le rôle de l'État restera cependant toujours important et décisif.

9.7.3. Quelles sont les obligations de l'exploitant en matière de sécurité nucléaire ?

En pratique, la sécurité nucléaire fait donc l'objet de responsabilités complémentaires entre l'État et l'exploitant. La réglementation nationale doit donc définir la responsabilité de l'exploitant.

Si l'État opte pour une approche fondée sur les résultats, l'exploitant établit son système de protection physique en fonction des menaces de référence. Si l'État considère que les exploitants doivent pouvoir par eux-mêmes prendre en charge toutes les menaces connues auxquelles le pays doit faire face, les menaces de référence devraient comprendre toutes ces menaces. Un État peut toutefois estimer qu'il n'est pas judicieux d'imposer aux exploitants de prendre en charge les menaces seuls. En France, on considère que les forces armées de l'exploitant ne peuvent pas gérer une crise seules. Leur action laisse le temps aux forces de

²⁶ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 2, art. 2 A, par. 3.

l'État d'intervenir. Les interventions sont donc complémentaires et coordonnées. Dans ce cas, les menaces de référence ne reprennent qu'une partie des menaces répertoriées par l'État. En France, par exemple, la directive nationale de sécurité du sous-secteur du nucléaire civil, dans laquelle les menaces de référence propres au secteur nucléaire sont décrites, définit précisément quelles missions sont sous la responsabilité des exploitants et quelles missions sont sous la responsabilité de l'État.

9.7.4. Quelle coopération avec les autres départements ministériels ?

Le rôle de l'exploitant est limité par les prérogatives et les moyens qui peuvent être attribués à une personne privée, par exemple :

- possibilité de collecter des informations et de recueillir des renseignements ;
- possibilité d'utiliser des armes, en particulier des armes de guerre ;
- possibilité d'intervenir avec des armes dans l'espace public ou seulement sur une propriété privée ;
- utilisation de caméras, de détecteurs, etc., en dehors d'une propriété privée (hors périmètre du site, mer et air, voies d'accès à la propriété privée, etc.) ;
- possibilité de contrôler les personnes, de les arrêter, etc. ;
- possibilité de décider quels objets peuvent être introduits sur la propriété privée, de fouiller une personne ou un véhicule, etc.

Dans un pays, toutes ces questions sont souvent réglementées et influent fortement sur la manière dont les rôles relatifs à la sécurité nucléaire sont répartis entre l'État et l'exploitant.

Comme ces moyens sont sévèrement réglementés et contrôlés dans les pays respectueux des libertés individuelles, l'État conserve un rôle prépondérant en matière de sécurité nucléaire, par exemple sur le plan du renseignement, du contre-terrorisme (interruption d'actes malveillants avant qu'ils ne soient perpétrés), de sécurité aérienne et maritime, d'intervention armée en cas d'attaque terroriste, d'enquêtes judiciaires et sanctions pénales, etc.

9.8. CHOIX DES SOLUTIONS TECHNIQUES, DES SITES ET DES ITINÉRAIRES DE TRANSPORT

9.8.1. Comment la sécurité nucléaire peut-elle être prise en compte pour le choix des technologies ?

Lorsqu'un État envisage de mettre en œuvre un programme nucléaire, la sécurité nucléaire doit être une de ses premières préoccupations, tout comme d'autres questions comme la sûreté nucléaire doivent être prises en considération. La notion de « sécurité dès la conception » mentionnée plus haut consiste à tenir compte de la menace de référence pour mieux définir les mesures de protection de l'installation qui doivent être adaptées à son exploitation.

Cette démarche peut conduire à privilégier une technologie par rapport à une autre, surtout après avoir évalué les différentes solutions techniques existantes pour le cadre national et la menace de référence applicable.

La difficulté qu'un État peut rencontrer concerne la communication d'informations sensibles du point de vue de la défense nationale (menace de référence) à une entité étrangère. Il est toujours bon de se souvenir de la citation d'Alexandre Dumas : « Les amis d'aujourd'hui sont les ennemis de demain » et vice versa.

Il est donc normal qu'un État se demande ce qu'il souhaite communiquer à une entité étrangère, même si la décision de choisir une technologie peut être le fruit d'une relation de confiance avec le fabricant, voire avec le pays du fabricant.

Comme il est expliqué plus haut, la menace de référence est le résultat de la décision d'un État d'exiger qu'un exploitant soit capable de protéger son installation contre une partie des menaces auxquelles l'État lui-même doit faire face.

Lorsqu'il évalue une technologie étrangère, l'État peut décider de définir une norme correspondant à un niveau approprié d'informations qui peuvent être communiquées sans compromettre la sécurité nationale, tout en assumant sa responsabilité complémentaire dans la protection de l'installation.

9.8.2. Quels sont les problèmes en matière de transport ?

La « sécurité dès la conception » peut également être élargie à toute la chaîne nécessaire au déroulement de l'activité nucléaire et à sa sécurité. En général, une activité nucléaire est rarement autonome. Elle dépend d'autres activités connexes qui concernent son cycle de vie, comme l'approvisionnement en combustible ou en matières nécessaires à son déroulement, le retraitement du combustible usé, l'entreposage des matières, etc.

Ces différentes activités peuvent être menées à proximité ou à distance les unes des autres (en particulier pour répondre aux problèmes d'aménagement du territoire, qui sont souvent de nature politique, mais qui ont des conséquences non négligeables pour la sécurité). Cette situation soulève le problème du transport des matières nucléaires et d'autres matières radioactives, qui présente des risques. Elle implique bien sûr de prendre des dispositions particulières pour la protection physique de ces transports à l'échelle nationale, ainsi qu'à l'échelle internationale lorsque l'État doit importer ou exporter de tels produits.

S'agissant des matières nucléaires, la CPPMN, avant d'être élargie par son amendement aux installations nucléaires, prévoyait déjà des obligations concernant le transport. La mise en œuvre de ces prescriptions internationales est définie dans des recommandations (figurant dans la publication INFCIRC/225/Rev.5) qui sont reconnues par la communauté internationale, sans être juridiquement contraignantes²⁷. L'objet de ces transports est d'acheminer des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives jusqu'à l'installation. Il importe donc également de tenir compte des transports (arrivées et départs) et de trouver le meilleur moyen de les sécuriser dès la phase de conception d'une installation nucléaire.

9.8.3. Comment la sécurité peut-elle être prise en compte pour le site retenu et son environnement ?

Les problèmes d'aménagement du territoire ont été mentionnés plus haut et font écho au principe important de la « sécurité dès la conception » pour le choix de l'emplacement de l'installation où l'activité nucléaire se déroulera. Ce choix répond souvent à des intérêts étrangers à la sécurité : raisons politiques, économiques ou sociales (particulièrement sur le plan de l'acceptabilité du projet par les populations locales), contraintes opérationnelles, etc.

La sécurité ne doit cependant pas être négligée dans les choix effectués. En matière de sécurité, il n'existe pas de solution unique (solution de sécurité standardisée) qui peut être adaptée sans tenir compte du contexte local. Les stratégies de protection doivent être différentes afin d'être le mieux adapté possible à l'installation et surtout à son environnement. Les modes opératoires et les tactiques de l'agresseur dépendent de l'emplacement de l'installation. Il doit donc y avoir un système de protection physique approprié pour l'installation, ainsi que pour les interventions de l'État, qui doivent être dimensionnées en conséquence.

Illustrons ces considérations par un exemple étranger au secteur nucléaire. Il montre que ces notions ne sont pas si nouvelles. Le Palais Garnier (l'un des deux

²⁷ AIEA 2011a.

opéras de Paris) est un exemple concret qui illustre ces deux aspects du principe de la « sécurité dès la conception ». Le 14 janvier 1858, Napoléon III fut victime d'un attentat à la bombe devant l'opéra, qui se trouvait alors rue Le Peletier. Après cet attentat, il décida de construire un nouvel opéra, plus prestigieux, mais aussi mieux protégé. Il s'agit du Palais Garnier, qui est aujourd'hui un des plus célèbres monuments de Paris. La sécurité était donc l'une des principales préoccupations concernant le monument. L'attentat commis a conduit à l'idée d'un itinéraire court, rapide et protégé entre le lieu de résidence de l'Empereur et le nouvel opéra. On a donc créé l'avenue de l'Opéra, qui était assez large et reliait les deux lieux en ligne directe, de sorte qu'il était très difficile d'organiser un attentat sur l'itinéraire.

Cet exemple montre clairement la nécessité de disposer d'une évaluation intégrée du contexte industriel dans lequel s'insère l'installation nucléaire, et la nécessité de tenir compte du transport dès le départ, durant la phase de réflexion sur l'emplacement de l'activité. La rotonde de l'Empereur constitue un autre aspect intéressant de la conception initiale du Palais Garnier. Cette construction offre un accès sécurisé réservé à l'Empereur, car elle assure une protection efficace contre tout attentat commis depuis l'extérieur.

Elle montre l'importance de cette phase de transition, qui peut parfois présenter des points faibles importants si rien n'est prévu lorsqu'un transport de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives arrive à l'installation.

9.9. CONFIDENTIALITÉ, TRANSPARENCE ET COMMUNICATION

La confidentialité est l'un des 12 principes fondamentaux de sécurité nucléaire qui figurent dans l'Amendement de 2005²⁸ :

PRINCIPE FONDAMENTAL L : Confidentialité

L'État devrait établir les prescriptions à respecter pour préserver la confidentialité des informations, dont la divulgation non autorisée pourrait compromettre la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires.

Comme il est expliqué à plusieurs reprises dans le présent chapitre, les États appliquent donc ce principe à l'échelle nationale et à l'échelle internationale, surtout pour la préparation et la rédaction des instruments internationaux. Ce principe influence aussi sur d'autres aspects propres au secteur nucléaire, comme le

²⁸ Amendement à la CPPMN, *supra*, note 2, art. 2 A, par. 3.

principe de transparence ou la gestion d'une situation d'urgence radiologique et la communication correspondante nécessaire.

9.9.1. Quels sont les défis à relever en matière de communication face au terrorisme ?

Dans le domaine de la sécurité, la menace se caractérise généralement par une motivation (idéologie, cause personnelle, etc.), des capacités (ressources matérielles et humaines disponibles, connaissance du domaine concerné, etc.) et une cible, qui attire l'agresseur. Ce dernier aspect englobe la dimension symbolique que la cible représente. À l'heure actuelle, la principale menace contre laquelle les États se protègent est le terrorisme. Sans vouloir donner une définition universelle de cette notion, qui est difficile à caractériser, il est intéressant de citer Raymond Aron, qui définit le terrorisme de la manière suivante : « Est dite terroriste une action de violence dont les effets psychologiques sont hors de proportion avec les résultats purement physiques²⁹ ». Le proverbe suivant, qui reflète la symbolique qu'une cible potentielle peut avoir, est une autre manière de caractériser le terrorisme : « Il vaut mieux tuer une personne et être vu de mille que de tuer mille personnes et n'être vu que d'une seule ». Lorsque l'on songe à une activité nucléaire, surtout dans certains pays fortement nucléarisés, l'aspect symbolique est évident. En cas d'acte terroriste, la question de la communication et de l'acceptation de l'énergie nucléaire jouera donc nécessairement un rôle essentiel, et chaque État doit être bien préparé.

9.9.2. Pourquoi protéger les informations ?

De façon plus pragmatique, l'attractivité d'une cible se caractérise par le fait qu'elle peut être atteinte par les moyens dont dispose l'agresseur. Parmi les différentes mesures qui peuvent être prises pour rendre une cible plus difficile à atteindre, on peut citer la dissuasion. Il existe plusieurs manières d'atteindre cet objectif : prévoir des sanctions dans le cadre de la législation nationale, mettre en lumière le haut niveau de sécurité dont bénéficie l'installation (barrières installées et nombreuses caméras, par exemple), organiser aléatoirement des patrouilles de gardiens et de forces d'intervention à l'intérieur et à l'extérieur de la zone réglementée d'une installation nucléaire, etc. La dissuasion n'impose cependant pas une transparence totale, qui permettrait évidemment plus facilement à un agresseur de préparer un acte malveillant. Il faut donc répertorier avec soin les informations qu'il est indispensable de protéger.

²⁹ Aron 1962, p. 176.

9.9.3. Comment trouver un équilibre entre la protection de l'information et le principe de transparence dans le secteur nucléaire ?

Dans le secteur nucléaire, la transparence est souvent érigée en valeur fondamentale. En France, la principale loi dans le domaine nucléaire s'intitule « Loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire³⁰ ». Elle définit la transparence de la manière suivante : « ensemble des dispositions prises pour garantir le droit du public à une information fiable et accessible en matière de sécurité nucléaire ». Ce principe influe donc sur les objectifs de confidentialité relatifs à la sécurité nucléaire, qui sont évoqués plus haut. Il faut trouver le juste équilibre entre ce qui peut être communiqué et ce qui doit être réservé à ceux qui ont besoin d'en connaître. Ces considérations montrent l'importance des interfaces entre la sûreté nucléaire et la sécurité nucléaire en matière de communication, surtout d'un point de vue technique. En France, par exemple, un événement de sûreté ou de radioprotection significatif donne lieu à un communiqué. Celui-ci est classé dans une certaine catégorie en fonction de l'importance et de la portée de l'événement. Il peut donc rester local, ou être national, voire international. Afin de respecter les objectifs de la loi citée plus haut, des détails techniques sur l'origine et les conséquences de l'événement peuvent figurer dans le communiqué. Ces informations peuvent créer des failles pour l'installation concernée, et peuvent être exploitées par certaines personnes à des fins malveillantes. En France, le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires. Les nombreux débats qui ont été organisés au sein de cet organisme ont conduit à l'élaboration d'avis permettant de mieux définir les informations qui doivent être protégées pour assurer la sécurité nucléaire.

9.9.4. Comment protéger les informations en période de gestion de crise ?

Les dispositions relatives à la transparence s'appliquent également à la gestion d'une crise de sécurité. La communication doit être équilibrée, sachant qu'une pression médiatique sera exercée pour couvrir l'événement et donner des informations au public.

Lorsque la sécurité est à l'origine de la crise, certaines informations ou certains comportements peuvent nuire au bon déroulement de l'action des forces de sécurité nationales. La France a été touchée par de graves attentats en 2015.

³⁰ Dans cette loi, la sécurité nucléaire comprend la sûreté nucléaire, la radioprotection, la prévention et la lutte contre les actes de malveillance, ainsi que les actions de sécurité civile en cas d'accident.

Certains comportements des médias ont pu perturber les opérations de sécurité pendant la crise. La mission d'information des médias a pu les conduire à communiquer des informations qui ont été exploitées par les terroristes. Ainsi, l'un d'entre eux utilisait régulièrement un ordinateur pour regarder différentes chaînes d'information afin de connaître la situation à l'extérieur (en particulier la manière dont les forces de sécurité nationales présentes sur place étaient organisées). Encore une fois, dans ce contexte, nous insistons sur l'importance de la gestion des relations avec tous les acteurs, compte tenu de leurs divergences d'objectifs.

En France, toute crise majeure est gérée à l'échelle nationale dans un cadre unique, quelle que soit son origine : nucléaire (cause technique ou naturelle, acte malveillant, etc.), terroriste ou de toute autre nature. Elle est gérée par une seule autorité. Une crise nucléaire due à un acte malveillant est principalement gérée par les autorités qui sont habituellement chargées de la lutte contre le terrorisme (services du Premier Ministre et Ministère de l'intérieur). Les autorités responsables de la sûreté nucléaire et de la sécurité nucléaire³¹ donnent des conseils et font des points de situation dans leur domaine de compétence, mais n'ont aucun rôle décisionnel. Il convient de noter que les autorités de décision ne participent généralement pas directement aux travaux menés par l'AIEA. À l'échelle nationale, les communications sont donc assurées par les experts de l'autorité de sécurité nucléaire sur les questions qui relèvent de leur compétence. Ces experts utiliseront de préférence le réseau de communications internationales qu'ils ont créé conformément à leurs besoins et à leurs objectifs. Cette situation montre l'importance du rôle de l'AIEA dans la coordination de l'élaboration d'outils qui répondent aux problèmes spécifiques du secteur nucléaire.

9.10. CONCLUSION

Le présent chapitre n'avait pas pour objet de décrire en quelques pages l'ensemble du processus nécessaire pour créer un régime de sécurité nucléaire, mais d'exposer à grands traits certaines des grandes questions qu'un État doit examiner lorsqu'il se prépare à lancer un programme nucléaire et donc à mettre en place un régime de sécurité nucléaire.

Il est essentiel que l'État comprenne que la sécurité nucléaire s'inscrit dans le cadre d'une coopération nationale intense, surtout dans des domaines où les contacts sont importants, comme le renseignement, la surveillance, la coopération avec les forces de sécurité nationales ou la sécurité informatique. Il

³¹ En France, l'autorité de sécurité est chargée de la réglementation et du contrôle de sa mise en œuvre. Elle est donc l'interlocutrice privilégiée dans des organisations multilatérales comme l'AIEA.

est donc indispensable de mettre en place une gouvernance nationale. L'autorité compétente pour la sécurité nucléaire, dont la position est adaptée à la sécurité nationale du pays, devrait participer en tant que de besoin à la coordination afin de contribuer à la cohérence du cadre national et international de la sécurité nucléaire. Cette autorité a également des relations avec les autres composantes du secteur nucléaire et avec la société civile. En règle générale, la transparence est une valeur fondamentale qui entre en conflit avec la confidentialité ou avec la protection de l'information. Afin d'éviter un isolement possible de l'autorité compétente par rapport à ses partenaires, il faut trouver le meilleur équilibre entre protection et communication d'informations.

La menace à laquelle un exploitant fait face constitue une autre particularité de la sécurité nucléaire, car l'acte malveillant est un acte humain capable d'adaptation, alors que, dans le domaine de la prévention des risques, l'exploitant doit tenir compte des agressions naturelles ou involontaires. Pendant les phases de conception et d'autorisation, il est essentiel que l'exploitant et l'autorité compétente mènent leur analyse du point de vue de la personne malveillante. Ce changement de paradigme n'est pas intuitif, car pour l'évaluation des risques, la logique consiste généralement à adopter le point de vue du « défenseur ». Certaines mesures préconisées pour sécuriser une activité nucléaire sont initialement conçues pour assurer des fonctions de sûreté nucléaire. Il est donc essentiel de s'assurer que ces mesures sont fortes et efficaces contre un ou plusieurs individus animés d'une intention criminelle ou délictueuse. Cela permet également de découvrir certains modes opératoires ou scénarios malveillants qui sont difficiles à prévoir d'une autre manière.

Il est toujours utile de se souvenir que, en dépit de la responsabilité souveraine des États, la sécurité nucléaire fait partie des questions de sécurité mondiale. Les menaces terroristes sont souvent internationales et une coopération internationale efficace est nécessaire pour les combattre. Les conséquences d'actes malveillants sur les activités nucléaires sont telles que chaque État est concerné par la manière dont les autres États abordent les questions de sécurité nucléaire.

La sécurité nucléaire, domaine qui relève de la sécurité nationale, présente des aspects très spécifiques, en particulier sur le plan de la souveraineté et de la protection des informations, de sorte qu'elle est très différente des autres composantes du secteur nucléaire. Elle se rattache à un corpus de droit international plus large, qui répond à des préoccupations spécifiques, par sa propre logique et ses propres objectifs. La situation est la même pour la sûreté nucléaire et les garanties. Une approche trop nucléaire pourrait écarter des experts de différents domaines au profit de généralistes. Elle ne permettrait pas d'assurer une cohérence avec d'autres cadres connexes au-delà des préoccupations du secteur nucléaire, comme la sécurité au sens large à l'échelle nationale et

internationale. Dans cette logique, l'AIEA joue un rôle essentiel de coordination en permettant d'établir les points qui sont indispensables pour définir et gérer convenablement les interfaces entre les trois composantes du secteur nucléaire, tout en garantissant le maintien de leur singularité pour la bonne intégration des considérations mentionnées plus haut.

La coopération internationale est essentielle pour que les spécialistes du secteur nucléaire puissent mettre en commun les bonnes pratiques et pour pouvoir établir des recommandations reconnues par la communauté internationale.

À cet égard, l'AIEA occupe une place centrale, que ce soit par sa collection Sécurité nucléaire, les nombreux cours, ateliers et conférence qu'elle organise, ou les différents services qu'elle propose aux États.

Il ne faut cependant pas oublier que, dans de nombreux domaines, il peut également être judicieux de tirer parti des relations régionales ou bilatérales. À titre d'exemple, il existe une association qui regroupe les autorités de sécurité nucléaire de plusieurs pays européens, appelée Association européenne des autorités de sécurité nucléaire (ENSRA). Cette association offre la possibilité d'examiner des questions précises et d'échanger des informations plus librement que dans le cadre de l'AIEA. En outre, les États concluent généralement avec d'autres États des accords bilatéraux de coopération, qui contiennent des clauses de confidentialité.

9.11. POUR ALLER PLUS LOIN ...

La CPPMN peut principalement être considérée comme un instrument politique (les États parties disent qu'ils respectent les obligations de la Convention sans détailler les modalités de leur mise en œuvre), mais cela ne signifie pas que les États parties n'honorent pas leurs engagements de bonne foi. Certains États ont un autre point de vue et considèrent que l'objectif de la Convention est d'assurer de manière très concrète que les autres États protègent efficacement leurs installations et leur en apportent la garantie. Ils s'attendaient à ce qu'un mécanisme de vérification soit mis en place. Cette vision se heurte toutefois aux principes mentionnés plus haut.

La possibilité qu'ont les États parties de convoquer une conférence en application de l'article 16 de la CPPMN et de son amendement offre une méthode d'évaluation qui repose elle aussi sur le principe de la bonne foi. Pour ce type d'activité, il est généralement admis que les États doivent compter sur l'exactitude et sur l'exhaustivité des informations qui sont communiquées par chaque partie. L'énergie nucléaire civile est un sujet sensible à l'échelle nationale et internationale, car elle préoccupe réellement la société civile. Ce constat soulève la question suivante : Dans quelle mesure un État est-il disposé

à présenter sur la scène internationale, de manière très transparente, les points faibles de ses installations ou de son organisation ? Même si cette information n'est pas accessible au public, le maintien d'une bonne réputation est une question importante pour les États.

En raison de ces contraintes, il semble peu probable que la conférence soit le moyen le plus approprié pour garantir à tous les États, de manière concrète et utile, le respect des obligations prévues par la Convention.

Comme il est expliqué plus haut, l'AIEA a mis en place l'IPPAS pour évaluer le régime de protection physique d'un État au regard des obligations qui figurent dans la CPPMN, son amendement de 2005 et la publication INFCIRC/225/Rev.5. Cette évaluation comprend un examen détaillé, à l'échelle nationale, du cadre législatif et réglementaire et des mesures et des procédures mises en œuvre par l'État conformément aux dispositions du cadre international. L'IPPAS, qui est proposé par l'AIEA, permet un examen par des pairs sûr et parfaitement adapté à la sécurité nucléaire. Le pays concerné reçoit un rapport détaillé, à la suite d'une analyse approfondie menée par une équipe internationale d'experts reconnus. Même si les informations les plus sensibles ne peuvent être communiquées aux experts, cet outil est bien adapté à l'objectif de garantie que certains États parties voudraient assigner à la Convention. Il est donc judicieux d'encourager tous les États parties à accueillir une mission IPPAS initiale et à envisager de demander périodiquement l'organisation d'autres missions.

RÉFÉRENCES

- Aron R. (1962), Paix et guerre entre les nations. Calmann-Lévy, Paris.
- Breivik A (2011) 2083 – A European Declaration of Independence. <https://info.publicintelligence.net/AndersBehringBreivikManifesto.pdf>, page consultée le 20 août 2021.
- Code civil. Ordonnance n° 2016-131 du 10 février 2016 portant réforme du droit des contrats, du régime général et de la preuve des obligations. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000032004939/>, page consultée le 20 août 2021.
- Code de la défense (2021), <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006071307/>, page consultée le 20 août 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2004), Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, IAEA/CODEOC/2004. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2011a), Recommandations de sécurité nucléaire sur la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (INFCIRC/225/Révision 5), n° 13 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2011b), Recommandations de sécurité nucléaire relatives aux matières radioactives et aux installations associées, n° 14 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2014), Objectif et éléments essentiels du régime de sécurité nucléaire d'un État. Fondements de la sécurité nucléaire, n° 20 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tornhauser W. (2006), Manuel de droit nucléaire. AIEA, Vienne.
- Assemblée générale des Nations Unies (1946), Création d'une commission chargée d'étudier les problèmes soulevés par la découverte de l'énergie atomique, résolution 1(I). [https://undocs.org/fr/A/RES/1\(I\)](https://undocs.org/fr/A/RES/1(I)), page consultée le 20 août 2021.
- Assemblée générale des Nations Unies (1997), résolution 51/210, A/RES/51/210. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N97/761/66/PDF/N9776166.pdf>, page consultée le 20 août 2021.
- Conseil de sécurité de l'ONU (2004), résolution 1540, S/RES/1540. [https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20\(2004\)&Lang=F](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20(2004)&Lang=F), page consultée le 20 août 2021.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

10. LES GARANTIES DE L'AIEA : EXACTITUDE ET EXHAUSTIVITÉ DES DÉCLARATIONS DES ÉTATS

Laura Rockwood

Résumé Le pouvoir juridique de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États au titre des accords de garanties généralisées ayant été parfois contesté ces dernières années, le chapitre évalue le droit et la pratique relatifs à cette question depuis le début des années 1990. En particulier, il est centré sur le droit et l'obligation de l'AIEA de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États pour concrétiser l'un des principes les plus fondamentaux concernant la mise en œuvre des accords de garanties généralisées. Il présente une analyse textuelle et historique détaillée en précisant que, pour s'acquitter de cette obligation, l'AIEA ne doit pas seulement accéder aux informations concernant les matières nucléaires qui ont été déclarées par l'État ou aux emplacements où ces matières ont été déclarées à l'Agence. Toute interprétation contraire ferait revenir l'AIEA à une approche de la vérification antérieure à 1991, laquelle était principalement axée sur les matières nucléaires déclarées et qui avait empêché l'Agence de détecter le programme nucléaire non déclaré de l'Iraq.

Mots clés Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) • Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) • Garanties • Exactitude et exhaustivité • Accord de garanties généralisées • Conseil des gouverneurs de l'AIEA • Directeur général de l'AIEA • Matières nucléaires découlant d'activités déclarées • Activités nucléaires non déclarées • Protocole additionnel

10.1. INTRODUCTION

Dans le contexte des garanties internationales, il est peu de questions juridiques qui aient suscité un débat aussi vif que le pouvoir de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États au titre des accords de garanties généralisées. Il s'agit, plus précisément, de se demander si l'AIEA a pour mandat et le pouvoir de vérifier qu'aucune matière nucléaire déclarée n'est détournée à

des fins interdites et qu'il n'y a aucune matière ou activité nucléaire non déclarée dans un État qui a conclu un tel accord¹.

Si le droit et la pratique à cet égard ont bien apporté une réponse positive à cette question depuis le début des années 1990, les contestations occasionnelles auxquelles le pouvoir de l'Agence donne lieu depuis quelques années invitent à réaffirmer les principes les plus fondamentaux concernant la mise en œuvre des accords de garanties généralisées, à savoir que l'AIEA a le droit et l'obligation de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États et que ce droit et cette obligation découlent des accords eux-mêmes.

10.2. HISTORIQUE

Le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP)² a chargé l'AIEA de vérifier que les États non dotés d'armes nucléaires (ENDAN) s'acquittent des obligations que leur impose le Traité « en vue d'empêcher que l'énergie nucléaire ne soit détournée de ses utilisations pacifiques vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires ». À cette fin, chaque ENDAN devait, en vertu du TNP, conclure avec l'AIEA un accord pour l'application de garanties sur toutes les matières brutes ou tous les produits fissiles spéciaux utilisés dans toutes activités nucléaires pacifiques exercées sur le territoire d'un tel État, sous sa juridiction, ou entreprises sous son contrôle en quelque lieu que ce soit – ce que l'on appelle des accords de garanties « intégrales » ou « généralisées » (accords de garanties généralisées).

Avec l'entrée en vigueur du TNP en 1970, les États Membres de l'AIEA ont, dans le cadre d'un comité à composition non limitée du Conseil des gouverneurs (Comité 22), négocié le document qui sert de base à tous les accords de garanties généralisées : Structure et contenu des accords à conclure entre l'Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/153 (corrigé). Tous les accords de garanties généralisées conclus par

¹ Le présent chapitre s'inspire largement, avec l'autorisation des auteurs, de plusieurs publications signées ou cosignées par Laura Rockwood, qui a occupé pendant 28 ans les fonctions de conseillère juridique principale pour tous les aspects concernant la négociation, l'interprétation et la mise en œuvre des garanties de l'AIEA, et a été la principale auteure du document qui est devenu le modèle de Protocole additionnel. Au nombre de ces publications figurent notamment Rockwood et Johnson 2015 ; Rockwood 2014. L'auteure a également utilisé des données élaborées par Albright *et al.* 2012.

² Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968 et entré en vigueur le 5 mars 1970 (TNP).

l'AIEA depuis lors ont été basés sur le document INFCIRC/153 et le modèle d'accord qui en découle et est reproduit dans le document GOV/INF/276³.

Lorsqu'elle a découvert le programme nucléaire clandestin de l'Iraq en 1991, l'AIEA mettait en œuvre des garanties en vertu d'accords de garanties généralisées depuis 20 ans. Au cours de ces deux décennies, les activités de garanties menées par l'Agence dans la pratique, et non parce que le pouvoir juridique de le faire lui aurait fait défaut, ont principalement porté sur la vérification des matières nucléaires déclarées dans des installations déclarées. Les garanties ont été mises en œuvre et évaluées installation par installation, et non en examinant la situation dans l'ensemble de l'État. Du fait de cette approche, et bien qu'elle ait systématiquement cherché à vérifier qu'il n'y avait pas de production non déclarée de matières nucléaires dans les installations déclarées, en particulier les réacteurs de recherche, l'Agence n'a pas cherché à vérifier qu'il n'y avait pas de matières nucléaires non déclarées ailleurs dans l'État concerné.

Le défaut de cette approche est devenu manifeste avec la découverte en 1991 des activités nucléaires non déclarées et du programme d'armement nucléaire clandestin de l'Iraq. Cette découverte a provoqué une réévaluation de l'idée classique, mais dénuée de fondement, selon laquelle le pouvoir juridique de l'AIEA découlant des accords de garanties généralisées se limitait à la vérification des matières et installations nucléaires déclarées par l'État.

Les États Membres de l'AIEA ont tenu à signaler que l'Agence devait et pouvait faire davantage pour donner des assurances concernant non seulement le non-détournement de matières nucléaires déclarées, mais aussi l'absence de matières et d'activités nucléaires non déclarées dans les États en question. En liaison avec le Secrétariat de l'AIEA, le Conseil des gouverneurs a réévalué l'accent mis par l'Agence sur les matières nucléaires déclarées et conclu que, compte tenu du pouvoir juridique existant tel qu'énoncé dans le document INFCIRC/153, l'AIEA avait le droit et l'obligation de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États.

Comme on le voit dans le présent chapitre, entre 1991 et 1993, le Conseil et la Conférence générale de l'AIEA ont pris un certain nombre de décisions réaffirmant ce droit et cette obligation afin que, dans un État ayant conclu un accord de garanties généralisées, aucune matière nucléaire, déclarée ou non, ne soit détournée vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires. Il convient de noter que toutes ces décisions ont été prises bien avant qu'il ne soit question à l'AIEA d'un pouvoir juridique supplémentaire, et que ce droit et cette obligation ont été régulièrement confirmés par les organes directeurs de l'AIEA depuis le début des années 1990.

³ AIEA 1974.

À la fin de 1993, le Secrétariat de l'AIEA a, à la demande du Conseil des gouverneurs, lancé un ambitieux programme qui visait à mettre en place un ensemble complet de mesures destinées à renforcer les garanties : le Programme 93+2. Ces mesures, qui ont été présentées au Conseil en février 1995⁴, se composaient de deux parties. La première partie comprenait les mesures qui pouvaient être mises en œuvre en vertu de l'autorisation juridique existante découlant des accords de garanties généralisées. La plus importante de ces mesures consistait à modifier profondément l'évaluation par l'AIEA des informations dont elle disposait sur un État. Au lieu d'évaluer les résultats de ses opérations de vérification séparément pour chaque installation dans un État, l'AIEA viserait à obtenir, d'une manière cohérente et interconnectée, une représentation du programme nucléaire de l'État en examinant cet État dans son ensemble. La seconde partie comprenait des mesures que le Secrétariat proposait de mettre en œuvre en s'appuyant sur un nouvel instrument juridique. Ces mesures ont fini par devenir le modèle de Protocole additionnel, que le Conseil a approuvé en mai 1997⁵.

Le modèle de Protocole additionnel a été négocié par un autre comité à composition non limitée du Conseil des gouverneurs (Comité 24). Il a été conçu comme un modèle à suivre pour les protocoles à conclure avec les États parties à des accords de garanties généralisées, en vue de donner à l'AIEA des moyens renforcés de remplir les obligations que lui imposent ces accords en lui donnant l'autorisation complémentaire de demander à accéder, de façon plus systématique, à des renseignements et emplacements supplémentaires liés au cycle du combustible nucléaire d'un État.

Le temps a passé depuis lors, mais le fondement juridique de l'activité de l'AIEA continue de susciter des interrogations. Cela tient en partie au fait que certains connaissent mal les problèmes et l'historique de la question ; certaines personnes entendent restreindre le pouvoir de l'AIEA de prendre ces mesures. Quelles que soient les motivations, il importe de mettre les choses au point en ce qui concerne ce pouvoir.

10.3. INTERPRÉTATION DU TRAITÉ

La publication *Nuclear Non-Proliferation in International Law, Volume II: Verification and Compliance* donne une analyse approfondie de l'application

⁴ AIEA 1995, annexes 1 et 4.

⁵ AIEA 1998.

des règles générales d'interprétation des traités⁶. Nous nous appuyons ici sur cette analyse.

Conformément aux règles générales d'interprétation codifiées dans la Convention de Vienne sur le droit des traités et la Convention de Vienne sur le droit des traités entre États et organisations internationales ou entre organisations internationales (collectivement appelées « CVDT »)⁷, ces accords de garanties doivent être interprétés de bonne foi suivant le sens ordinaire à attribuer à leurs termes dans leur contexte et à la lumière de leur objet et de leur but. Il sera également tenu compte de tout accord ultérieur intervenu entre les parties au sujet de l'interprétation des accords ou de l'application de leurs dispositions et de toute pratique ultérieurement suivie dans l'application des accords par laquelle est établi l'accord des parties à l'égard de l'interprétation des accords.

Une simple lecture du document INFCIRC/153 indique clairement qu'un accord de garanties généralisées requiert de l'AIEA qu'elle donne des assurances que toutes les matières nucléaires déclarées d'un État sont bien placées sous garanties et que ce dernier a bien déclaré et placé sous garanties toutes les matières nucléaires qui doivent être déclarées. Les paragraphes 1 et 2 du document INFCIRC/153 portent respectivement sur l'engagement fondamental de l'État d'accepter des garanties (par. 1) et le droit et l'obligation de l'AIEA d'appliquer les garanties (par. 2). Chaque accord de garanties généralisées contient des articles qui correspondent à ces paragraphes.

Conformément au paragraphe 1 du document INFCIRC/153, l'État est tenu d'« accepter des garanties [...] sur *toutes* les matières brutes et *tous* les produits fissiles spéciaux dans toutes les activités nucléaires pacifiques exercées sur [son] territoire [...], sous sa juridiction, ou entreprises sous son contrôle en quelque lieu que ce soit, à seule fin de vérifier que ces matières et produits ne sont pas détournés vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires » (italiques ajoutés).

Le paragraphe 2 du document INFCIRC/153 prévoit que l'Agence a « *le droit et l'obligation de faire en sorte que les garanties soient appliquées [...] sur toutes les matières brutes et tous les produits fissiles spéciaux* dans toutes les activités nucléaires pacifiques exercées sur le territoire de l'État, sous sa juridiction, ou entreprises sous son contrôle en quelque lieu que ce soit, à seule fin de vérifier que ces matières et produits ne sont pas détournés vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires » (italiques ajoutés).

⁶ Rockwood et Johnson 2015, p. 57 à 94.

⁷ Convention de Vienne sur le droit des traités, ouverte à la signature le 23 mai 1969 et entrée en vigueur le 27 janvier 1980 ; Convention de Vienne sur le droit des traités entre États et organisations internationales ou entre organisations internationales, ouverte à la signature le 21 mars 1986, pas encore en vigueur.

Les rédacteurs du document INFCIRC/153 se sont accordés sur ce libellé du paragraphe 2 après avoir dûment examiné et explicitement rejeté une proposition d'un État Membre tendant à ce que « les garanties et inspections [...] ne portent que sur les matières indiquées par l'État concerné⁸ ».

L'examen d'autres dispositions du document INFCIRC/153 conforte cette interprétation. Conformément au document INFCIRC/153, dès l'entrée en vigueur d'un accord de garanties généralisées, l'État soumet à l'AIEA un rapport initial sur toutes les matières nucléaires soumises à des garanties et lui fournit des renseignements sur toutes les installations nucléaires existantes⁹. L'AIEA est autorisée à demander à avoir accès à l'État pour vérifier ces renseignements en procédant à des inspections (ad hoc, régulières et spéciales) et en vérifiant les renseignements descriptifs.

Les inspections ad hoc servent notamment à vérifier les renseignements contenus dans la déclaration initiale de l'État sur les matières nucléaires [par. 71 a)]. En vertu du paragraphe 76 a), les inspections ad hoc prévues à ces fins peuvent être menées dans « tout emplacement où, d'après le rapport initial *ou une inspection faite à l'occasion de ce rapport, se trouvent des matières nucléaires* » (italiques ajoutés), ce qui autorise l'AIEA à demander à avoir accès non seulement aux emplacements déclarés par l'État dans son rapport initial, mais aussi à d'autres emplacements non déclarés par l'État.

Les inspections régulières sont faites dans les installations et dans les emplacements hors installation où des matières nucléaires sont habituellement utilisées, pour vérifier que les rapports de l'État sont conformes à sa comptabilité, vérifier « l'emplacement, l'identité, la quantité et la composition de toutes les matières nucléaires soumises aux garanties en vertu de l'accord » et établir les causes possibles de certains écarts. En vertu du paragraphe 76 c) du document INFCIRC/153, les inspecteurs effectuant des inspections régulières ont accès aux seuls points stratégiques convenus et à la comptabilité tenue conformément à l'accord de garanties généralisées. Les paragraphes 78 à 82 limitent le nombre, la fréquence et l'intensité des inspections régulières.

Le paragraphe 73 b) du document INFCIRC/153 autorise l'Agence à faire des inspections spéciales, notamment si elle « estime que les renseignements communiqués par l'État, y compris les explications fournies par celui-ci et les renseignements obtenus au moyen des inspections régulières, *ne lui suffisent pas pour s'acquitter de ses responsabilités en vertu de l'accord* » (italiques ajoutés). Comme l'indique le paragraphe 2 du même document, ces responsabilités consistent notamment à s'assurer que les garanties sont appliquées à *toutes* les matières nucléaires que l'État est tenu de déclarer. Le paragraphe 73 dispose

⁸ International Energy Associates Ltd 1984, p. 33 à 44.

⁹ AIEA 1975, par. 62 et 42.

expressément qu'une inspection est dite spéciale lorsque cette inspection s'ajoute aux activités d'inspection régulières prévues aux paragraphes 78 à 82 ou lorsque « *les inspecteurs ont un droit d'accès à des renseignements ou emplacements qui s'ajoute au droit d'accès qui est spécifié au paragraphe 76 [...] pour les inspections régulières et les inspections ad hoc* » (italiques ajoutés).

Le paragraphe 19 du document INFCIRC/153 dispose qu'« au cas où le Conseil, après examen des renseignements pertinents communiqués par le Directeur général, constate que l'Agence n'est pas à même de vérifier que les matières nucléaires *qui doivent être soumises aux garanties conformément à l'accord* n'ont pas été détournées vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires¹⁰ » (italiques ajoutés), le Conseil « peut rendre compte, comme il est dit au paragraphe C de l'article XII du Statut et peut également prendre, lorsqu'elles sont applicables, les autres mesures prévues par ce paragraphe¹¹ ». Le libellé du paragraphe 19 réaffirme le droit de l'Agence de faire en sorte non seulement qu'aucune matière nucléaire déclarée ne soit détournée à des fins interdites, mais aussi qu'aucune matière nucléaire, déclarée ou non, ne soit détournée à ces fins¹².

Comme indiqué au paragraphe 28 du document INFCIRC/153, l'objectif des garanties dans le cadre d'accords de garanties généralisées est double :

« L'accord devrait prévoir que l'objectif des garanties est de *déceler rapidement le détournement* de quantités significatives de matières nucléaires des activités nucléaires pacifiques vers la fabrication d'armes nucléaires ou autres dispositifs nucléaires explosifs ou à des fins inconnues, et de *dissuader tout détournement par le risque d'une détection rapide* » (italiques ajoutés).

¹⁰ AIEA 1975.

¹¹ En vertu de l'article XII.C du Statut de l'AIEA, le Directeur général transmet au Conseil des gouverneurs les rapports sur les violations constatées. Le même article dispose également que le Conseil « enjoint à l'État ou aux États bénéficiaires de mettre fin immédiatement à toute violation dont l'existence est constatée. Le Conseil porte cette violation à la connaissance de tous les membres et en saisit le Conseil de sécurité [de l'ONU] et l'Assemblée générale des Nations Unies ».

¹² Le document INFCIRC/153 contient bien d'autres dispositions qui montrent clairement l'intention de ses rédacteurs. Ses paragraphes 7, 8, 11, 12, 13 et 18 se réfèrent tous à des « matières nucléaires soumises à des garanties », ce qui, dans l'esprit du Comité, signifiait non pas simplement les matières placées sous garanties, mais les matières qui devaient être soumises à des garanties. Selon Myron Kratzer, le négociateur en chef américain du document INFCIRC/153, le terme plus explicite de « matières nucléaires qui doivent être soumises aux garanties » a été utilisé au paragraphe 19 compte tenu du fait que « le sens en était peut-être plus clair, sans toutefois être différent du terme "matières nucléaires soumises à des garanties" », International Energy Associates Ltd. 1984.

Comme indiqué dans l'analyse dont il a été question plus haut, il s'ensuit que le sens ordinaire à attribuer aux termes du document INFCIRC/153 et des accords de garanties généralisées conclus par l'AIEA sur la base de ce document dans leur contexte et à la lumière de l'objet et du but de ces accords « devait permettre de vérifier la non-utilisation abusive de toute matière nucléaire dans un État, qu'elle soit déclarée ou non. En tout état de cause, le texte du document INFCIRC/153 indique encore plus clairement que les accords basés sur ce document permettent à l'AIEA de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États¹³ ».

Le fait d'empêcher l'AIEA de s'assurer qu'aucune matière nucléaire ne restait hors du champ des garanties et n'était utilisable à des fins interdites irait à l'encontre du but même de ces accords de garanties.

En application des CVDT, il sera également tenu compte, pour interpréter un traité, de tout accord ultérieur intervenu entre les parties au sujet de l'interprétation des accords ou de l'application de leurs dispositions et de toute pratique ultérieurement suivie dans l'application des accords par laquelle est établi l'accord des parties à l'égard de l'interprétation des accords. La section suivante décrit les accords ultérieurement intervenus et les pratiques ultérieurement suivies qui, collectivement, réaffirment l'interprétation.

10.4. LES PRINCIPES ESSENTIELS DES GARANTIES GÉNÉRALISÉES

10.4.1. En vertu d'un accord de garanties généralisées, un État est tenu de déclarer toutes les matières nucléaires à l'Agence. S'il ne le fait pas, son comportement est incompatible avec cette obligation

Sur la base d'une simple lecture du document INFCIRC/153, ainsi que des décisions du Conseil des gouverneurs, un État est tenu, en vertu du paragraphe 1 de l'accord de garanties généralisées le concernant, de déclarer *toutes* les matières et installations nucléaires à l'Agence ; s'il ne le fait pas, son comportement est incompatible avec cette obligation.

- a) INFCIRC/153 : Le paragraphe 1 du document INFCIRC/153 dispose qu'un État est tenu « d'accepter des garanties, conformément aux termes de l'accord, sur *toutes* les matières brutes et tous les produits fissiles spéciaux dans toutes les activités nucléaires pacifiques exercées sur le territoire de l'État, sous sa juridiction, ou entreprises sous son contrôle en quelque

¹³ Rockwood et Johnson 2015, p. 57 à 94.

lieu que ce soit, à seule fin de vérifier que ces matières et produits ne sont pas détournés vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires » (italiques ajoutés). Par ailleurs, en vertu du paragraphe 62 du même document, l'Agence reçoit de l'État un rapport initial sur « toutes les matières nucléaires soumises à des garanties ».

Le mot « toutes » figure également, par exemple, aux paragraphes 7, 31 et 32 (sur l'obligation de l'État d'établir et d'appliquer un système de comptabilité et de contrôle pour « toutes les matières nucléaires soumises à des garanties ») et au paragraphe 41 (sur l'obligation de l'Agence de dresser un inventaire unique de « toutes les matières nucléaires de l'État soumises aux garanties »).

L'historique des négociations du document INFCIRC/153 montre clairement que la référence à des matières nucléaires « dans des activités nucléaires pacifiques » a été utilisée pour tenir compte du fait que le TNP autorisait l'utilisation de matières nucléaires dans le cadre d'une activité militaire non interdite (dans le cas de matières destinées à des fins non explosives), et que les garanties pourraient ne pas s'appliquer à des matières nucléaires soumises à des garanties en vertu de l'accord dans le cadre d'un arrangement à conclure avec l'Agence.

Cette référence ne signifiait pas, et ne devrait pas être interprétée comme signifiant, qu'un État peut exclure des matières nucléaires de ses déclarations simplement en les incorporant dans une activité non pacifique ou militaire. Voir dans le paragraphe 1 une exclusion pour des matières nucléaires incorporées dans une activité militaire irait à l'encontre du but fondamental d'un accord de garanties généralisées, en violation de l'article 31-1 des CVDT.

- b) Décisions du Conseil : Le Conseil des gouverneurs a à maintes reprises confirmé qu'un État est tenu de déclarer toutes les matières nucléaires à l'AIEA en vertu d'un accord de garanties généralisées et que, s'il ne le fait pas, il manque à cette obligation :
- Dans son premier rapport de fond au Conseil sur ce que l'AIEA avait constaté en Iraq, en juillet 1991¹⁴, le Directeur général a informé ce dernier que l'Iraq n'avait pas déclaré des matières nucléaires devant faire l'objet de garanties en vertu de l'accord de garanties généralisées le concernant, concluant que l'Iraq n'avait pas respecté les obligations

¹⁴ AIEA 1991f.

découlant de cet accord, « s'agissant en particulier de l'obligation d'accepter des garanties sur toutes les matières nucléaires dans toutes les activités nucléaires pacifiques ». Sur la base de ce rapport, le Conseil a, le 18 juillet 1991, adopté la résolution GOV/2532¹⁵, dans laquelle il condamnait le non-respect par l'Iraq de son obligation d'accepter des garanties sur toutes les matières nucléaires dans toutes les activités nucléaires pacifiques parce qu'il avait omis de déclarer certaines matières et activités nucléaires à l'Agence. En septembre 1991, le Conseil a constaté que l'Iraq, une fois encore, n'avait pas respecté son obligation en matière de rapports¹⁶ et a demandé au Directeur général d'en rendre compte au Conseil de sécurité.

- En juin 1992, le Conseil, agissant sur la base d'un résumé du président, a pris note du rapport du Directeur général sur le non-respect de ses obligations par l'ancien régime de la Roumanie parce que celui-ci n'avait pas déclaré des activités liées au retraitement d'une petite quantité de plutonium en 1985¹⁷ (ce qui avait été porté à l'attention de l'AIEA par le Gouvernement roumain successeur), et a demandé au Directeur général de rendre compte de cette violation au Conseil de sécurité de l'ONU « pour information¹⁸ ».
- Le 25 février 1993, le Conseil des gouverneurs a adopté la résolution GOV/2636¹⁹ portant sur la République populaire démocratique de Corée (RPDC), dans laquelle, relevant des incohérences entre les déclarations de ce pays et les constatations du Secrétariat, qui avaient fait douter de l'exhaustivité des déclarations initiales de ce pays concernant les matières nucléaires, il a rappelé sa réunion de décembre 1992, lors de laquelle il avait souligné qu'il était « essentiel de vérifier l'exactitude et d'évaluer l'exhaustivité du rapport initial [de la RPDC] » et avait décidé que l'accès à des renseignements supplémentaires et à deux sites supplémentaires demandé par le Directeur général conformément aux dispositions relatives aux inspections spéciales était « essentiel et urgent pour résoudre les divergences et permettre de vérifier le respect des dispositions du document INFCIRC/403 ».
- La RPDC se montrant peu disposée à répondre positivement à la demande de droit d'accès, le Conseil a, le 1^{er} avril 1993, adopté la

¹⁵ AIEA 1991g.

¹⁶ AIEA 1991h, par. 46 et 47.

¹⁷ Findlay 2015.

¹⁸ AIEA 1992a.

¹⁹ AIEA 1993a.

résolution GOV/2645²⁰, dans laquelle il a constaté, conformément à l'article 19 de l'accord de garanties de ce pays, que l'Agence n'avait pas pu vérifier l'absence de détournement de matières nucléaires devant être soumises à des garanties aux termes de l'accord de garanties vers des armes nucléaires ou autres dispositifs explosifs nucléaires, et a décidé de rendre compte du non-respect par la RPDC de ses obligations au Conseil de sécurité de l'ONU.

- En septembre 2003, le Conseil a adopté la résolution GOV/2003/69 (12 septembre 2003)²¹, dans laquelle il a rappelé le rapport du Directeur général du 6 juin 2003 (GOV/2003/40)²², dans lequel ce dernier s'était déclaré préoccupé par le fait que l'Iran n'avait pas déclaré des matières, installations et activités devant être soumises à des garanties en vertu de l'accord de garanties généralisées le concernant, et a invité l'Iran à faire en sorte de ne plus « manquer de déclarer les matières, installations et activités qu'[il était] tenu de déclarer en application de l'accord de garanties [généralisées] le concernant ». En novembre 2003, le Conseil a adopté une autre résolution dans laquelle, constatant avec une profonde préoccupation que l'Iran avait à plusieurs reprises, sur une longue période de temps, « manqué aux obligations découlant de son [accord de garanties généralisées] concernant la déclaration des matières nucléaires et de leurs traitement et utilisation, ainsi que la déclaration des installations où ces matières avaient été traitées et stockées », « prenant note en particulier avec la plus vive préoccupation du fait que l'Iran avait enrichi de l'uranium et séparé du plutonium dans des installations non déclarées, en l'absence de garanties de l'AIEA », et soulignant la nécessité de garanties efficaces pour empêcher que des matières nucléaires ne soient utilisées à des fins interdites en violation des [accords de garanties généralisées], a demandé au Directeur général de « prendre toutes les mesures nécessaires pour confirmer que les renseignements communiqués par l'Iran sur ses activités nucléaires passées et actuelles sont exacts et exhaustifs et pour régler les problèmes en suspens » (paragraphe 4 du dispositif).

De ce fait, il est incontestable que la présence dans un État ayant conclu un accord de garanties généralisées de matières, installations ou activités non déclarées alors qu'elles devraient être déclarées à l'Agence en vertu

²⁰ AIEA 1993b.

²¹ AIEA 2003a.

²² AIEA 2003b.

d'un tel accord constitue une violation par cet État des obligations que cet accord lui impose.

10.4.2. En application d'un accord de garanties généralisées, l'Agence est tenue de vérifier que les garanties sont effectivement appliquées à toutes les matières de ce type

Il ressort d'une simple lecture du document INFCIRC/153 et des décisions du Conseil des gouverneurs et de la Conférence générale que l'Agence est tenue, en vertu du paragraphe 2 du document, de vérifier non seulement l'exactitude, mais aussi l'exhaustivité des déclarations des États concernant les matières, installations et activités nucléaires :

- a) INFCIRC/153 : Conformément au paragraphe 2 du document INFCIRC/153, l'Agence a le droit et l'obligation de faire en sorte que les garanties soient appliquées dans « toutes » les activités nucléaires pacifiques. Le fait est que, comme indiqué plus haut, pendant la négociation du document INFCIRC/153, il ait été proposé de limiter l'obligation de l'Agence aux matières nucléaires qui auraient été déclarées par l'État ; cette proposition a été rejetée et elle a été remplacée par le mot « toutes ». Dans ce contexte, le Secrétariat a noté que « le fait que l'État omette délibérément d'informer l'Agence au sujet de matières nucléaires pourrait également être considéré comme impliquant un détournement ». Le mot « toutes » figure aussi, par exemple, au paragraphe 72 b) (en vertu duquel l'Agence peut faire des inspections régulières pour « vérifier l'emplacement, l'identité, la quantité et la composition de toutes les *matières nucléaires* soumises aux garanties ») et au paragraphe 74 b) (qui autorise l'Agence à faire des mesures indépendantes de « toutes les *matières nucléaires* soumises aux garanties »).

Le paragraphe 76 a), qui se rapporte aux inspections ad hoc, prévoit spécifiquement la possibilité pour l'Agence d'accéder à un emplacement autre que ceux désignés dans le rapport initial de l'État, pour autant qu'elle puisse également faire des inspections de ce type à tout emplacement où, « d'après » une inspection faite à l'occasion du rapport initial, se trouvent des matières nucléaires.

Comme indiqué plus haut, le paragraphe 19 dispose que, « au cas où le Conseil, après examen des renseignements pertinents communiqués par le Directeur général, constate que l'Agence n'est pas à même de vérifier que les *matières nucléaires qui doivent être soumises aux garanties conformément à l'accord* n'ont pas été détournées vers des armes nucléaires ou d'autres

dispositifs explosifs nucléaires » (italiques ajoutés), le Conseil « peut rendre compte, comme il est dit au paragraphe C de l'article XII du Statut et peut également prendre, lorsqu'elles sont applicables, les autres mesures prévues par ce paragraphe²³ ». L'expression « qui doivent être soumises aux garanties » utilisée au paragraphe 19²⁴ est une formulation non pas différente, mais plus claire et plus explicite.

b) Conseil et Conférence générale :

- En septembre 1991, les États Membres de l'AIEA ont, dans des résolutions adoptées par le Conseil des gouverneurs²⁵ et la Conférence générale²⁶, demandé au Directeur général de vérifier « l'exactitude et l'exhaustivité de l'inventaire des installations et des matières nucléaires de l'Afrique du Sud » dressé en application de son accord de garanties généralisées nouvellement approuvé.
- En février 1992, le Conseil, agissant sur la base d'un résumé du président, a réaffirmé le droit de l'AIEA découlant des accords de garanties généralisées de faire en sorte que toutes les matières nucléaires utilisées dans toutes les activités nucléaires pacifiques soient soumises à des garanties²⁷.
- En février 1993, le Directeur général a présenté au Conseil des gouverneurs un rapport dans lequel il l'informait d'une anomalie que le Secrétariat avait découverte en RPDC. Cette anomalie avait suscité des doutes quant à l'exhaustivité du rapport initial du pays sur les matières nucléaires que celui-ci devait présenter en vertu de l'accord de garanties généralisées le concernant. Sur la base du rapport du Directeur général et des explications détaillées données

²³ En vertu de l'article XII.C du Statut de l'AIEA, le Directeur général transmet au Conseil des gouverneurs les rapports sur les violations constatées. Le même article dispose également que le Conseil « enjoint à l'État ou aux États bénéficiaires de mettre fin immédiatement à toute violation dont l'existence est constatée. Le Conseil porte cette violation à la connaissance de tous les membres et en saisit le Conseil de sécurité [de l'ONU] et l'Assemblée générale des Nations Unies ».

²⁴ La même expression est utilisée au paragraphe 14 sur la non-application des garanties sur les matières nucléaires à utiliser dans des activités non pacifiques. Le paragraphe 14 prescrit l'application de certaines modalités « si un État a l'intention, comme il en a la liberté, d'utiliser des *matières nucléaires qui doivent être soumises aux garanties* en vertu de cet accord dans une activité nucléaire qui n'exige pas l'application de garanties aux termes de l'accord » (italiques ajoutés).

²⁵ AIEA 1991a. Le projet de résolution, présenté par le Zaïre au nom du Groupe Afrique, a été adopté sans qu'il soit procédé à un vote.

²⁶ AIEA 1991b.

²⁷ AIEA 1992b, par. 48, 83 et 84.

par le Secrétariat, le Conseil a adopté une résolution dans laquelle il a souligné qu'il était « essentiel de vérifier l'exactitude et d'évaluer l'exhaustivité » du rapport initial de la RPDC et décidé que l'accès à des renseignements et emplacements supplémentaires demandé par le Directeur général était « essentiel et urgent pour résoudre les divergences et permettre de vérifier le respect » par la RPDC des dispositions de l'accord de garanties généralisées la concernant²⁸.

- En octobre 1993, au titre d'un nouveau point de l'ordre du jour sur le renforcement des garanties, la Conférence générale a adopté une décision prenant acte des décisions prises par le Conseil au cours des 12 mois précédents tendant à renforcer les garanties, et invité les États Membres à coopérer à leur mise en œuvre²⁹.

Toutes ces actions se sont déroulées bien avant l'annonce du Programme 93+2 en décembre 1993.

En février 1995, le Directeur général a donné un aperçu des mesures proposées pour renforcer le système des garanties d'une manière systématique et intégrée, en communiquant des informations sur chacune des mesures proposées, notamment les coûts, les avantages et la question de savoir s'il existait déjà un fondement juridique permettant au Secrétariat de mettre en œuvre cette mesure ou si une autorisation complémentaire serait nécessaire.

À l'issue de son examen de ce rapport, le Conseil des gouverneurs a décidé d'approuver le résumé du débat établi par le président, dans lequel il

[était réaffirmé] que le but des accords de garanties généralisées, lorsque des garanties sont appliquées à toutes les matières nucléaires utilisées dans toutes les activités nucléaires exercées sur le territoire d'un État partie à un tel accord, sous sa juridiction, ou entreprises sous son contrôle en quelque lieu que ce soit, est de vérifier que ces matières ne sont pas détournées vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires. À cette fin, le système des garanties *devrait, aux fins de l'application des accords de garanties généralisées, être conçu de manière à prévoir la vérification par l'Agence de l'exactitude et de l'exhaustivité des déclarations des États, de façon qu'une assurance crédible soit donnée quant au non-détournement de matières nucléaires des activités déclarées et à l'absence d'activités nucléaires non déclarées* (italiques ajoutés).

²⁸ AIEA 1993a. Le projet de résolution a été adopté sans qu'il soit procédé à un vote. Le rapport du Directeur général et les documents officiels relatifs au débat privé du Conseil n'ont pas été rendus publics par l'AIEA.

²⁹ AIEA 1993c.

10.4.3. Pour s'acquitter de son obligation, l'Agence a un droit d'accès qui n'est pas limité aux matières et emplacements nucléaires déclarés

Pour s'acquitter de l'obligation de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité des déclarations des États en vertu des accords de garanties généralisées, l'AIEA a un droit d'accès qui n'est pas limité aux renseignements concernant les matières nucléaires qui ont été déclarées par l'État ou aux emplacements où ces matières ont été déclarées à l'Agence :

- a) INFCIRC/153 : Les dispositions relatives aux inspections ad hoc énoncent le droit de l'Agence d'avoir accès non seulement aux matières nucléaires déclarées par l'État, mais aussi aux emplacements où des matières nucléaires pourraient être présentes. Dans le cadre des inspections spéciales, accès à des renseignements et emplacements venant s'ajouter à l'accès prévu dans le cadre des inspections ad hoc et régulières, même si rien ne permet de penser que des matières nucléaires sont présentes dans ces emplacements.
- b) Décisions du Conseil : Dans la résolution qu'il a adoptée le 25 février 1993 au sujet de la RPDC (GOV/2636), le Conseil des gouverneurs a décidé que l'accès à des renseignements supplémentaires et à deux sites supplémentaires demandé par le Directeur général conformément aux dispositions relatives aux inspections spéciales était « essentiel et urgent pour résoudre les divergences et permettre de vérifier le respect des dispositions du document INFCIRC/403 ». Les deux sites n'avaient pas été déclarés à l'AIEA. De plus, l'accès aux deux sites était demandé non pas en raison d'une présence présumée de matières nucléaires non déclarées sur ces sites, mais parce que l'AIEA devait pouvoir y accéder pour y prélever des échantillons de déchets afin d'établir si des opérations de retraitement non déclarées avaient eu lieu en RDPC et, dans l'affirmative, d'en préciser l'étendue.

10.4.4. Pour déterminer si les déclarations de l'État sont exactes et exhaustives, l'Agence est habilitée à utiliser tous les renseignements à sa disposition

L'Agence est habilitée à utiliser tous les renseignements à sa disposition pour déterminer si un État lui a effectivement déclaré toutes les matières nucléaires qui doivent être soumises aux garanties conformément à l'accord de garanties généralisées le concernant.

- a) INFCIRC/153 : Dans l'analyse des inspections spéciales qu'il a effectuée en 1991 (GOV/2554), le Directeur général a précisé les catégories de renseignements dont l'AIEA devrait disposer. Ils comprenaient 1) les

renseignements recueillis dans le cadre des activités de garanties régulièrement menées ; 2) les informations publiques ; et 3) les renseignements obtenus par les États Membres par des moyens nationaux³⁰. Dans une déclaration faite au Conseil le 5 décembre 1991, le Directeur général a indiqué que les renseignements étaient l'élément essentiel s'agissant de renforcer la capacité du système de garanties de détecter des activités nucléaires clandestines dans les États ayant conclu un accord de garanties généralisées. Dans une longue déclaration enregistrée dans les documents officiels du Conseil, il a ajouté :

Si l'État lui-même dissimule une activité nucléaire, le service d'inspection doit – comme dans le cas de l'Iraq – disposer d'autres renseignements sur les lieux qu'il devrait inspecter. Aucun service d'inspection ne pourrait « parcourir l'ensemble du territoire dans une recherche aveugle d'installations nucléaires non déclarées ». Aussi convenait-il, a-t-il poursuivi, de modifier de fond en comble les pratiques de l'Agence, en ayant plus largement recours aux renseignements dont l'Agence disposait déjà et en étant prêt à accepter des renseignements ayant fait l'objet d'un examen critique que l'Agence pourrait obtenir de sources extérieures. On entend parfois dire que l'Agence ne devrait tenir compte que des renseignements qui lui sont communiqués par les voies officielles et que les autres renseignements (qu'ils proviennent des médias ou de services nationaux de renseignements) étaient sujets à caution. Pour sa part, il était d'avis que tous les renseignements – officiels ou non – devaient faire l'objet d'un examen critique. Il avait bien conscience que des renseignements pourraient être communiqués pour des motifs inavoués et qu'il serait erroné de s'y fier. Toutefois, il serait encore plus erroné de refuser d'accepter d'autres renseignements d'où qu'ils viennent. Cela ne voulait pas dire que ces renseignements devraient automatiquement précipiter des demandes d'explications auprès des États concernés. Les renseignements devaient faire l'objet d'un examen critique approfondi, et il appartenait au Directeur général de juger de la nécessité d'approuver ou de rejeter l'idée selon laquelle une inspection spéciale serait justifiée³¹.

Il convient de noter qu'en vertu du paragraphe A de l'article VIII du Statut, chacun des États Membres devrait mettre à la disposition de l'Agence les renseignements qui pourraient, à son avis, être utiles à cette dernière.

³⁰ AIEA 1991c.

³¹ AIEA 1992c ; AIEA 1992d, par. 131 et 132.

b) Décisions du Conseil :

L'exemple le plus classique d'approbation implicite par le Conseil du recours par l'Agence à des renseignements fournis par un État Membre autre que l'État soumis aux garanties est le cas de la RPDC en février 1993. Sur la base du rapport du Directeur général, le Conseil a adopté, sans qu'il soit procédé à un vote, une résolution dans laquelle il décidait que l'accès dans le cadre d'inspections spéciales à des renseignements et emplacements supplémentaires était « essentiel et urgent ». Le Directeur général a bien précisé que l'Agence, tout en ayant repéré l'anomalie grâce à ses propres activités de vérification, avait utilisé les images satellitaires obtenues par des « moyens techniques nationaux » pour repérer les emplacements qui, si elle y avait accès, pourraient l'aider à résoudre les questions en suspens concernant la non-déclaration de matières nucléaires par la RPDC.

Il convient également de noter que l'Agence n'a pas demandé à accéder aux emplacements en question parce qu'elle pensait y trouver des matières nucléaires non déclarées, mais parce que la possibilité d'échantillonner des déchets stockés sur ces emplacements pourrait aider à résoudre l'anomalie constatée.

10.4.5. Le droit et l'obligation de l'Agence de vérifier l'exhaustivité des déclarations d'un État découlent de l'accord de garanties généralisées

Le fait que le Conseil ait pris des décisions dans lesquelles il demandait à l'Agence de vérifier l'exhaustivité bien avant qu'un pouvoir juridique supplémentaire ait même été envisagé montre qu'il adhérait à l'idée que l'obligation de l'Agence de vérifier l'exhaustivité des déclarations d'un État découle de l'accord de garanties généralisées lui-même et ne dépend pas de l'existence d'un protocole additionnel. Alors qu'elle recherche des indices de matières et d'activités nucléaires non déclarées dans tous les États ayant conclu un accord de garanties généralisées, l'AIEA a pour politique de ne pas rendre compte de l'absence dans un État de matières nucléaires non déclarées sans les assurances supplémentaires prévues par les mesures énoncées dans un protocole additionnel.

Un grand nombre de rapports annuels sur l'application des garanties et d'autres publications de l'Agence ont formulé clairement que le protocole additionnel fournit des outils supplémentaires pour mener ce travail de vérification mieux et plus systématiquement. Le Conseil n'a jamais contesté cette opinion.

10.5. RÉSUMÉ

Il faut être de mauvaise foi pour soutenir, comme quelques États l'ont fait récemment, que les exemples de décisions du Conseil et de la Conférence générale étaient sans rapport avec la question du pouvoir de l'AIEA découlant des accords de garanties généralisées, soit parce qu'elles étaient liées à la mise en œuvre des garanties dans certains États, soit parce que l'acceptation d'un résumé du président ne constitue pas une décision officielle³². Les accords de garanties de l'Afrique du Sud et de la RPDC sont sensiblement identiques, comme le sont tous les accords de garanties généralisées. De plus, le Conseil a à maintes reprises pris des décisions sur la base d'un résumé de ses délibérations établi par le président, notamment des décisions concernant la plus sensible des questions, à savoir le non-respect des obligations en matière de garanties. Tel a été le cas pour l'Iraq et la Roumanie³³.

Il faut également être de mauvaise foi pour arguer que l'obligation qui incombe à l'AIEA en vertu d'un accord de garanties généralisées de vérifier l'exhaustivité découle uniquement d'un protocole additionnel. L'insistance avec laquelle les États Membres de l'AIEA ont demandé que l'Agence donne des assurances quant à l'absence de matières et d'activités nucléaires non déclarées au titre de tels accords – et, de fait, les décisions du Conseil et de la Conférence générale confirmant qu'elle était habilitée à le faire – a précédé même le moment où il a été envisagé de lui conférer un nouveau pouvoir juridique.

Certains États doutent de la nécessité d'un protocole additionnel si l'AIEA a déjà le droit de vérifier l'exhaustivité des déclarations faites par un État en vertu d'un accord de garanties généralisées. La réponse est simple et limpide : le droit et l'obligation de l'AIEA de vérifier l'exactitude et l'exhaustivité découlent de l'accord de garanties généralisées mais un tel accord ne fournit pour ce faire que des outils limités, comme les inspections spéciales. Un protocole additionnel ménage à l'AIEA un accès plus large à l'information et aux emplacements sur une base plus régulière, prévisible et fiable. L'AIEA peut ainsi détecter des indices de matières et activités nucléaires non déclarées plus vite et avec une plus grande efficacité.

³² AIEA 2014, par. 25 à 160.

³³ En juillet et septembre 1991, le Conseil a constaté que la non-déclaration par l'Iraq de matières et installations nucléaires en lien avec ses programmes clandestins d'enrichissement de l'uranium et de séparation de plutonium constituait une violation des obligations découlant de l'accord de garanties généralisées le concernant, et a demandé au Directeur général de faire rapport sur cette question au Conseil de sécurité de l'ONU. La première décision a été prise sous la forme d'une résolution et la seconde sous celle de l'adoption par consensus d'un résumé des délibérations du Conseil établi par le président. AIEA 1991d, e.

L'impossibilité de prouver l'absence de matières ou d'activités nucléaires non déclarées dans un État constitue un autre défi pour le pouvoir de l'AIEA de la vérifier. Dans l'un de ses rapports au Conseil sur le Programme 93+2, Hans Blix a reconnu qu'« aucun système de garanties, quelque ambitieuses que puissent être les mesures qu'il prévoit, ne peut garantir avec une certitude absolue qu'il n'y a pas eu détournement de matières nucléaires ou qu'il n'y a aucune activité nucléaire non déclarée dans un État³⁴ ». L'AIEA a de nouveau exposé cette idée en 2003 dans ses rapports sur l'Iraq qu'elle a présentés au Conseil de sécurité de l'ONU, dans lesquels elle a considéré qu'il n'était pas possible de prouver l'absence de matières ou d'activités nucléaires non déclarées même en s'appuyant sur l'autorité conférée par les résolutions du Conseil de sécurité³⁵.

Pourtant, l'AIEA peut rechercher des indices de l'existence d'activités non déclarées. Dans le cas de l'Iraq en 2003, après avoir recherché de tels indices et n'en avoir trouvé aucun, l'Agence a pu conclure avec un degré de certitude élevé que l'Iraq n'avait pas relancé son programme d'armement nucléaire. Il s'est avéré qu'elle avait raison.

Certains critiques prétendent que, si elle a le droit de vérifier les indices de l'existence de matières et activités nucléaires non déclarées, l'AIEA n'a pas celui de rechercher de tels indices. C'est là encore faire preuve de mauvaise foi. On a peu de chances de trouver ce que l'on ne cherche pas. Les critiques des activités visant à établir l'exhaustivité concluraient-ils que l'AIEA ne devrait pas même essayer de déterminer l'existence de tels indices ? Blix a abordé cette question en 1995 en donnant l'exemple d'un homme cherchant une clé perdue près d'un réverbère allumé et qui, à quelqu'un qui lui demandait s'il était sûr de l'avoir perdue à cet endroit, a répondu « Non, mais il est plus facile de chercher ici³⁶ ».

Comme je l'ai fait observer dans une publication mentionnée plus haut, le fait de souscrire à une telle réinterprétation aurait pour conséquence pratique la plus immédiate d'autoriser un État qui a conclu un accord de garanties généralisées mais pas de protocole additionnel à empêcher l'AIEA d'enquêter

³⁴ AIEA 1995, annexe 1, p. 15.

³⁵ « Il importe de souligner que le processus de vérification s'accompagne toujours d'un certain degré d'incertitude, et [l'Agence] ne peut établir de garanties absolues quant à l'absence d'activités nucléaires à petite échelle, telles que les simulations sur ordinateurs individuels ou les travaux de laboratoire effectués par quelques chercheurs[, voire l'acquisition directe par un État de matières nucléaires de qualité militaire] [...]. Toutefois, un système d'inspection intrusif tel que celui mis en œuvre par l'AIEA en Iraq peut minimiser la possibilité que des activités interdites ne soient pas décelées, et décourager, en raison du risque de détection rapide, la relance du programme nucléaire ». Conseil de sécurité de l'ONU 2003 (contenant le programme de travail de l'AIEA en Iraq établi en application de la résolution 1284 du Conseil de sécurité).

³⁶ AIEA 1995, annexe 3, p. 49.

sur des indices de l'existence de matières et d'activités nucléaires non déclarées dans cet État. Si cette interprétation n'est pas combattue directement et rejetée explicitement, le système de garanties pourrait être contraint de revenir à une approche de la vérification antérieure à 1991, laquelle était principalement axée sur les matières nucléaires déclarées et qui avait empêché l'Agence de détecter le programme nucléaire non déclaré de l'Iraq. Il appartient à toutes les parties de comprendre ce que le renforcement des garanties a déjà permis de réaliser de sorte qu'il ne soit pas nécessaire de repartir de zéro.

RÉFÉRENCES

- Albright D, Heinonen O, Kittrie O (2012) Understanding the IAEA's Mandate in Iran: Avoiding Misinterpretations. https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Misinterpreting_the_IAEA_27Nov2012.pdf, page consultée le 14 septembre 2021.
- Findlay T (2015) Proliferation Alert! The IAEA and Non-Compliance Reporting. <https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/proliferationalert-web.pdf>, page consultée le 14 septembre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1974), Modèle pour les accords de garanties conclus dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, GOV/INF/276, annexe A.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (1975), Structure et contenu des accords à conclure entre l'Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/153 (corrigé).
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991a) Safeguards: Draft Resolution Submitted by Egypt, Morocco, Nigeria and Tunisia on Behalf of the African Group, GOV/2547/Rev.1.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991b) South Africa's Nuclear Capabilities, GC(XXXV)/RES/567.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991c) Strengthening of Agency Safeguards: The Provision and Use of Design Information, GOV/2554.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991d) Iraq's Non-Compliance with Its Safeguards Obligations, GC(XXXV)/978.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991e) Iraq's Non-Compliance with Its Safeguards Obligations, GC(XXXV)/978/Add.1.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991f) A Report by the Director General on Non-Compliance by Iraq with its Obligations under the Safeguards Agreement Concluded with the Agency, GOV/2530.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991g) Iraq's Non-Compliance with its Safeguards Obligations, GOV/2532.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991h) Record of GOV/OR Meeting 763, GOV/OR.763.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992a) Record of GOV/OR Meeting 783, GOV/OR.783.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992b) Record of GOV/OR Meeting 776, GOV/OR.776.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992c) Excerpts from Statements Made by the Director General under the Agenda Item “Strengthening of Agency Safeguards” at the Board’s December 1991 Meetings, GOV/INF/646, Attachment 1.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992d) Record of GOV/OR Meeting 768, GOV/OR.768.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1993a) Report on the Implementation of the Agreement Between the Agency and the Democratic People’s Republic of Korea for the Application of Safeguards in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, GOV/2636.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1993b) Report by the Director General on the Implementation of the Resolution Adopted by the Board on 25 February 1993 (Gov/2636) and of the Agreement Between the Agency and the Democratic People’s Republic of Korea for the Application of Safeguards in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (INFCIRC/403), GOV/2645.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1993c) Strengthening the Effectiveness and Improving the Efficiency of the Safeguards System, GC(XXXVII)/RES/619.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1995) Strengthening the Effectiveness and Improving the Efficiency of Agency Safeguards: Report by the Director General to the General Conference, GC(39)/17.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (1998), Modèle de Protocole additionnel à l’accord (aux accords) entre un État (des États) et l’Agence internationale de l’énergie atomique relatif(s) à l’application de garanties, INFCIRC/540 (corrigé).
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (2003a), Mise en œuvre de l’accord de garanties TNP en République islamique d’Iran, GOV/2003/69.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (2003b), Mise en œuvre de l’accord de garanties TNP en République islamique d’Iran, Rapport du Directeur général, GOV/2003/40.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014) Committee of the Whole: Record of the Seventh Meeting, GC(57)/COM.5/OR.7.
- International Energy Associates Ltd (1984) Review of the Negotiating History of the IAEA Safeguards Document INFCIRC/153. US Arms Control and Disarmament Agency.
- Rockwood L (2014) The IAEA’s State-Level Concept and the Law of Unintended Consequences. *Arms Control Today* 44:25–30.
- Rockwood L, Johnson L (2015) Verification of Correctness and Completeness in the Implementation of IAEA Safeguards: The Law and Practice. In: Black-Branch J, Fleck D (eds) *Nuclear Non-Proliferation in International Law, Volume II: Verification and Compliance*. Springer/TM Asser Press, Heidelberg/New York.
- Conseil de sécurité de l’ONU (2003), Lettre datée du 19 mars 2003, adressée au Président du Conseil de sécurité par le Secrétaire général, S/2003/342.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

11. LES GARANTIES POUR L'AVENIR

Trevor Findlay

Résumé Les garanties ont évolué à mesure qu'apparaissaient de nouvelles circonstances, institutions, technologies et pratiques, notamment de nouveaux phénomènes culturels. Le présent chapitre recourt à une perspective historique pour examiner les garanties en tant que produit d'un processus politique ayant abouti à la négociation des instruments relatifs aux garanties. En particulier, il aborde les garanties de l'AIEA en partant de l'idée que l'adaptation du cadre juridique relatif aux garanties est nécessaire et souvent difficile. Un changement majeur ne pourra se produire qu'à la faveur d'un processus politique, et non juridique, faisant intervenir les États Membres de l'AIEA. Ce changement sera facilité par la contribution que le Secrétariat de l'AIEA apportera au renforcement de l'application des garanties en exerçant les pouvoirs et responsabilités qui lui sont confiés ; le progrès de la technologie et des techniques en tant qu'élément essentiel du processus, et les aspects non technologiques des garanties, en particulier l'élément humain.

Mots clés Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) • Système de garanties de l'AIEA • Statut de l'AIEA • Accords de garanties généralisées • Protocole relatif aux petites quantités de matières • Protocole additionnel • Formation aux garanties

11.1. INTRODUCTION

Le système de garanties nucléaires dont dispose l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) est l'une des réussites les plus remarquables du droit international. Destinées à décourager, au moyen d'une détection précoce, le détournement de matières nucléaires à des fins militaires plutôt que pacifiques, les garanties nucléaires représentent un effort sans précédent fait pour empêcher les États qui ne possèdent pas d'armes nucléaires d'en fabriquer. Avec son système de garanties, l'AIEA a été la première à lancer des activités internationales d'inspection intrusive sur site, de contrôle et d'établissement de rapports qui ont été depuis reproduites dans d'autres domaines.

Les garanties sont naturellement le produit d'un processus politique qui aboutit à la négociation d'un instrument conventionnel, avec toutes les imperfections qu'entraînent les compromis, la créativité ambiguë et les contraintes matérielles. Comme la plupart des dispositions juridiques, les garanties

nucléaires se ressentent du temps qui passe. On voit apparaître de nouvelles circonstances, institutions, technologies et pratiques, notamment de nouveaux phénomènes culturels, qui n'étaient pas prévues. L'adaptation est nécessaire et elle est souvent difficile. Le présent chapitre examine les garanties nucléaires de l'AIEA dans cette optique, en tenant compte du fait qu'un changement majeur ne pourra se produire qu'à la faveur d'un processus politique, et non juridique, faisant intervenir les États Membres de l'AIEA. Dans l'intervalle, le Secrétariat de l'AIEA peut et devrait renforcer la mise en œuvre des garanties en exerçant l'ensemble des pouvoirs et responsabilités qui lui sont confiés. Les progrès de la technologie et des techniques sont un élément essentiel de ce processus, mais le présent chapitre porte sur les aspects non technologiques des garanties, en particulier sur l'élément humain.

11.2. L'ÉTAT ACTUEL DES GARANTIES DE L'AIEA

Les garanties nucléaires reposent sur deux principaux fondements juridiques internationaux, à savoir le Statut de l'AIEA de 1957 et le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) de 1968¹. Conformément à son Statut, l'AIEA a notamment pour attributions « [d]'instaurer et d'appliquer des mesures visant à garantir que les produits fissiles spéciaux et autres produits, les services, l'équipement, les installations et les renseignements [...] ne sont pas utilisés de manière à servir à des fins militaires² ». Les garanties peuvent être appliquées aux matières et activités de l'AIEA ou aux arrangements bilatéraux ou multilatéraux pris à la demande des parties. En vertu de l'article III du TNP, les États Membres de l'AIEA ont adopté un système d'accords de garanties généralisées (AGG), obligatoires et juridiquement contraignantes, applicable aux États non dotés d'armes nucléaires (ENDAN) qui sont parties au Traité³. Avant le TNP, seules des garanties relatives à des éléments particuliers avaient été appliquées, de façon volontaire, à des quantités discrètes de matières nucléaires ou à certaines installations nucléaires⁴. Les AGG couvriraient l'ensemble des matières et installations nucléaires déclarées par un État. Pour aider à dissiper les craintes que les États dotés d'armes nucléaires (EDAN) parties au TNP ne se voient imposer aucune limite concernant leurs industries nucléaires pacifiques, des accords de soumission volontaire (ASV) ont été négociés, qui imposent des

¹ AIEA 1989 ; ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968, le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) est entré en vigueur le 5 mars 1970.

² AIEA 1989, article III.5.

³ AIEA 1975.

⁴ AIEA 1965 (provisoirement étendu en 1966 et 1968).

garanties limitées à chacun de ces États⁵. En outre, une série de traités établissant une zone régionale exempte d'armes nucléaires ont été négociés, qui obligent les États parties à adopter les garanties nucléaires de l'AIEA. Pour les ENDAN qui n'ont que peu ou pas de matières nucléaires, un protocole relatif aux petites quantités de matière (PPQM) se rapportant aux AGG a été adopté en 1971, leur permettant de suspendre indéfiniment l'exécution de la plupart de leurs obligations en matière de garanties⁶.

La découverte en 1991 de la violation par l'Iraq de son accord de garanties et du TNP – un établissement nucléaire non déclaré avait été construit parallèlement à l'établissement déclaré – a déclenché dans les garanties de l'AIEA une « révolution » qui se poursuit encore aujourd'hui. Elle a amené l'AIEA à réformer son système à la faveur de deux processus juridiques : recenser et utiliser les pouvoirs juridiques que l'Agence possédait déjà, mais qui restaient sous-utilisés, et négocier un additif volontaire aux AGG connu sous le nom de protocole additionnel (PA)⁷. Le PA, que les États ont commencé à adopter en 1997, leur fait obligation de fournir des renseignements nettement plus détaillés sur leurs activités nucléaires et les matières nucléaires qu'ils détiennent. Par ailleurs, il donne à l'AIEA des pouvoirs de collecte de données et d'inspection plus étendus, notamment un accès complémentaire à certains emplacements qui la préoccupent.

11.3. LA RECHERCHE DE L'UNIVERSALITÉ

Sur le plan juridique, l'un des défis permanents consiste à inciter tous les ENDAN parties au TNP à faire entrer un AGG en vigueur. À l'heure actuelle, aucun des réfractaires n'a de capacités ou d'ambitions nucléaires connues et, à l'exception de la Somalie, il s'agit de petits pays en développement⁸. Mais ils continuent de ne pas respecter les dispositions du TNP. Tout en se dotant d'un AGG, un grand nombre d'États qui n'ont guère ou pas du tout d'activités nucléaires ont également adopté un PPQM, dont l'effet est de suspendre l'application de la plupart des prescriptions de l'AGG en matière de déclaration et de vérification. On considère actuellement que cela ne vaut guère mieux que de ne pas avoir conclu un AGG.

⁵ <https://www.iaea.org/topics/safeguards-legal-framework/more-on-safeguards-agreements>, page consultée le 30 septembre 2021.

⁶ *Ibid.*

⁷ AIEA 1997.

⁸ AIEA 2021a.

En 2005, un PPQM modifié a été adopté, qui accroît le nombre d'obligations en matière de garanties qu'un État PPQM doit honorer, même s'il n'a pas encore acquis de capacités nucléaires importantes⁹. Ces obligations sont notamment l'établissement de rapports réguliers, la notification rapide de l'intention de construire une installation nucléaire (au lieu du préavis de 180 jours avant l'introduction de matières nucléaires dans une installation) et la possibilité d'inspections ad hoc et spéciales. Le nouveau PPQM fait beaucoup pour combler un vide juridique puisque, dans le cadre de l'ancien accord, des États très avancés pouvaient éviter les garanties jusqu'au moment où ils s'apprêtaient à acquérir des quantités importantes de matières nucléaires et avaient construit une installation nucléaire. Les États PPQM sont de plus en plus nombreux à avoir adopté la nouvelle version. Mais figurent parmi les 31 réfractaires l'Arabie saoudite, le Kirghizistan, la Mongolie, le Myanmar, la Namibie, la Sierra Leone, le Suriname et la Zambie, pays d'une importance non négligeable¹⁰. En septembre 2020, le Directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi, a écrit à ces 31 États en leur demandant d'adopter un PPQM modifié et en attirant leur attention sur le fait qu'il « était de plus en plus difficile » pour l'AIEA de tirer chaque année des conclusions relatives aux garanties crédibles et solidement étayées pour ces États¹¹. Jusqu'à présent, les Maldives et le Soudan sont les deux seuls pays à avoir répondu à cet appel¹². De plus, trois États, les Émirats arabes unis, la Lituanie et la République arabe syrienne, ont fait savoir qu'elles souhaitaient résilier leur PPQM.

Un défi encore plus difficile à relever est d'universaliser le PA. L'adoption des PA progresse lentement depuis 1997 : ils sont en vigueur dans 137 pays plus EURATOM. Pourtant, près d'un quart de siècle après la mise en place du PA et bien qu'il commence à être considéré comme l'« étalon or » des garanties, il reste plusieurs cas aberrants, s'agissant soit d'infrastructures nucléaires existantes [Argentine, Brésil, République arabe syrienne et République populaire démocratique de Corée (RPDC)], soit de projets d'acquisition de telles infrastructures (Arabie saoudite, Égypte et Malaisie)¹³. La République islamique d'Iran est un cas à part, car elle a accepté volontairement de mettre en œuvre son PA sans l'adopter officiellement (bien qu'actuellement, elle n'en applique pas complètement tous les aspects)¹⁴. L'Argentine et le Brésil, qui ont conclu

⁹ AIEA 2006.

¹⁰ AIEA 2021a.

¹¹ <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-director-general-steps-up-efforts-to-strengthen-safeguards-implementation>, page consultée le 30 septembre 2021.

¹² AIEA 2021b.

¹³ AIEA 2021c.

¹⁴ <https://www.iaea.org/iaea-director-generals-introductory-statement-to-the-board-of-governors-7-june-2021>, page consultée le 15 juin 2021.

un arrangement bilatéral en matière de garanties et se sont dotés d'un organe de vérification spécifique, l'Agence brésil-argentine de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires (ABACC)¹⁵, invoquent des circonstances spéciales. Mais cela ne les délie pas de leur obligation, en tant que membres de la communauté internationale, de donner l'exemple.

En 2001, le Secrétariat a adopté un plan d'action visant à convaincre un plus grand nombre d'États d'assumer leurs obligations en matière de garanties, plan qui a été périodiquement renouvelé et l'a été tout récemment en 2018¹⁶. En 2019, le vérificateur extérieur des comptes de l'AIEA a félicité le Secrétariat des progrès sensibles accomplis et de l'intensification des activités de sensibilisation, mais n'a rien pu proposer quant à la manière de procéder, si ce n'est de « continuer¹⁷ ». Les États non membres de l'AIEA, où il n'existe pas de relations de travail avec le personnel de l'Agence et qui ne sont pas au fait, ou alors fort peu, des activités prescrites de l'AIEA, représentaient un problème particulier. Dans le passé, les ateliers régionaux ont pu convaincre certains États d'agir, mais ces événements peuvent être trop humiliants pour des réfractaires dont le nombre diminue (le problème réside souvent dans un manque de compréhension ou de capacité) et il s'impose d'adopter une approche plus spécialement adaptée, quoique mobilisant une grande quantité de ressources, qui repose sur des contacts individuels avec les autorités nationales compétentes. Les moyens d'action du Secrétariat de l'AIEA sont naturellement limités. Les États Membres motivés, le Conseil de sécurité de l'ONU et le Groupe des fournisseurs nucléaires (GFN) devraient ajouter leur poids à cette campagne.

11.4. NOUVEAU RENFORCEMENT DES GARANTIES

Depuis qu'il existe, le système de garanties est un travail en évolution constante, donnant lieu non seulement à l'adoption de nouveaux instruments juridiques, mais aussi à une modification des processus et pratiques par le Secrétariat de l'AIEA. Certains de ces instruments et modifications ont été spécifiquement approuvés ou acceptés par le Conseil des gouverneurs, tandis que d'autres relevaient du mandat du Secrétariat, chargé de mettre en place et de gérer le système de garanties. Plusieurs facteurs se combinent pour inciter l'AIEA à améliorer l'efficacité et l'efficience des garanties. La caractéristique générique de tous les régimes de maîtrise des armements et de vérification du désarmement

¹⁵ Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares Verificando el uso pacífico de la energía nuclear en Argentina y Brasil (ABACC).

¹⁶ AIEA 2020a.

¹⁷ AIEA 2020b.

en est un. Il est impossible de vérifier à 100 % le respect des obligations sans un degré d'intrusion et un niveau de coût qu'aucun État ne jugerait acceptables. Au contraire, et compte tenu de ces contraintes, la vérification doit donner à un niveau acceptable l'assurance que les obligations sont respectées et que les violations seront détectées suffisamment vite pour pouvoir faire l'objet de mesures internationales.

Un deuxième facteur, qui stimule la recherche d'une plus grande efficacité, est le nombre croissant des États dont les activités sont placées sous garanties et l'augmentation des quantités de matières nucléaires et du nombre d'installations auxquelles les garanties sont appliquées, ce à un moment où les difficultés budgétaires ne semblent pas près de s'atténuer. En outre, de nouveaux types d'installations doivent faire l'objet de garanties : les nouvelles technologies de production d'énergie d'origine nucléaire (comme les réacteurs de faible ou moyenne puissance, les réacteurs flottants, les réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides et les réacteurs à fusion) ; les installations d'entreposage de déchets radioactifs et du combustible usé de haute activité ; les centrales déclassées ; et les nouvelles technologies d'enrichissement et de retraitement potentielles (comme le traitement au laser et le pyrotraitement). Par ailleurs, il est périodiquement (et de façon imprévisible) demandé à l'AIEA de se charger d'importantes tâches de vérification supplémentaires au titre des accords ad hoc, comme dans les cas de l'Iraq, de la RPDC et de la République islamique d'Iran. Ces péripéties détournent des personnels et des ressources essentiels de leur emploi habituel, parfois sans financement compensatoire.

Un troisième facteur est la pression que les États Membres qui font face à des difficultés financières, comme dans toutes les entités des Nations Unies, exercent sur le Secrétariat pour qu'il adopte les meilleures pratiques de gestion, notamment la planification stratégique et l'intensification des efforts en matière de recrutement, de formation, de budgétisation et de financement. Cela vaut pour le Département des garanties tout autant que pour tous les autres services de l'AIEA.

La campagne menée en permanence pour renforcer l'application des garanties implique de renforcer progressivement la pression sur les États Membres, mais certaines améliorations découlent en réalité d'une diminution de la charge en matière de garanties imposée aux États qui respectent pleinement leurs obligations. Tel a été le cas des « garanties intégrées », adoptées depuis l'arrivée du PA. Pour un État qui respecte pleinement ses obligations, cela permet de rationaliser des activités en matière de garanties faisant double emploi imposées au fil des ans et de parvenir à un arrangement en matière de garanties avec l'AIEA qui soit allégé, ciblé et plus efficace et efficient. C'est dans cet esprit que les garanties devraient être encore améliorées pour obtenir le concours de tous les États Membres.

Des voix se sont régulièrement élevées pour que l'on négocie des documents juridiques supplémentaires qui permettraient de renforcer les garanties, ce que l'on désigne parfois sous le nom de « PA plus ». Le dernier effort en ce sens mené par le Conseil des gouverneurs avec le Comité des garanties et de la vérification (Comité 25), créé en 2004, n'a guère permis d'avancer dans cette direction (pas plus que dans une autre) et ce comité a été dissous en 2007. Non seulement les membres du Comité avaient des avis divergents au sujet de la nécessité de nouvelles mesures, mais même les États qui les appelaient de leurs vœux n'ont pas su avancer des idées exploitables. Près de 15 ans plus tard, on pourrait soutenir qu'il est temps de réexaminer la question. Toutefois, l'un des problèmes qui ont causé l'échec du Comité, à savoir le cas de non-respect de ses obligations par la République islamique d'Iran, est toujours là et on peut supposer qu'il torpillerait une nouvelle initiative du Conseil, au moins tant que le destin du Plan d'action global commun (PAGC) de 2015 n'est pas scellé.

Le Groupe consultatif permanent sur l'application des garanties (SAGSI), créé en 1975, a apporté une contribution considérable à la réforme des garanties. Toutefois, ses recommandations ne sont destinées qu'au Directeur général, ses membres (nommés par le Directeur général) ne représentent qu'un nombre limité d'États Membres (il s'agit pour la plupart d'ambassadeurs à la retraite ou de membres de haut niveau du personnel chargé de l'application des garanties) et il ne travaille pas de manière transparente. Ses rapports ne sont pas publiés et son ordre du jour ne l'est pas non plus. On peut soutenir qu'il n'a pas formulé de recommandations fondamentales depuis qu'il a contribué à conceptualiser le PA. On pourrait transformer le SAGSI en un organe plus dynamique, créatif et ouvert en élargissant la composition, en faisant appel à des concours extérieurs et en rendant publics ses résultats.

Pendant les réunions du Comité 25, le Secrétariat a avancé nombre d'idées pour renforcer les activités existantes en matière de garanties au lieu de préconiser l'attribution de nouveaux pouvoirs, ce qui donne à penser qu'il a jugé possible d'améliorer le système sans envisager de solutions juridiques¹⁸. Depuis, le Département des garanties est passé à l'action de sa propre initiative en s'employant à améliorer l'efficacité et l'efficience dans le cadre de ses attributions, notamment dans les domaines de la planification stratégique, de la gestion, de la technologie (en particulier l'informatique) et du perfectionnement du personnel.

¹⁸ Boureston et Ferguson 2005.

11.5. GESTION DES GARANTIES

Le Département des garanties est imbriqué dans une organisation internationale de style onusien qui détermine sa hiérarchie et ses procédures administratives, ses règles de recrutement et de nomination, ses modalités de financement et, ce qui n'est pas des moindres, sa culture institutionnelle. Ces contraintes n'ont pas empêché, le Département de déployer depuis quelques années des efforts courageux pour améliorer la gestion des garanties. Le temps où les inspecteurs rédigeaient leurs rapports sur des bouts de papier qui étaient peut-être lus avant d'être classés avec indifférence est révolu. On ne voit plus non plus les États Membres proposer des candidats qui étaient automatiquement recrutés, et la formation n'est plus réduite à sa plus simple expression. Fait encore plus important, c'en est fini de la mentalité comptable et du ciblage des matières et installations déclarées dont était imprégnée la première culture des garanties.

Aujourd'hui, le Département est mieux géré que jamais. Cela tient en partie aux réformes engagées à l'échelle de l'AIEA, telles que l'approche de la planification des programmes, de leur suivi et de la présentation de rapports axée sur une gestion basée sur les résultats. Le Système d'information à l'échelle de l'Agence pour l'appui aux programmes (AIPS) continuerait à améliorer l'efficacité grâce à l'automatisation des processus plus de 10 ans après sa mise en place¹⁹. La gestion financière s'est améliorée grâce à l'adoption en 2011 des Normes comptables internationales pour le secteur public (IPSAS) dans l'ensemble du système, qui « donnent une meilleure idée des actifs, des passifs, des produits et des charges effectifs de l'Agence²⁰ ». Le Secrétariat indique que l'AIPS et les IPSAS « continuent de nécessiter un réglage minutieux, des ajustements et des améliorations²¹ ». On est en train de rendre opérationnel un cadre de responsabilisation à l'échelle de l'Agence²².

De son côté, le Département des garanties a pris des mesures pour améliorer l'efficacité et l'efficacité en son sein. Son Plan stratégique à long terme (2012-2023), le seul dont dispose l'Agence²³, est une initiative d'avant-garde, non seulement sur le plan institutionnel, mais aussi quant au fond. Établi sur place après consultation du personnel, ce plan expose la philosophie du Département et s'efforce de recenser systématiquement les futurs défis en matière de non-prolifération. Ce document n'a été rendu public que sous une forme résumée, mais il n'en est pas moins révélateur. Il dit que l'AIEA devrait aspirer à être le

¹⁹ AIEA 2019b.

²⁰ AIEA 2020b, p. 141.

²¹ AIEA 2019b, p. 142.

²² AIEA 2020c, p. 19.

²³ AIEA 2011, p. 2.

« principal organisme de vérification nucléaire internationale » et obtenir « la confiance et l'appui de la communauté internationale²⁴ ». Il souligne également la nécessité d'améliorer sans cesse les garanties et de renforcer l'efficacité et l'efficience. Sur les questions de fond, on relève son avertissement indiquant qu'il est « essentiel [...] de détecter et de signaler rapidement toute utilisation abusive *potentielle* de matières et d'activités nucléaires » [italiques ajoutés]²⁵. Jusqu'alors, les garanties reposaient sur l'idée qu'elles ne pouvaient détecter qu'après coup des activités qui préoccupaient l'Agence. Le Plan stratégique à long terme est conçu comme un document évolutif à réviser et actualiser tous les deux ans. La dernière révision remonte à 2018. Une version publique du document révisé n'est malheureusement pas disponible, même sous forme de résumé. Le Département devrait faire en sorte qu'au moins un résumé soit publié afin de rassurer durablement sur son orientation stratégique. Dans le cadre de sa planification stratégique, le Département élabore un Programme de développement et d'appui à la mise en œuvre pour la vérification nucléaire et a formulé un Plan de recherche-développement à long terme (2012-2023), deux documents accessibles au public²⁶.

Le système de gestion de la qualité, exploité depuis 2004, est un autre signe d'une évolution dont il y a lieu de se féliciter en matière d'amélioration de la gestion des garanties²⁷. En août 2018, le Directeur général adjoint chargé des garanties, Massimo Aparo, a rendu publique la dernière version de la politique de qualité du Département, publiée pour la première fois en 2004, en l'assortissant de l'avertissement suivant : « L'enjeu de la qualité est l'instauration de la confiance dans nos conclusions relatives aux garanties²⁸ ». Les principes régissant la gestion de la qualité du Département, qui n'ont pratiquement pas changé depuis 2004, sont les suivants : dynamisme et clairvoyance ; participation des personnes ; approche par processus ; décisions étayées par des données factuelles ; amélioration (qui n'est plus, pour une raison ou pour une autre, « continue » comme dans la version de 2004) ; activité axée sur le client ; et gestion de la relation usagers. Deux objectifs en matière de qualité ont été définis à l'appui de la politique susvisée : « Promouvoir une culture de la qualité et inciter à faire siennes les responsabilités en matière de qualité et les obligations qui en découlent » et « Mettre en œuvre

²⁴ Ce n'est pas aussi ambitieux qu'il y paraît, car il n'y a actuellement qu'un seul autre organisme, l'Organisation du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (OTICE), dont la mise en place est d'ailleurs encore en cours.

²⁵ AIEA 2011, p. 4.

²⁶ AIEA 2020d, 2013.

²⁷ AIEA 2019b, p. 130.

²⁸ AIEA 2020d, p. 96.

notre politique de la qualité et nous conformer à nos principes de gestion de la qualité dans notre approche du travail ».

En dépit de ces aspirations dignes d'intérêt, le Département a peine à mettre en œuvre le système de gestion de la qualité, comme en témoigne le compte rendu annuel des activités visant à l'améliorer établi par le Directeur général²⁹. Il faut reconnaître que, de par sa nature même, la gestion de la qualité implique un processus sans fin d'examen, d'évaluation et de réforme. Les États Membres sont bien conscients de la persistance des problèmes, comme l'indique leur Programme d'appui pour 2020-2021. Celui-ci comprend un projet visant « à renforcer et amener à maturité le système de gestion de la qualité du Département, et à contrôler son efficacité et à en rendre compte », à partir d'une auto-évaluation interne de sa « maturité » réalisée en 2017³⁰.

Concernant plus spécifiquement les garanties, le Département a lancé des bilans d'évaluation de l'efficacité au niveau de l'État, effectués par une équipe d'évaluation de l'efficacité au niveau de l'État spécialement chargée de cette tâche par le Département. Forte de ses compétences interdisciplinaires, cette équipe examine la planification, l'élaboration, la mise en œuvre et l'achèvement des activités de garanties. Elle entend donner au Directeur général adjoint un degré d'assurance supplémentaire concernant l'exactitude des conclusions relatives aux garanties³¹. En 2019, le vérificateur extérieur a procédé à une évaluation spéciale de la mesure dans laquelle le Département avait véritablement mis en place « un contrôle de la qualité efficace à l'appui de la mise en œuvre des garanties³² ». Il a relevé diverses réactions aux activités de l'équipe susvisée parmi le personnel du Département : « Certains sont favorables à ces activités et les considèrent comme un aspect important de l'évaluation de l'efficacité tandis que d'autres estiment qu'elles sont redondantes et représentent une charge qui vient s'ajouter à leur travail actuel, en particulier pour ce qui est des ressources³³ ». Le vérificateur a critiqué l'absence de plans d'action qui prennent dûment en compte les principales activités, dates et étapes concernant la mise en œuvre des recommandations de l'équipe³⁴. L'AIEA a approuvé les recommandations du vérificateur.

Le spécialiste australien des garanties, John Carlson, a suggéré une approche un peu différente du contrôle de la qualité des garanties. Il a proposé une vérification des garanties, confiée à un petit groupe d'experts de confiance, probablement extérieurs au Département et faisant rapport au Directeur général,

²⁹ *Ibid.*, p. 43 à 48.

³⁰ *Ibid.*, p. 90 à 96.

³¹ AIEA 2020b, p. 180.

³² *Ibid.*, p. 179.

³³ *Ibid.*, p. 181.

³⁴ *Ibid.*, p. 180.

qui pourraient examiner les décisions relatives aux garanties et, le cas échéant, faire des recommandations sur le processus³⁵. Carlson croit savoir qu'un arrangement de ce type avait été pris dans les années 1980 et indique qu'« il pourrait être utile aujourd'hui, à un moment où les États cherchent à obtenir des assurances quant au sens dans lequel évolue la pratique en matière de garanties ».

En ce qui concerne les améliorations technologiques en matière de garanties, un projet intitulé « Modernisation de la technologie de l'information relative aux garanties (MOSAIC) » de 41 millions d'euros, lancé en 2015, a été mené à bien en 2018. Employant 150 spécialistes internes, ce projet a mis au point plus de 20 applications logicielles uniques destinées à améliorer l'efficacité, l'efficience et la sécurité des garanties. Le Département a récemment créé une plateforme d'analyse collaborative qui intègre la collecte de mégadonnées et des outils d'analyse dans les activités de garanties. Une autre contribution importante à l'efficacité des garanties a été apportée par le projet de Renforcement des capacités des services d'analyse pour les garanties (ECAS), qui prévoyait de consacrer plusieurs années à la conception et à la construction de nouvelles installations pour les laboratoires d'analyse pour les garanties de Seibersdorf, à savoir le Laboratoire des matières nucléaires (NML) et le Laboratoire des échantillons de l'environnement (ESL)³⁶. Le réaménagement du NML, décrit comme le « bête de somme » de l'analyse des échantillons à l'AIEA, en a augmenté la capacité de 50 %. Financé par les contributions volontaires des États Membres, le projet a été mené à bien en 2015 dans les délais et sans dépassement budgétaire. Toutefois, la science et la technologie ne cessant de progresser dans ce domaine, l'AIEA devra veiller en permanence à ce que ses laboratoires restent à l'avant-garde de la technique pour pouvoir relever les futurs défis en matière de prolifération nucléaire.

Récemment, la résilience institutionnelle s'est trouvée placée au centre des préoccupations du Département, du fait, en particulier, de la pandémie de COVID-19, qui a menacé d'avoir un impact important sur l'application des garanties. Non seulement le personnel du Siège a dû s'adapter au télétravail, le caractère confidentiel des informations dérivées des garanties étant d'ailleurs une source de complications particulières, mais les inspecteurs ont dû se donner beaucoup de mal pour réaliser des visites sur site et assurer la continuité de la vérification. Le Directeur général Grossi a déclaré que « [l']application des garanties n'a pas cessé une seule minute³⁷ ». Des moyens novateurs ont été

³⁵ Carlson 2018.

³⁶ <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-safeguards-labs-more-efficient-and-accurate-thanks-to-recent-upgrades>, page consultée le 12 juillet 2021.

³⁷ <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-nuclear-verification-continued-during-the-covid-19-pandemic-safeguards-statement-2020>, page consultée le 30 septembre 2021.

trouvés pour que les tâches puissent se poursuivre tant au Siège et que sur le terrain, malgré les restrictions de voyage et les quarantaines. Grâce à l'appui des États Membres, l'AIEA a pu, pour la première fois, louer, en cas de besoin, des avions pour acheminer les inspecteurs vers leurs destinations. Dans l'ensemble, l'AIEA a, à ce jour, fait preuve d'une solidité institutionnelle rassurante en surmontant les difficultés créées par la COVID-19. Pour recenser les risques que pourraient entraîner pour les opérations relatives aux garanties les futures situations d'urgence mondiales, l'AIEA a réalisé une analyse des incidences sur les opérations (BIA)³⁸. L'approche des opérations de l'AIEA basée sur la gestion du risque est digne d'éloges.

11.6. TRANSPARENCE ET FRANCHISE

Les discussions sur l'absence de transparence à l'AIEA portent souvent à la fois sur trois problèmes différents : la transparence interne au sein du Secrétariat ; la transparence entre le Secrétariat et les États Membres ; et la transparence vis-à-vis du public. Chacun de ces problèmes requiert une approche différente. Pendant qu'il était en fonctions, le Directeur général Mohamed ElBaradei a lancé sa campagne « Organisation unique » qui visait à en finir avec le cloisonnement des services en matière d'information, pour lequel le Secrétariat était tristement célèbre, et à amener tous les départements de l'Agence à serrer les rangs. En 2020, le Directeur général Grossi, présentant la partie de son premier Programme et budget relative à la politique générale, à la gestion et à l'administration, affirmait toujours que la réalisation des objectifs des États Membres exigeait « une coordination efficace pour assurer une approche de l'organisation unique³⁹ ». Il a ensuite indiqué que presque toutes les activités de l'AIEA nécessitaient une approche de ce type ; c'était notamment le cas de « la gestion de l'information au sein du Secrétariat, entre le Secrétariat et les États Membres, et au bénéfice du grand public et des médias ». Tous ces aspects intéressent l'application des garanties. Or, en tant que dépositaire de la plupart des informations confidentielles en la possession de l'AIEA, le Département des garanties a naturellement eu, plus que les autres départements, toutes les peines du monde à adhérer à l'idéal de l'organisation unique. De fait, le principe de confidentialité énoncé dans les accords de garanties est explicitement destiné à éviter que le Département partage des informations. Le précepte de confidentialité, inhabituel pour une organisation internationale, est à présent si solidement ancré dans la culture des garanties de l'AIEA qu'il a contribué à l'avènement d'une culture de l'opacité en ce qui

³⁸ AIEA 2020e, p. 15.

³⁹ AIEA 2019b, p. 141.

concerne toutes les questions relatives aux garanties et, d'une manière générale, à une absence de transparence à l'AIEA.

Ces dernières années, la transparence au sein du Département des garanties a progressé du fait de l'adoption du concept de contrôle au niveau de l'État, qui exige une collaboration intense entre la direction, les analystes et les inspecteurs membres des groupes d'évaluation au niveau de l'État en vue d'élaborer les conclusions relatives aux garanties pour chaque État, sur la base de multiples sources d'informations. Néanmoins, cela n'a manifestement pas été suffisant puisque l'on s'efforce toujours, avec l'appui des États Membres, à mettre en œuvre le Plan stratégique de communication interne du Département pour 2013 afin de « renforcer les capacités de la haute direction et des fonctionnaires du Département en matière de communication⁴⁰ ».

En ce qui concerne la transparence entre le Secrétariat et les États Membres, il est demandé depuis longtemps au Département des garanties de mieux expliquer l'évolution des approches en matière de garanties. Un problème particulier est survenu en 2012 lorsque certains États Membres ont critiqué le fait que les responsables ne fournissaient pas d'informations ni d'analyses sur le concept de contrôle au niveau de l'État. Ces réactions s'expliquaient en partie par la volonté de marquer politiquement des points, mais certains États Membres étaient véritablement préoccupés par ce dernier exemple d'obscurité en matière de garanties⁴¹.

On discute depuis plus longtemps de l'impénétrabilité du rapport annuel sur l'application des garanties (SIR). Depuis son lancement en 1977, il est devenu, pour reprendre la remarque mémorable de Roger Howsley, « riche en données et pauvre en informations⁴² ». Par exemple, la Déclaration d'ensemble pour 2019, qui est la version expurgée accessible au public du SIR, a utilement révélé qu'un État avait perdu sa conclusion élargie. Toutefois, et comme il fallait s'y attendre, cette perte n'a pas été annoncée directement et l'État concerné, la Libye, n'était pas nommé. Cela n'est apparu que lorsque l'on a vu le nombre d'États pour lesquels a été tirée la conclusion élargie être ramené de 71 à 70. C'était là une excellente occasion d'essayer d'obtenir que le SIR soit plus transparent, la Libye, plongée dans une guerre civile, ne pouvant guère être critiquée pour sa défaillance en matière de garanties. Des problèmes analogues se sont présentés après l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi et à propos de l'Ukraine, du fait que l'Agence ne peut pas accéder à certains emplacements dans ce pays. Dans ces trois cas, le retraitage de la conclusion élargie « n'a pas

⁴⁰ AIEA 2020d, p. 16 et 17, et 43 à 48.

⁴¹ Mayhew 2020.

⁴² Howsley 2011.

tenu compte de la réalité technique sur le terrain⁴³ ». Comme l’Australie l’a fait observer au Conseil, « le SIR devrait être suffisamment détaillé pour permettre aux États Membres de comprendre le fonctionnement du système de garanties de l’Agence et d’évaluer l’efficacité de l’application des garanties⁴⁴ ».

D’autres ont avancé que le SIR devrait « indiquer si les difficultés sont imputables à l’AIEA, à des défaillances d’équipements, à des questions de personnel ou à des problèmes administratifs⁴⁵ ». À l’heure actuelle, les États Membres et le public sont laissés dans le noir, ce qui contribue à l’amnésie entourant les problèmes des garanties : apparemment, personne n’est responsable. En 2020, le vérificateur extérieur a recommandé de consigner dans le SIR la soumission tardive des déclarations des États et son impact sur l’établissement des conclusions relatives aux garanties, en indiquant notamment si l’État a utilisé (ou non) le Portail des déclarations des États (SDP), application en ligne sécurisée qui permet l’échange de données entre l’AIEA et les États Membres⁴⁶. L’ancien Directeur général adjoint chargé des garanties Olli Heinonen estime que le SIR devrait également faire état des problèmes soulevés par les garanties, dont il devrait aussi être question lors des réunions d’information technique organisées à l’intention du Conseil des gouverneurs⁴⁷. Il a également indiqué que le Secrétariat devrait publier des rapports consacrés uniquement à un pays problématique, sans doute pas uniquement après constatation de la violation par ce pays de ses obligations, comme le veut la pratique actuelle.

Le SIR de 2020 contient quelques éléments nouveaux dont il y a lieu de se féliciter. En 2020, il a été indiqué aux participants à la réunion annuelle de l’Institut de gestion des matières nucléaires et de l’Association européenne de recherche-développement en matière de garanties que « le SIR présentait des données beaucoup plus nombreuses et riches et d’une réelle utilité » (Carrie Mathews, présidente), ainsi que de nouvelles tendances et de nouveaux éléments visuels, et « une nouvelle couverture du meilleur effet » (Directeur général adjoint Aparo). Aparo a également annoncé que le Directeur général avait l’intention de présenter aux États Membres des informations supplémentaires sur « la façon dont nous travaillons », notamment des données tirées de l’accord de niveau de service, mais il a conseillé d’éviter de rendre le SIR « illisible »⁴⁸.

⁴³ Otto 2021.

⁴⁴ <https://austria.embassy.gov.au/vien/AEIASIRJune2021.html>, page consultée le 30 septembre 2021.

⁴⁵ Rockwood *et al.* 2019, p. 29.

⁴⁶ AIEA 2020b, p. 177 et 178.

⁴⁷ Heinonen 2013.

⁴⁸ Mathews et Aparo 2020.

S'agissant de la transparence vis-à-vis de l'extérieur ou du public, la pratique actuelle n'est susceptible d'être modifiée qu'au prix d'un changement de culture à l'échelle de l'organisation. Si l'AIEA faisait preuve d'une plus grande ouverture au sujet de ses buts stratégiques, de son budget et de son financement, de sa restructuration institutionnelle et de la mesure de ses résultats, le Département des garanties s'enhardirait à être plus ouvert au sujet de l'efficacité des garanties, des nouveaux défis en matière de prolifération et des questions d'ordre général soulevées par le non-respect de leurs obligations par les États Membres. Pour commencer, Heinonen préconise de rendre le SIR public dans son intégralité, afin de porter les problèmes d'application des garanties et de respect des obligations à l'attention de toutes les parties prenantes, y compris les chercheurs et les lanceurs d'alerte, qui pourraient utiliser ce rapport pour faire connaître les actes illicites des États et faire toute la lumière sur ces derniers⁴⁹. Le Secrétariat lui-même souscrit à cette initiative, mais les appréhensions de certains États Membres l'empêchent d'agir.

Une autre difficulté découle de la réticence du Secrétariat à répondre publiquement aux critiques visant l'AIEA, laissant ainsi le Département des garanties sans défense et vulnérable à la mécompréhension et à de nouvelles critiques. Le Directeur général précédent, Yukiya Amano, faisant observer qu'il était parfois difficile pour les États Membres et le public de comprendre ce que l'AIEA faisait, a reconnu qu'« [i]l peut également être irritant pour nous de voir débattre d'informations erronées qui relèvent du domaine public⁵⁰ ». La réponse est claire : il faut plus de transparence. Écrivant pour le Centre de Vienne pour le désarmement et la non-prolifération, Laura Rockwood et ses collègues ont recommandé « aux États Membres et au Secrétariat de réfuter les assertions fausses concernant le pouvoir juridique de l'AIEA⁵¹ ». Ils sont d'avis que « [l]a contestation de l'autorité de l'AIEA qui a pour origine la défiance des États vis-à-vis du Secrétariat, peut être atténuée par la transparence, les consultations et l'envoi de messages qui soulignent l'importance d'une relation en matière de garanties qui soit caractérisée non par la confrontation, mais par le partenariat ». Par ailleurs, ils proposent de rendre le SAGSI transparent vis-à-vis du public afin de contribuer à dénoncer les déclarations erronées concernant les garanties et de présenter au public et au Conseil des gouverneurs des avis indépendants sur les questions intéressant les garanties.

La grande majorité des membres de la communauté de la non-prolifération approuvent l'action de l'AIEA et sa mission, et ils devraient être considérés

⁴⁹ Heinonen 2013, p. 5.

⁵⁰ <https://www.iaea.org/newscenter/statements/challenges-in-nuclear-verification>, page consultée le 30 septembre 2021.

⁵¹ Rockwood *et al.* 2019, p. 26.

comme une « force démultiplicatrice » s'agissant de faire connaître ses réalisations et ses difficultés, compte tenu en particulier du fait que l'appui de certains États Membres lui fait tristement défaut. Le Directeur général Grossi semble mieux disposé à partager des informations et est plus direct dans ses déclarations publiques, notamment en faisant des réponses non scénarisées, mais spontanées. Mais il doit aussi réparer la relation de l'AIEA avec les médias, les milieux universitaires et la société civile, qui s'est dégradée ces dernières années. Il est encourageant de noter que, depuis qu'il est devenu Directeur général, il défend l'idée que l'instauration d'un partenariat inclusif – non seulement avec les États Membres, mais aussi avec les organisations non gouvernementales et internationales, l'industrie et la société civile – peut aider l'AIEA à se donner les meilleurs moyens de garantir à chacun un avenir meilleur⁵².

11.7. FORMATION AUX GARANTIES

Ces dernières années, le Département des garanties a pris des mesures importantes pour améliorer la formation. Sa Section de formation (CTR) est chargée de concevoir et de dispenser une formation aux garanties au personnel de l'AIEA et à celui des autorités nationales ou régionales⁵³. Dans ce dernier rôle, l'Agence inculque sa pratique et sa culture de garanties aux autorités nucléaires nationales, et le Secrétariat peut détecter les pratiques et cultures dysfonctionnelles de ces institutions en la matière.

La formation des nouveaux inspecteurs s'ouvre sur un cours d'initiation aux garanties de l'Agence, qui s'étale sur trois à quatre mois. Les modules portent sur les sujets techniques nécessaires, notamment les techniques d'essais non destructifs, le confinement et la surveillance, la radioprotection et la vérification des renseignements descriptifs. La formation consiste également à faire acquérir des compétences générales, comme les techniques d'observation, de négociation, de communication et d'entretien. Les stagiaires se familiarisent avec l'histoire des garanties, y compris les cas de non-respect des obligations, ainsi qu'avec l'historique des traités et accords relatifs aux garanties. La formation initiale s'achève par un exercice d'inspection approfondie dans un réacteur à eau ordinaire et la présentation d'une étude de cas.

La nouvelle devise « exhaustivité et exactitude » énoncée dans le système de garanties renforcé depuis l'affaire de l'Iraq est désormais incorporée dans la culture dans le cadre de la formation. On apprend aux inspecteurs à être plus curieux, à pousser plus loin leurs enquêtes et à poser davantage de questions aux

⁵² Grossi 2021, p. 13 et 14.

⁵³ AIEA 2020d, p. 97.

responsables des installations ou des gouvernements qui les accueillent, et à être mieux disposés à prendre des initiatives sur le terrain plutôt que de demander automatiquement l'autorisation de Vienne. De l'avis d'un inspecteur chevronné qui conduit une partie du cours d'initiation, la nouvelle approche donne des résultats. « Mais en plus de mesurer les matières nucléaires, et de consulter et de contrôler les livres comptables, nous recherchons toujours des signes ou indications d'éventuelles matières et activités nucléaires non déclarées⁵⁴ ». Il s'agit d'apprendre aux inspecteurs à penser non pas en physiciens, chimistes ou ingénieurs, ce qu'ils sont presque tous, mais en tant qu'enquêteurs⁵⁵. Au fond, les inspecteurs doivent apprendre à être des lanceurs d'alerte. Pour cela, ils doivent être prêts non seulement à trouver des éléments prouvant le non-respect d'obligations, mais aussi se sentir suffisamment sûr de leur fait pour convaincre un haut responsable de l'AIEA éventuellement sceptique qu'une violation a bien été commise.

Outre la formation des nouveaux membres du personnel, la CTR propose au personnel affecté à l'application des garanties engagé à titre continu des cours sur les diverses activités relatives aux garanties dans les installations et au Siège, qui visent à lui faire acquérir des « compétences techniques et comportementales⁵⁶ ». La formation à la gestion de la qualité dispensée à l'ensemble du personnel affecté à l'application des garanties, y compris aux inspecteurs, s'est récemment intensifiée⁵⁷. Étant donné la place prise par la méthode de contrôle au niveau de l'État, il s'impose tout particulièrement de former l'ensemble du personnel affecté à l'application des garanties à l'utilisation systématique des nouvelles techniques d'analyse, notamment la réflexion critique et l'« analyse de structures⁵⁸ ». La formation visant à développer la capacité d'analyse doit aider les analystes et les inspecteurs à éviter les « idées reçues », à recourir à l'analyse d'hypothèses contradictoires, qui, aux dires de certains, pourrait être remarquablement efficace, et à réduire autant que faire se peut les distorsions individuelles. Les participants apprennent qu'il existe trois niveaux d'analyse : l'analyse objective, qui ne leur cause aucun problème ; l'analyse subjective, qui suppose une certaine dose de subjectivité pour tirer des faits une conclusion ; et le niveau politique, où ils ne doivent pas s'aventurer. La CTR conduit une série d'ateliers d'une journée

⁵⁴ <https://www.iaea.org/newscenter/news/training-iaea-inspectors>, page consultée le 10 février 2015.

⁵⁵ <https://www.iaea.org/newscenter/news/a-day-in-the-life-of-a-safeguards-inspector>, page consultée le 30 septembre 2021.

⁵⁶ <https://www.iaea.org/newscenter/news/training-iaea-inspectors>, page consultée le 10 février 2015.

⁵⁷ AIEA 2007, p. 6.

⁵⁸ AIEA 2020d, p. 104.

visant à apprendre aux participants aux groupes d'évaluation au niveau de l'État à travailler en équipes⁵⁹.

La formation s'emploie bien à faire évoluer la culture des garanties pour prendre en compte les nouvelles valeurs liées aux garanties renforcées, mais la documentation ou les plans de formation aux garanties ne mentionnent pas cette culture en tant que telle. Cela contraste vivement avec la pratique mondiale en matière de sûreté et de sécurité nucléaires, au sujet de laquelle aucun cours d'initiation qui se respecte ne serait complet sans une référence à la culture et au moins une classe expliquant ce dont il s'agit et comment la renforcer. Cette lacune devrait être comblée. On admet de plus en plus la nécessité de transmettre le « savoir tacite », qui n'est pas dans les manuels ou les instructions, mais qui est en grande partie culturel. Les inspecteurs principaux jouent un rôle essentiel en servant de mentors aux nouveaux membres du personnel et en leur transmettant la culture des garanties, en particulier en leur montrant jusqu'à quel point ils peuvent prendre des initiatives et faire preuve de fermeté. Depuis 2007, l'AIEA conduit des activités de gestion afin d'aider les superviseurs à identifier les moyens de conserver les connaissances liées au travail des fonctionnaires qui partent à la retraite ou quittent d'une autre manière le Département⁶⁰.

Pour ce qui est de se préparer à relever les défis en matière de non-prolifération, l'AIEA affirme qu'elle adapte en permanence son programme de formation à l'évolution de l'application des garanties⁶¹. Par exemple, une formation supplémentaire a été dispensée à bref délai pour résoudre les problèmes que posait la vérification sur le site de la centrale de Fukushima Daiichi au Japon après l'accident survenu en 2011 et, après 2015, pour appuyer la vérification en République islamique d'Iran après la conclusion du Plan d'action global commun⁶². La formation se poursuit également en vue d'une éventuelle reprise des inspections en RPDC⁶³. La CTR est également consciente de la nécessité d'une formation en prévision de l'arrivée de nouvelles technologies, qu'il s'agisse des technologies de vérification mises en œuvre par l'AIEA elle-même ou des nouvelles technologies de l'industrie nucléaire⁶⁴.

Le défi le plus récemment lancé à une formation aux garanties efficace a été la pandémie de COVID-19. L'enseignement distanciel a en grande partie remplacé l'enseignement présentiel, obligeant à réinventer les techniques pédagogiques et les résultats escomptés. La CTR pense que cette expérience

⁵⁹ *Ibid.*, p. 107.

⁶⁰ AIEA 2007.

⁶¹ AIEA, 2014a.

⁶² AIEA 2017.

⁶³ Projet SGCP-102, voir AIEA 2020d, p. 98.

⁶⁴ *Ibid.*, p. 100 et 101.

pourrait avoir des incidences à long terme sur la formation, l'accent étant mis non plus sur les méthodes d'enseignement classiques (cours et questions et réponses), mais sur l'« apprentissage centré sur l'apprenant », associant une interactivité renforcée, des retours d'information en temps réel de la part des apprenants, une importance accrue accordée aux buts et aux méthodes permettant d'atteindre les objectifs pédagogiques, et le recours à l'interprétation simultanée pour les stagiaires non anglophones⁶⁵. La formation aux garanties dans un environnement multiculturel a toujours eu des défis à relever et la pandémie a pu accélérer la mise à l'étude de réformes majeures.

À l'évidence, aucun programme de formation n'est parfait. En 2019, un rapport établi à la demande de l'Autorité suédoise de sûreté radiologique a attiré l'attention sur des exemples inquiétants d'inspecteurs « qui ignorent ou ne respectent pas les prescriptions de sûreté et de sécurité dans une installation, connaissent mal le cadre juridique (notamment les contraintes imposées à l'AIEA) ou tout simplement se conduisent mal ou croisent le fer avec l'exploitant ou l'État⁶⁶ ». Il concluait que si, « heureusement, ces exemples ne sont pas très nombreux », ils « méritent l'attention ». L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) estime que les organisations chargées de faire respecter une réglementation devraient se conformer aux normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) applicables aux inspections et demander leur accréditation⁶⁷. L'AIEA l'a déjà fait pour son laboratoire d'analyse pour les garanties. Étant donné qu'elle considère que son système de garanties est sans équivalent, l'AIEA pourrait être réticente à se soumettre à un tel processus d'accréditation, bien qu'elle puisse tirer des enseignements des normes largement reconnues elles-mêmes.

La CTR admet que son travail est rendu plus compliqué par des restrictions budgétaires, le taux de rotation du personnel, le recours à des formateurs externes (60 %), les restrictions accrues d'accès aux installations aux fins de la formation sur place et la nécessité d'actualiser les outils de gestion et de formation⁶⁸. Les États Membres (surtout occidentaux) doivent apporter un appui extrabudgétaire au titre de la plupart des formations et des déplacements qu'elles entraînent, ainsi que des experts mis à disposition à titre gracieux pour dispenser certains cours⁶⁹. Le recours au financement volontaire non seulement complique la planification, mais aussi, malheureusement, perpétue l'idée fautive que les garanties nucléaires sont un projet occidental à mille lieues des priorités du monde en développement.

⁶⁵ Stevens *et al.* 2021.

⁶⁶ Rockwood *et al.* 2019, p. 29.

⁶⁷ OCDE 2014 ; ISO 2017.

⁶⁸ Projet SGCP-102, voir AIEA 2020d.

⁶⁹ *Ibid.*

Les sources de financement et la mise à disposition de formateurs mis à disposition à titre gracieux devraient de préférence être élargies pour bien marquer que les garanties sont une préoccupation universelle, encore cela bute sur les difficultés financières actuelles. Cela pourrait être un domaine dans lequel des partenariats public-privé pourraient être envisagés.

11.8. RENFORCER ENCORE LES EFFECTIFS DES GARANTIES

L'AIEA devrait accorder un rang de priorité élevé à l'affectation à l'application des garanties d'un personnel hautement motivé, dévoué, adaptable et disposé à relever les défis actuels et futurs en matière de vérification. En dépit des efforts dignes d'éloges qu'elle fait pour améliorer le recrutement et la formation, l'organisation se trouve aux prises avec des héritages institutionnels qui l'empêchent d'obtenir des résultats optimaux. Le premier est le système de « rotation » du personnel des Nations Unies qu'elle utilise. Conçu pour éviter toute possibilité de carrière au sein du Secrétariat, ce système impose aux inspecteurs et autres professionnels affectés à l'application des garanties un contrat d'une durée maximale de sept ans (le contrat généralement établi pour une période initiale de trois ans est suivi de deux renouvellements de deux ans chacun). Au bout de sept ans, la plupart d'entre eux doivent quitter l'organisation, mais ils peuvent faire une demande de réintégration après une absence d'un an. Si le Directeur général le juge bon, un contrat peut être renouvelé indéfiniment, compte tenu du nombre limité de candidats possédant les compétences techniques nécessaires pour être affectés à l'application des garanties, de la nécessité de maximiser le rendement de l'investissement consenti par l'AIEA pour la formation des inspecteurs (jusqu'à 240 000 euros sur cinq ans par personne) et des prescriptions techniques toujours plus complexes et spécialisées relatives aux garanties. À l'heure actuelle, quelque 30 % des professionnels de l'AIEA ont un contrat de longue durée et sont, pour la plupart d'entre eux, affectés au Département des garanties⁷⁰.

Le système de rotation présente l'avantage de donner aux ressortissants d'un plus grand nombre d'États Membres la possibilité de travailler à l'AIEA, ce que les pays en développement ne cessent de préconiser. Il permet aussi d'injecter régulièrement dans le système un « sang nouveau » et de nouvelles idées et compétences. Fait moins largement reconnu, il permet également au Secrétariat de renvoyer des professionnels des garanties expérimentés dans leur pays d'origine, où ils peuvent diffuser les meilleures pratiques en la matière et la culture des garanties au sein de leurs autorités nationales des garanties. Enfin, la

⁷⁰ AIEA 2020b, p. 182.

politique de rotation permet à l'AIEA de se débarrasser de fonctionnaires dont les prestations ne donnent pas satisfaction.

Toutefois, les inconvénients sont très importants. Le terme de « rotation » est impropre, car il donne à entendre que le personnel entre à l'Agence et en sort de façon ordonnée. En fait, nombre d'inspecteurs dont les prestations étaient jugées très satisfaisantes ne sont jamais réintégrés ou le sont si tard qu'ils doivent suivre un recyclage. Les mouvements permanents d'entrée et de sortie se traduisent par une perte de compétences et de mémoire institutionnelle, et empêchent d'ancrer une solide culture des garanties dans la pratique du personnel. Les frais de rapatriement des agents qui cessent d'exercer leurs fonctions sont très élevés. L'AIEA ne peut pas offrir au personnel qu'elle recrute un plan de carrière garanti. Par ailleurs, le système permet à la direction de faire l'économie de ce qui devrait être un processus normal d'évaluation du comportement professionnel, qui ferait état de la qualité, bonne ou mauvaise, des prestations de chaque membre du personnel, et « qui, de l'avis général, n'est pas véritablement inscrit dans la culture de l'AIEA⁷¹ ». Ce sont là des pratiques qu'aucune entreprise moderne ne tolérerait. Dans le même temps, l'AIEA peine à recruter du personnel originaire de toutes les régions géographiques, comme son Statut l'y oblige, d'autant plus que sont exigées des qualifications de plus en plus spécialisées. En offrant des contrats à durée limitée et sans plan de carrière, l'AIEA ne peut pas lutter avec la concurrence. De grands projets nucléaires dont la réalisation se poursuit dans plusieurs pays (notamment le Bangladesh, l'Égypte, les Émirats arabes unis, l'Inde et la Turquie) accaparent des talents potentiels, ce en dépit de l'attrait exercé par Vienne. Il est difficile, en particulier, de recruter des analystes, notamment ceux qui ont des compétences en imagerie satellitaire et en analyse des médias sociaux (domaines dont l'AIEA n'a encore qu'une faible idée).

Même si le Statut de l'AIEA impose de « maintenir l'effectif [du] personnel permanent à un chiffre minimum⁷² », l'ancienne conseillère juridique de l'AIEA Laura Rockwood affirme que rien ne s'oppose juridiquement à une modification de la politique de rotation avec effet immédiat (avec, en principe, l'approbation ou l'acceptation du Conseil)⁷³. Entre-temps, plusieurs mesures pourraient être prises pour reproduire par d'autres moyens les avantages du système de rotation. Il convient de systématiser la rotation au sein du Département, comme l'a recommandé le vérificateur extérieur (et le Département a donné son accord). Au lieu de faire quitter l'AIEA à des membres de son personnel, on pourrait organiser leur remise à niveau au moyen de congés sabbatiques, de programmes d'échanges et de détachements. Les agences nationales de l'énergie nucléaire

⁷¹ Rockwood *et al.* 2019, p. 31.

⁷² AIEA 1989, article VII.C.

⁷³ Rockwood *et al.* 2019, p. 31.

ou les organisations actives dans le domaine nucléaire, notamment EURATOM, l'ABACC, l'Organisation du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires, l'Université nucléaire mondiale et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, pourraient collaborer à cette fin. En tout état de cause, une étude approfondie des pratiques de recrutement de l'AIEA, qui pourrait être confiée à un consultant externe, semble justifiée.

En dépit des appels lancés pour faire évoluer la culture des garanties à la suite de l'affaire de l'Iraq au début des années 1990, et à la différence de ce que l'on a observé dans les domaines de la sûreté et de la sécurité, le changement de culture n'a pas été considéré comme devant faire partie des mesures à prendre pour maintenir l'efficacité des garanties de l'AIEA⁷⁴. Le Secrétariat n'a pas adopté de stratégie délibérée de changement culturel et n'a pour ainsi dire pas non plus utilisé le langage de la culture. Pourtant, les changements révolutionnaires introduits dans le système de garanties depuis l'affaire de l'Iraq n'ont pas manqué de faire évoluer la culture des garanties dans les trois domaines recensés comme essentiels par les spécialistes de la théorie des organisations, à savoir les artefacts, les valeurs épousées et les hypothèses prises en compte⁷⁵.

Les plus grands changements apportés aux valeurs épousées ont concerné l'exactitude et l'exhaustivité, la nécessité pour les inspecteurs de faire davantage preuve d'un esprit d'investigation et l'intérêt de faire adopter à l'ensemble du personnel une approche reposant sur une collaboration renforcée. Le Département des garanties a apporté des changements qui ont eu des incidences sur le plan de la culture, comme les consultations ayant abouti à l'élaboration du plan stratégique et ses mises à jour, l'amélioration du recrutement et de la formation, et les réformes découlant du processus de gestion de la qualité. Les mouvements de personnel et le changement générationnel permettront à une nouvelle culture de se répandre avec le temps, et ils impliquent également que la culture pourrait évoluer de façon imprévue, d'autant que la proportion de femmes et de fonctionnaires originaires de pays sous-représentés augmente. Par ailleurs, le Département continue de se heurter au problème de l'intégration ou, au moins, de la conciliation de plusieurs sous-cultures, en particulier les sous-cultures administrative et scientifique, ainsi que les sous-cultures de l'inspection et de l'analyse.

Cela étant, le changement culturel prend du temps, et les changements indiqués peuvent ne pas encore être pleinement pris en considération dans les hypothèses dont s'inspire le personnel affecté à l'application des garanties. Le scepticisme quant à l'intérêt de l'approche culturelle est encore très répandu au sein du Département, ce qui tient sans doute à une incompréhension des

⁷⁴ Pour une étude complète de la culture des garanties de l'AIEA, voir Findlay 2022 (à paraître).

⁷⁵ Schein 2004, Schein et Schein 2017.

perspectives qu'elle peut ouvrir et peut-être à la peur de ce qu'elle pourrait révéler. Ce en dépit du fait que l'AIEA ne cesse d'inviter ses États Membres à tenir compte des aspects culturels, non pas seulement dans les domaines de la sûreté et de la sécurité, mais aussi pour renforcer leurs organismes nationaux de l'énergie nucléaire⁷⁶.

Les éléments d'une culture des garanties optimale devraient être apparents. Certains d'entre eux sont les aspirations standard qui devraient être celles de toutes les organisations, à savoir l'excellence institutionnelle, le professionnalisme et la loyauté, et la volonté d'efficacité et d'efficience. D'autres valeurs sont spécifiques à l'AIEA en sa qualité d'organisation internationale qui se consacre à une cause plus élevée que son propre bien-être, tout particulièrement la paix et la sécurité internationales. Une culture des garanties optimale devrait incarner un engagement ferme de l'ensemble de l'AIEA envers le régime de non-prolifération. Bien qu'animé des meilleures intentions, le Département des garanties ne peut pas à lui seul faire évoluer les normes culturelles de l'Agence dans son ensemble, à plus forte raison celles du système des Nations Unies, qui exercent une influence profonde sur la culture des garanties, les plus importantes de ces normes étant celles qui concernent la capacité de direction, le style de gestion, le recrutement et la promotion. Ces normes ne sauraient évoluer sans l'intervention de la haute direction de l'AIEA, le Directeur général et les hauts responsables, ainsi que du Conseil des gouverneurs et de l'ensemble des Membres.

S'agissant spécifiquement de la culture des garanties, le Secrétariat devrait mobiliser l'ensemble de la communauté des garanties, y compris les États Membres, en vue de convenir d'une définition de la culture des garanties et de recenser les éléments d'une culture optimale, comme l'ont fait les communautés de la sûreté et de la sécurité nucléaires. Cette activité n'entraînera pas automatiquement de changement culturel, mais elle peut guider et inspirer le Secrétariat, les États Membres et d'autres parties prenantes. De plus, l'AIEA devrait demander à des spécialistes reconnus de la gestion de réaliser une étude de sa culture institutionnelle en se concentrant sur les garanties et le personnel affecté à leur application. Ils devraient notamment examiner l'incidence sur la culture des garanties de la politique de rotation du personnel, des pratiques en matière de recrutement et de formation, de l'évaluation du personnel et des conseils au personnel, ainsi que du système de récompense. Ils devraient également tenir compte des enseignements tirés de l'expérience d'autres organisations ayant des fonctions réglementaires. Lorsqu'elle prévoit d'apporter des changements structurels majeurs, l'AIEA devrait tenir compte d'entrée de jeu de leur impact culturel probable et mettre en place des mesures pour réaliser

⁷⁶ AIEA 2008, 2009, 2014b.

la transformation culturelle souhaitée. On pourrait faciliter ce processus en désignant un administrateur responsable de la gestion du changement culturel.

11.9. DÉFIS FUTURS EN MATIÈRE DE VÉRIFICATION

La planification des activités de garanties doit notamment faire face à la demande périodique mais imprévue de services de vérification ad hoc découlant d'accords internationaux conclus sans la participation directe de l'AIEA. Jusqu'à présent, les cas les plus notables ont été ceux de l'Iraq, de la RPDC et de la République islamique d'Iran. Après des années de budgets à croissance réelle nulle, le système de l'AIEA ne présente aucun excédent pouvant permettre de financer le coût (financier, technique, en ressources humaines et de gestion) de pareilles affaires. Elle ne peut donc se passer des contributions volontaires des États Membres. En général, ces contributions se matérialisent, parfois juste à temps, mais le fonctionnement normal de l'Agence peut être très perturbé. Il ne s'agit pas uniquement de l'absence de disponibilités financières : les personnels clés peuvent être détournés de l'exercice de leurs fonctions quotidiennes. Cela s'est produit dans le cas du Groupe d'action pour l'Iraq et à nouveau dans celui de l'Équipe spéciale sur l'Iran et, plus tard, dans celui du Bureau de vérification en Iran. Pour remédier à des cas de ce genre à l'avenir, l'AIEA pourrait, par exemple, créer un fonds spécial pour les activités d'urgence. Il pourrait être utilisé non seulement pour les cas de violation des obligations, mais aussi pour les accidents nucléaires, comme celui survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, lorsque le Secrétariat doit mener d'urgence une intervention en réponse à une crise.

D'un autre côté, l'AIEA devrait chercher à retirer un avantage des nouveaux enjeux de vérification qui découlent infailliblement des arrangements ad hoc. Dans le cas de l'Iraq, la collaboration avec la Commission spéciale des Nations Unies (CSNU) et la Commission de contrôle, de vérification et d'inspection des Nations Unies (COCOVINU) a mis l'AIEA, pour le meilleur ou pour le pire, en contact avec différentes méthodes de vérification, notamment l'examen de documents et les entretiens réalisés auprès du personnel clé, et avec de nouvelles techniques, comme l'échantillonnage de l'environnement. En République islamique d'Iran, l'AIEA a indubitablement tiré plusieurs enseignements et acquis une précieuse expérience du maintien d'une présence permanente aux fins de contrôle dans certaines installations et, comme le Plan d'action global commun l'indique évasivement, de l'« utilisation de technologies de contrôle modernes⁷⁷ ». Même si le Plan d'action susvisé déclare expressément que ses

⁷⁷ Plan d'action global commun 2015, annexe 1, par. 67.

dispositions et mesures « ne devraient pas être considérées comme créant des précédents⁷⁸ », il sera impossible de séparer les connaissances et l'expérience acquises par l'AIEA dans l'affaire iranienne de son corpus et de ses outils de vérification. Le Secrétariat devrait veiller à ce que les enseignements tirés soient consignés, répertoriés et étudiés. D'aucuns peuvent bien considérer comme un gaspillage de ressources que le Secrétariat continue de se préparer à son retour en RPDC, mais le maintien de cette capacité renforce les capacités globales de l'Agence et élimine la réticence à vérifier en tant qu'obstacle à une reprise rapide de l'application des garanties par la RPDC ou à son acceptation de mesures de contrôle supplémentaires.

En sus de ces activités de vérification imprévues isolées, on débat depuis longtemps du rôle de l'AIEA en matière de vérification des accords multilatéraux ou bilatéraux à venir. Voilà des décennies que l'on parle du traité interdisant la production de matières fissiles à des fins militaires comme de la prochaine étape multilatérale essentielle sur la voie du désarmement nucléaire, dans le cadre de laquelle un rôle de vérification pourrait être dévolu à l'AIEA. Il a également été proposé que l'AIEA vérifie les matières nucléaires excédentaires provenant du désarmement nucléaire des EDAN, en particulier de la Fédération de Russie et des États-Unis d'Amérique. L'Initiative trilatérale des années 1990 et du début des années 2000 devait ouvrir la voie à cette implication de l'Agence⁷⁹. Enfin, le Traité sur l'interdiction des armes nucléaires de 2017 appelle de ses vœux une vérification multilatérale d'un désarmement nucléaire complet, sans toutefois profiter de l'existence d'une organisation expérimentée comme l'AIEA pour mener à bien cette tâche. Cependant, au moins depuis la fin du mandat de Mohamed ElBaradei, l'AIEA a fait preuve de la plus grande réserve s'agissant d'exposer son point de vue sur la possibilité pour elle d'assumer ces tâches futures. Au cours des 60 années écoulées, le Statut de l'AIEA a fait preuve d'une souplesse extraordinaire pour intégrer de nouvelles tâches et il semblerait qu'aucun obstacle insurmontable ne s'oppose à ce que l'Agence exerce l'une ou l'ensemble de ces fonctions si les États Membres le lui demandaient.

L'efficacité des sanctions se heurte en permanence aux obstacles créés par les progrès technologiques, l'AIEA devant faire en sorte non seulement de mettre en œuvre des technologies et techniques de pointe, mais aussi adapter ses processus de vérification aux nouveaux types d'installations et de technologies nucléaires des États Membres. Elle ne dispose que d'un budget réduit pour les activités de recherche-développement et compte sur les programmes d'appui d'États Membres pour l'aider à piloter sa modernisation technique. Les processus modernes de gestion de l'information revêtent une importance d'autant plus

⁷⁸ *Ibid.*, Préambule et dispositions générales, xi.

⁷⁹ Shea et Rockwood 2015.

essentielle que le Secrétariat doit faire face chaque année à de gigantesques quantités de données nouvelles, est perpétuellement aux prises avec le problème du « rapport signal sur bruit » et doit intégrer toutes les informations disponibles dans la méthode de contrôle au niveau de l'État⁸⁰. Le Département s'emploie à relever ces défis dans le cadre de ses projets concernant la Plateforme d'évaluation statistique des garanties (STEPS), la Planification de l'évaluation de la méthode de contrôle au niveau de l'État (SLAIP) et l'Amélioration de l'échantillonnage de l'environnement (ESEE). Entre-temps, la multiplication des microsattellites à capacités avancées permet d'espérer des améliorations continues de la télésurveillance depuis l'espace, que le Département des garanties doit se préparer à exploiter. Par ailleurs, le Département se doit encore d'exploiter pleinement les techniques avancées de surveillance des médias sociaux, de prospection de mégadonnées, ainsi que celles du registre distribué et de la blockchain. Les contraintes de financement et de personnel sont constantes. Le recours à l'intelligence artificielle pendant les inspections sur place, à l'aide d'appareils portables que les inspecteurs puissent interroger, est une idée prometteuse qui peut permettre d'utiliser les inspecteurs pour d'autres tâches⁸¹.

11.10. AUGMENTER LE NOMBRE DES BUREAUX RÉGIONAUX ?

Pendant des années, l'AIEA a eu deux bureaux régionaux, à Tokyo et à Toronto, pour faciliter l'exécution des importants programmes de travail en matière de garanties au Japon et au Canada, respectivement. Pendant la pandémie de COVID-19, ces deux bureaux ont joué un rôle des plus utiles en permettant à l'activité sur place de se poursuivre avec moins d'interruptions dues aux confinements et aux interdictions de voyager. Le Directeur général adjoint Aparo a avancé l'idée de créer d'autres bureaux régionaux pour permettre au système de garanties de faire face aux crises futures⁸².

Des bureaux supplémentaires pourraient être utiles non seulement à ces fins, mais aussi pour établir une présence de l'AIEA dans des régions qui se sentent éloignées de Vienne et qui pourraient bénéficier d'échanges de vues permanents avec des fonctionnaires de l'Agence au sujet des questions intéressant les garanties. Ces bureaux pourraient également gérer le renforcement des capacités des autorités nationales chargées de l'application des garanties et des systèmes nationaux et régionaux de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires, appuyer la formation aux garanties, renforcer les projets de coopération technique

⁸⁰ Baute 2021.

⁸¹ Smartt 2021.

⁸² Aparo 2020.

et promouvoir d'autres aspects de la mission de l'AIEA, en particulier la sécurité nucléaire. Il y aurait des incidences financières, mais on pourrait envisager que l'AIEA partage ses locaux et collabore avec les autres bureaux des Nations Unies présents dans le pays, comme ceux du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), qui coordonne souvent les activités des Nations Unies dans les pays en développement. Le choix de chaque emplacement serait un défi politique. L'approche de nature à susciter le moins d'objections pourrait consister à installer les bureaux régionaux de l'AIEA dans les centres régionaux existants du Département des affaires de désarmement de l'ONU [Lima (Pérou) pour l'Amérique latine ; Lomé (Togo) pour l'Afrique ; et Katmandou (Népal) pour l'Asie et le Pacifique]. Le déplacement de certains fonctionnaires entre Vienne, où les coûts sont élevés, et des endroits où ils le sont moins pourrait ne rien coûter. C'est une idée à creuser.

11.11. FINANCEMENT DES GARANTIES

Le financement des garanties est depuis des décennies pris en étau entre l'accroissement de la demande de garanties, des budgets à croissance réelle nulle et le couplage avec le financement de la coopération technique. Un gouffre sépare ce que le Département des garanties pourrait faire pour maximiser l'efficacité des garanties et les ressources du budget ordinaire annuel qui sont mises à sa disposition. Pour l'exercice biennal 2020-2021, le coût estimatif des projets en attente de financement que le Département souhaite voir exécuter a représenté quelque 33 millions d'euros, contre environ 149 millions d'euros inscrits au budget ordinaire⁸³. La part du budget ordinaire allouée aux garanties a augmenté chaque année, mais elle ne suffit pas à faire face à l'accroissement de la demande découlant de ce que le Secrétariat appelle ses « grands défis ». Outre ceux dont il a été question en détail dans le présent chapitre, il faut mentionner la planification et la conduite d'activités de vérification dans des conditions de sécurité difficiles qui pourraient nécessiter des mesures supplémentaires pour garantir la sécurité physique des agents opérant sur le terrain et la sécurité de l'information.

En dépit de l'élection d'une administration américaine qui, dirigée par le Président Joe Biden, est mieux disposée à l'égard des organisations internationales que l'administration précédente, il ne faut pas s'attendre à lui voir prendre la tête d'une grande campagne visant à accroître le budget des garanties, même si les contributions volontaires des États-Unis pourraient augmenter. En tout état de cause, la part de 25 % du budget de l'AIEA assumée par les États-Unis d'Amérique est malsaine pour toute organisation internationale, à plus

⁸³ AIEA 2019b, p. 139 et 140.

forte raison pour une organisation aussi importante pour la paix et la sécurité internationales que l'AIEA. Dans le cas des garanties, elle ne fait que renforcer l'idée que ces dernières sont principalement l'affaire du « premier monde ». Le financement des garanties devient plus équitable grâce à la fin du système de « protection », conçu au départ pour protéger les pays en développement contre la hausse des coûts des garanties⁸⁴. Les États de la catégorie 3, dont, chose étonnante, font partie la Chine et l'Inde, devraient perdre cette protection en 2024 ; ce sera ensuite, en 2032, le tour de la catégorie 4, qui regroupe les pays les moins avancés (ils bénéficient déjà d'une remise au niveau de leurs contributions au budget ordinaire). Il a toujours semblé inéquitable qu'un pays comme la Chine, qui s'est rapidement affirmée comme un géant économique, ne contribue pas davantage au financement des garanties. Étant donné la vigueur de l'économie chinoise, on ne comprend pas pourquoi la Chine ne devrait pas verser au budget des garanties une contribution égale à celle des États-Unis d'Amérique. En Inde, la séparation des installations nucléaires civiles et des installations militaires aux fins des garanties et la conclusion par ce pays d'un protocole additionnel sur mesure ont beaucoup contribué à grossir le budget des garanties. Comme pour les accords de soumission volontaire, cet arrangement est plus symbolique que réel dans la mesure où l'Inde possède déjà des armes nucléaires, mais il est bénéfique pour le pays car il lui permet d'accéder plus largement aux technologies nucléaires pacifiques. L'Inde devrait se préparer à, au moins, compenser les coûts des garanties. De même que des États européens de plus en plus prospères comme la Bulgarie, l'Estonie, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne et la Turquie, la Chine et l'Inde devraient quitter volontairement d'elles-mêmes le système de protection avant 2024.

En principe, un autre moyen d'augmenter le budget des garanties serait de le dissocier de la coopération technique⁸⁵. L'auteur a précédemment proposé un « grand compromis » qui consisterait à incorporer la coopération technique dans le budget ordinaire en échange de l'incorporation de la sécurité nucléaire (une priorité des pays développés). La négociation du budget annuel partirait alors au moins du principe que tous les principaux programmes de l'Agence méritent d'être financés par imputation sur le budget ordinaire. On pourrait aussi envisager de continuer d'explorer la voie des partenariats public-privé. Ces partenariats donnent de bons résultats pour les technologies, s'agissant de financer les laboratoires de l'AIEA et le matériel d'inspection, mais sont moins envisageables et peuvent être trop politiquement sensibles dans le cas des autres activités de garanties. La création d'un fonds d'urgence pour les activités de vérification, tel que proposé, pourrait être financée en partie par des sources

⁸⁴ AIEA, 2019a.

⁸⁵ Findlay 2016.

non gouvernementales. L'AIEA a déjà posé les premiers jalons d'un modèle de financement de ce type avec l'importante contribution de l'Initiative relative à la menace nucléaire à la banque d'uranium faiblement enrichi.

11.12. CONCLUSION

Le cadre des garanties de l'AIEA a connu une véritable révolution depuis l'affaire de l'Iraq au début des années 1990. Le système de garanties renforcé fonctionne bien. L'AIEA est désormais pleinement consciente de la menace que représentent les matières et activités nucléaires non déclarées. Le Département des garanties a adopté une planification stratégique, amélioré sa gestion et sa budgétisation, et transformé son recrutement et ses activités de formation. Il a adopté des technologies modernes, notamment informatiques, là où elles ont des chances d'être efficaces et abordables.

Mais l'AIEA est également consciente des lacunes persistantes des garanties et des difficultés rencontrées actuellement ou susceptibles de l'être à l'avenir pour répondre aux cas de non-respect, aux avancées de la technologie nucléaire et aux menaces externes telles que les cyberattaques et, dernièrement, les pandémies. En s'éternisant, le cas de la République islamique d'Iran menace l'intégrité des garanties car il remet en question des éléments essentiels du système de garanties renforcé, notamment la mise en œuvre des éléments du protocole additionnel et la possibilité de tirer la conclusion élargie. De son côté, le Secrétariat sait bien que des garanties même renforcées peuvent ne pas permettre de détecter des cas de non-respect évolutifs et de plus en plus sophistiqués. Des capacités techniques renforcées, telles que l'échantillonnage sur zone étendue (dont le coût est actuellement prohibitif), et de nouvelles techniques, comme la prospection de données, seront nécessaires, et les États devront continuer de fournir les renseignements appropriés en cas de besoin. Les États Membres doivent apporter leur contribution en œuvrant à l'universalité des accords de garanties et en s'évertuant à mettre en place de solides autorités nationales chargées de l'application des garanties. Ces États et l'ensemble de la communauté internationale doivent fournir un appui – politique, financier et technologique – à la hauteur des défis que le système de garanties de l'AIEA doit relever. Comme on l'a fait observer à maintes reprises, l'AIEA est le lieu où se négocie la sécurité internationale.

RÉFÉRENCES

- Aparo M (2020) 61st Annual Meeting of INMM & ESARDA. *Journal of Nuclear Materials Management* XLVIII, 3/4:21–26.
- Baute J (2021) Information Management for Nuclear Verification: An Update, Concurrent Session VII-A, The State of Information Management for Safeguards, INMM & ESARDA Virtual Annual Meeting 2021.
- Boureston J, Ferguson C D (2005) Strengthening Nuclear Safeguards: Special Committee to the Rescue? *Arms Control Today* 35.
- Carlson J (2018) Future Directions in IAEA Safeguards, Project on Managing the Atom. <https://www.belfercenter.org/publication/future-directions-iaea-safeguards>, page consultée le 30 septembre 2021.
- Findlay T (2016) What Price Nuclear Governance? Funding the International Atomic Energy Agency. <https://www.belfercenter.org/publication/what-price-nuclear-governance-funding-international-atomic-energy-agency>, page consultée le 30 septembre 2021.
- Findlay T (2022) *Transforming Safeguards Culture: The IAEA, Iraq, and the Future of Non-Proliferation*. MIT Press, Cambridge, MA (à paraître).
- Grossi R M (2021) Emerging Roles, Challenges, and Prospects for the Future, in Pilat J (ed) *International Atomic Energy Agency: Historical Reflections, Current Challenges and Future Prospects*. Routledge, London and New York.
- Heinonen O (2013) IAEA Safeguards – Evolving its 40-Year Old Obligations to Meet Today’s Verification Challenges, <https://www.belfercenter.org/publication/iaea-safeguards-evolving-meet-todays-verification-undertakings>, page consultée le 30 septembre 2021.
- Howsley R (2011) *The Safeguards Implementation Report: Time for Transparency?* SAGSI, IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (1966), *Système de garanties de l’Agence (1965)*, INFCIRC/66. https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc66_fr.pdf, page consultée le 30 septembre 2021.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (1975), *Structure et contenu des accords à conclure entre l’Agence et les États dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires*, INFCIRC/153 (corrigé). https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc153_fr.pdf, page consultée le 30 septembre 2021.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (1989), *Statut tel qu’amendé au 28 décembre 2019*. AIEA, Vienne.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (1997), *Modèle de Protocole additionnel à l’accord (aux accords) entre un État (des États) et l’Agence internationale de l’énergie atomique relatif(s) à l’application de garanties*, INFCIRC/540, https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc540_fr.pdf, page consultée le 30 septembre 2021.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (2006), *Révision du texte standard du protocole relatif aux petites quantités de matières*, GOV/INF/276.Mod.1.
- Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA) (2007), *Renforcement de l’efficacité et amélioration de l’efficacité du système des garanties, y compris l’application des protocoles additionnels*, GC(51)/8.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2008) A Harmonized Safety Culture Model, IAEA Working Document (dernière révision : 5 mai 2020). https://www.iaea.org/sites/default/files/20/05/harmonization_05_05_2020-final_002.pdf, page consultée le 30 septembre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2009), Culture de sécurité nucléaire, Guide d'application, n° 7 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) Department of Safeguards Long-Term Strategic Plan (2012–2023) Summary, 2011. www.iaea.org/safeguards/documents/LongTerm_Strategic_Plan_%2820122023%29-Summary.pdf, page consultée le 30 septembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) Department of Safeguards Long-Term R&D Plan, 2012–2023, STR-375. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2014a), Rapport annuel de l'AIEA 2013. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014b) Managing Organizational Change in Nuclear Organizations, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-1.1. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2017), Renforcement de l'efficacité et amélioration de l'efficacité des garanties de l'Agence : Rapport du Directeur général, GC(61)/16.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2019a), Barème des quotes-parts pour les contributions des États Membres au budget ordinaire en 2020, GC(63)/12.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2019b), Programme et budget de l'Agence 2020-2021, GC(63)/2.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Plan of Action to Promote the Conclusion of Safeguards Agreements and Additional Protocols, <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/09/sg-plan-of-action-2019-2020.pdf>, page consultée le 30 septembre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020b), États financiers de l'Agence pour 2019, GC(64)/4.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020c), Rapport annuel de l'AIEA 2019, GC(64)/3.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020d) Development and Implementation Support Programme for Nuclear Verification 2020–2021, STR-393. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020e), Renforcement de l'efficacité et amélioration de l'efficacité des garanties de l'Agence : Rapport du Directeur général, GC(64)/13.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021a) Status List, Conclusion of Safeguards Agreements, Additional Protocols and Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-agreements-comprehensive-status.pdf>, page consultée le 30 septembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021b) Status List, Amendment to Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-sqp-status.pdf>, page consultée le 15 juillet 2021.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021c) Status List, Conclusion of Safeguards Agreements, Additional Protocols and Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-agreements-comprehensive-status.pdf>, page consultée le 10 juin 2021.
- Organisation internationale de normalisation (ISO) (2017) ISO/IEC/17020, Évaluation de la conformité – Exigences pour le fonctionnement de différents types d’organismes procédant à l’inspection. <https://www.iso.org/obp/ui/%23iso:std:iso-iec:17020:ed-2:v1:en:en>, page consultée le 30 septembre 2021.
- Matthews C, Aparo M (2020) Plenary Meeting, 61st Annual Meeting of INMM, 12–16 July 2020. *Journal of Nuclear Materials Manage XLVIII(3/4):21–26.*
- Mayhew N (2020) A Lexical History of the State-Level Concept and Issues for Today, Occasional Paper. Vienna Center for Disarmament and Non-Proliferation, Vienna.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2014), Principes de bonne pratique de l’OCDE en matière de politique réglementaire : Contrôle et mise en œuvre de la réglementation. OCDE, Paris.
- Otto T et al. (2021) Reimaging the Broader Conclusion, Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual Annual Meeting, August 23–26 and August 30–1 September 2021 (à paraître).
- Rockwood L, Mayhew N, Lazarev A, Pfneisl M (2019) IAEA Safeguards: Staying Ahead of the Game. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/dbd8127f5cc44dadba96d4f20f6e530f/201914-iaea-safeguards-staying-ahead-of-the-game>, page consultée le 30 septembre 2021.
- Schein E H (2004) *Organizational Culture and Leadership*, 3rd ed. Jossey-Bass, San Francisco
- Schein E H, Schein P (2017) *Organizational Culture and Leadership*. John Wiley and Sons, Hoboken
- Shea T E, Rockwood L (2015) IAEA Verification of Fissile Material in Support of Nuclear Disarmament.
- Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Cambridge, MA.
- Smartt H et al. (2021) Hey Inspecta! Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual Annual Meeting 2021 (à paraître).
- Stevens R et al. (2021) Lessons Learned From a Year of Online Training and Engagement in Safeguards, Concurrent Session VII-H, Going Virtual with E-Learning, INMM–ESARDA Virtual Annual Conference (à paraître).

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu’ils représentent.

12. LA RESPONSABILITÉ NUCLÉAIRE ET L'APRÈS-FUKUSHIMA

Steven McIntosh

Résumé La communauté internationale a élaboré une série de conventions sur la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, qui vise à assurer la réparation des dommages, y compris transfrontières, causés par un accident nucléaire. Ces conventions peinent à acquérir un caractère universel, et le « régime mondial » préconisé en 2011 est au mieux un ensemble disparate fait de divers traités auxquels n'ont pas adhéré les mêmes États, un grand nombre d'États (y compris des États dotés d'un secteur électronucléaire important et croissant) n'étant du reste parties à aucune convention. Toutefois, les principes énoncés dans les conventions trouvent leur pendant dans la législation nationale de la plupart des États qui exploitent des réacteurs nucléaires de puissance et les installations associées. Le présent chapitre évalue le régime mondial de responsabilité nucléaire et examine une série de recommandations du Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX) qui tendent à permettre à la communauté internationale de s'adapter à l'évolution continue de l'industrie nucléaire.

Mots clés Responsabilité nucléaire • Responsabilité civile en matière de dommages nucléaires • Régime mondial de responsabilité nucléaire • Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX) • Fukushima • Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires (CRC) • Convention de Paris • Convention de Vienne • Protocole commun • Accident nucléaire • Sources radioactives • Centrales nucléaires transportables • Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique • Déclassement • Élimination des déchets • Fusion nucléaire • Petits réacteurs modulaires (PRM) • Navires à propulsion nucléaire

12.1. INTRODUCTION

La question de la responsabilité nucléaire peut sembler un peu obscure, mais elle est essentielle pour l'avenir de l'industrie nucléaire. Si le public n'a pas l'assurance que les victimes innocentes seront indemnisées comme il convient au cas improbable où un accident nucléaire se produirait, l'industrie nucléaire aura toutes les peines du monde à obtenir le permis social dont elle a besoin, que ce soit au niveau national ou à l'échelon international. La communauté internationale a

élaboré une série de conventions dans lesquelles on retrouve les principes communs applicables à la responsabilité objective, à l'entité responsable, au tribunal qui serait saisi d'une demande d'indemnisation, aux montants qui doivent être disponibles aux fins d'indemnisation, et à la protection des victimes se trouvant dans un pays autre que celui où l'entité responsable est située. Ces conventions peinent à acquérir un caractère universel, mais les principes qui y sont énoncés trouvent leur pendant dans la législation nationale de la plupart des États qui exploitent des réacteurs nucléaires de puissance et les installations associées. Le Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX) conseille le Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sur la mise en œuvre des conventions et leur application à un paysage nucléaire en constante évolution.

12.2. GROUPE INTERNATIONAL D'EXPERTS EN RESPONSABILITÉ NUCLÉAIRE

Le Directeur général de l'AIEA a créé l'INLEX en 2003. L'INLEX a trois grandes fonctions :

- a) créer un espace de discussion entre experts pour étudier les questions de responsabilité nucléaire et donner des avis en la matière ;
- b) promouvoir l'adhésion de tous les États à un régime efficace de responsabilité nucléaire ; et
- c) contribuer à l'élaboration et au renforcement d'un cadre juridique national de responsabilité nucléaire dans les États Membres de l'AIEA¹.

Depuis sa création, le Groupe tient des réunions annuelles ordinaires lors desquelles il étudie les questions touchant au régime mondial de responsabilité en matière de dommages nucléaires existant et donne des avis au sujet de ces questions. Dans ce contexte, l'INLEX a mis au point des textes explicatifs concernant les instruments de responsabilité nucléaire adoptés sous les auspices de l'Agence en 1997² et le Protocole commun de 1988 relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris³.

¹ <https://www.iaea.org/about/organizational-structure/offices-reporting-to-the-director-general/office-of-legal-affairs/international-expert-group-on-nuclear-liability-inlex>, page consultée le 13 juillet 2021.

² AIEA 2020.

³ Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris, ouvert à la signature le 21 septembre 1988 et entré en vigueur le 27 avril 1992 (Protocole commun) ; AIEA 2013.

12.3. MESURES FAISANT SUITE À L'ACCIDENT

En septembre 2011, six mois après l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a adopté un Plan d'action sur la sûreté nucléaire, qui a également été approuvé par la Conférence générale de l'AIEA⁴. En ce qui concerne la responsabilité nucléaire, le Plan a invité :

Les États Membres à œuvrer pour la mise en place d'un régime mondial de responsabilité nucléaire répondant aux préoccupations de tous les États qui pourraient être touchés par un accident nucléaire, en vue d'une réparation appropriée des dommages nucléaires. Le Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX) de l'AIEA a recommandé des mesures destinées à faciliter la mise en place d'un tel régime. Les États Membres à examiner dûment la possibilité d'adhérer aux instruments internationaux de responsabilité nucléaire en tant que première étape vers l'instauration de ce régime⁵.

En réponse à la deuxième phrase de cette préconisation, l'INLEX a examiné les mesures prises par le Japon en application de sa législation nationale en matière de responsabilité nucléaire pour indemniser les personnes touchées par l'accident, ce afin de déterminer s'il y avait eu des cas où les victimes n'avaient pas obtenu de réparation adéquate du fait d'une lacune de cette législation. Au moment où l'accident s'est produit, le Japon n'était partie à aucune convention internationale, mais sa législation nationale était d'une manière générale conforme à leurs dispositions ; les éléments de cette législation, les modifications qui lui ont été apportées et son fonctionnement après l'accident ont été exposés de façon détaillée ailleurs⁶, et je ne tenterai pas de les résumer ici.

L'examen susvisé n'a constaté aucune lacune de ce genre. Il est toutefois apparu clairement que l'absence de relations conventionnelles aurait suscité d'importants différends entre États si les dommages s'étaient propagés au-delà du Japon⁷, et que l'importance des dommages causés par l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi avait bien montré l'insuffisance des montants minimaux prévus par les conventions [les conventions des années 1960, les

⁴ <https://www.iaea.org/fr/themes/plan-daction-de-laiea-sur-la-surete-nucleaire>, page consultée le 13 juillet 2021 ; voir AIEA 2011a.

⁵ AIEA 2011b.

⁶ OCDE/AEN 2012.

⁷ Le fait que les dommages aient été limités au Japon n'a pas empêché l'engagement de multiples poursuites judiciaires aux États-Unis d'Amérique ; on y reviendra plus loin.

protocoles modifiés adoptés en 1997 et 2004, et la Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires (CRC)⁸] en cas d'accident nucléaire majeur⁹. En conséquence, l'INLEX a fait un certain nombre de recommandations¹⁰ tendant à élaborer un régime mondial de responsabilité nucléaire et à augmenter les montants des indemnités prévues à l'échelon national.

12.3.1. Renforcer le régime mondial de responsabilité nucléaire

Les recommandations visant à renforcer le régime sont, comme c'est toujours le cas avec la responsabilité nucléaire, le résultat d'un compromis politique :

- 1) Tous les États Membres ayant des installations nucléaires devraient adhérer à un ou plusieurs instruments internationaux relatifs à la responsabilité nucléaire énonçant des principes internationaux communs qui tiennent compte des améliorations conçues sous les auspices de l'AIEA pendant les années 1990. En outre, tous les États Membres ayant des installations nucléaires devraient adopter une législation nationale qui soit conforme aux principes énoncés dans ces instruments et qui incorpore les meilleures pratiques recensées ci-après.
- 2) Tous les États Membres ayant des installations nucléaires devraient établir des relations conventionnelles avec autant d'États que possible pour aboutir à une participation universelle à un régime mondial de responsabilité nucléaire qui établisse des relations conventionnelles entre tous les États. Les experts de l'INLEX notent que la CRC établit des relations conventionnelles entre États parties ou non à la Convention de Paris ou à la Convention de Vienne¹¹, tout en préservant le Protocole commun¹² qui établit des relations conventionnelles entre États parties à la Convention de Paris ou à la Convention de Vienne. En sus de prévoir l'instauration

⁸ Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 15 avril 2015 (CRC).

⁹ Il est à noter que la législation nationale japonaise ne fixe pas de limite de responsabilité et que le Gouvernement japonais avait mis en place un système législatif pour régler dans leur intégralité toutes les demandes d'indemnisation.

¹⁰ AIEA 2012.

¹¹ Convention sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, ouverte à la signature le 29 juillet 1960 et entrée en vigueur le 1^{er} avril 1968 (Convention de Paris) ; Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, ouverte à la signature le 21 mai 1963 et entrée en vigueur le 12 novembre 1977 (Convention de Vienne). Des protocoles additionnels portant modification de chaque convention sont entrés en vigueur depuis l'adoption initiale.

¹² Protocole commun, *supra*, note 3.

de relations conventionnelles, la CRC prescrit l'adoption des améliorations conçues sous les auspices de l'AIEA et prévoit des dispositifs devant déboucher sur une réparation appropriée, notamment un fonds international destiné à compléter le montant disponible de la réparation des dommages nucléaires.

- 3) Les États Membres dépourvus d'installations nucléaires devraient envisager sérieusement d'adhérer à un régime mondial, compte tenu des avantages qu'un tel régime peut offrir aux victimes une fois qu'un grand nombre d'États ayant des installations nucléaires y auront adhéré.

Malheureusement, la communauté internationale n'a guère tenu compte de ces recommandations. Au cours de la décennie qui a suivi 2011, le nombre d'États parties à la Convention de Vienne de 1997¹³ n'est passé que de six à 15 ; parmi ces neuf États parties supplémentaires, seuls les Émirats arabes unis exploitent des réacteurs nucléaires de puissance¹⁴. La CRC¹⁵ s'en est sortie à peine mieux : avant mars 2011, quatre États seulement¹⁶ l'avaient ratifiée ; depuis, sept autres États l'ont fait, dont les États ayant un programme électronucléaire que sont le Canada, les Émirats arabes unis, l'Inde et le Japon. À l'heure actuelle, la CRC s'applique à environ 40 % des réacteurs de puissance en exploitation dans le monde.

Un événement récent prometteur a été l'annonce que les protocoles de 2004 à la Convention de Paris¹⁷ et à la Convention complémentaire à la Convention de Paris (Convention complémentaire de Bruxelles) (CCB)¹⁸ entreront en vigueur le 1^{er} janvier 2022. Pour l'essentiel, cette entrée en vigueur a été retardée du fait d'une prescription de la Commission européenne selon laquelle tous les États membres de l'Union européenne (UE) qui sont parties à la Convention de

¹³ Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires du 21 mai 1963, telle que modifiée par le Protocole d'amendement de la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires du 29 septembre 1997, entré en vigueur le 4 octobre 2003 (Convention de Vienne de 1997).

¹⁴ Il est à noter que, parmi les parties d'avant mars 2011, l'Argentine, le Bélarus et la Roumanie ont des réacteurs de puissance.

¹⁵ CRC, *supra*, note 8.

¹⁶ Dont l'Argentine, les États-Unis d'Amérique et la Roumanie.

¹⁷ Protocole portant modification de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, qui est ouvert à la signature depuis le 12 février 2004 et n'est pas encore en vigueur (Protocole de 2004 à la Convention de Paris).

¹⁸ Protocole portant modification de la Convention complémentaire de Bruxelles à la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire, qui est ouvert à la signature depuis le 12 février 2004 et n'est pas encore en vigueur (Protocole de 2004 à la CCB).

Paris¹⁹ ne pouvaient ratifier les protocoles que simultanément, ce qui a impliqué, en pratique, que leur entrée en vigueur a été l’otage de l’État membre dont le processus législatif a été le plus lent²⁰. Heureusement, il n’y a pas eu entre-temps d’accident nucléaire sur le territoire d’aucune des Parties à la Convention de Paris. Si l’entrée en vigueur des protocoles est assurément opportune, les États parties à cette convention ne représentent que 23 % des réacteurs de puissance en exploitation dans le monde, part qui continuera de baisser du fait de la décision politique d’abandonner progressivement l’électronucléaire dans certains États membres de l’UE et de la multiplication des projets de nouvelles constructions dans les pays en développement.

On peut donc dire qu’il n’existe pas actuellement de régime mondial de responsabilité nucléaire. À la place, nous avons :

- La Convention de Paris de 1960 telle que modifiée par le Protocole additionnel du 28 janvier 1964, par le Protocole du 16 novembre 1982 et par le Protocole du 12 février 2004²¹, qui, à partir du 1^{er} janvier 2022, prévoira des limites minimales de responsabilité nettement plus élevées (et, de ce fait, des montants d’indemnisation supérieurs)²² que toute autre convention. Toutefois, la portée géographique de la Convention de Paris est limitée à une région où l’industrie électronucléaire recule²³.
- La Convention de Vienne de 1963²⁴, qui s’applique à un certain nombre d’États exploitant des réacteurs nucléaires de puissance en Europe orientale et ailleurs, mais au sujet de laquelle il a été implicitement constaté dans les années 1990 qu’elle offrait une protection inadéquate aux victimes.
- La Convention de Vienne de 1997²⁵, qui compte un petit nombre d’États parties (et dont un très petit nombre exploitent des réacteurs nucléaires de puissance).
- Le Protocole commun²⁶, qui crée des relations conventionnelles entre la plupart des États parties à la Convention de Paris et un certain nombre d’États

¹⁹ Convention de Paris, *supra*, note 11.

²⁰ Qui s’est avéré être l’Italie.

²¹ Protocole de 2004 à la CCB, *supra*, note 18.

²² En particulier lorsqu’elle sera renforcée par le Protocole de 2004 à la CCB, *supra*, note 18.

²³ Il est à noter que la Turquie fait exception à cette constatation générale, puisqu’elle est à la fois partie à la Convention de Paris et un État ayant un programme actif de nouvelles constructions ; toutefois, au moment où le présent document a été établi, ce pays n’avait pas encore ratifié le Protocole de 2004 à la Convention de Paris.

²⁴ Convention de Vienne, *supra*, note 11.

²⁵ Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13.

²⁶ Protocole commun, *supra*, note 3.

parties à la Convention de Vienne de 1963 et à la Convention de Vienne de 1997. Toutefois, l'écart au niveau des limites minimales de responsabilité entre les Parties à la Convention de Paris²⁷ et les Parties à la Convention de Vienne de 1963 a suscité des inquiétudes parmi les Parties à la Convention de Paris ; lorsqu'elle a approuvé le Protocole commun en 2014, la France a formulé une réserve, en imposant de fait une condition de réciprocité aux Parties à la Convention de Vienne²⁸.

- La CRC²⁹, à laquelle un petit nombre d'États seulement sont parties (c'est toutefois le cas de certains États nucléaires importants), aucun d'entre eux n'étant partie à la Convention de Paris.

En somme, le « régime mondial » préconisé en 2011 est au mieux un ensemble disparate fait de divers traités auxquels n'ont pas adhéré les mêmes États, un grand nombre d'États (y compris des États dotés d'un secteur électronucléaire important et croissant) n'étant du reste parties à aucune convention. Si les conséquences de la plupart des accidents nucléaires se limitent au territoire de l'État où ils se produisent³⁰ et si la plupart des États ayant un programme électronucléaire se sont dotés d'une législation nationale qui incarne les principes énoncés dans les conventions, les cinq procès liés à Fukushima intentés devant des juridictions fédérales américaines en Californie, dans le district de Columbia et dans le Massachusetts à la suite de l'accident de Fukushima Daiichi montrent bien le risque que fait courir l'absence de relations conventionnelles³¹.

Les demandeurs penchent pour les juridictions des États-Unis, étant donné en particulier que les limites de responsabilité nucléaire sont inférieures dans beaucoup d'autres pays, les jurys américains se montrent plus généreux, des dommages-intérêts punitifs peuvent éventuellement être accordés, les dispositions en matière de communication de pièces sont généreuses, les

²⁷ En particulier telle que modifiée par le Protocole de 2004 à la Convention de Paris, *supra*, note 17.

²⁸ « La France émet une réserve concernant l'alinéa 2 de l'article IV, en précisant que, s'agissant des États qui limitent le montant de la responsabilité de l'exploitant et qui sont parties à la Convention de Vienne et au Protocole commun, la France se réserve le droit de prévoir que, au cas où un accident nucléaire se produirait sur son territoire, l'exploitant concerné est responsable des dommages nucléaires causés sur le territoire de l'un ou de plusieurs de ces États à concurrence du montant prévu par la loi nationale de ces États au moment de l'accident au titre de la réparation des dommages nucléaires causés sur le territoire français ».

²⁹ CRC, *supra*, note 8.

³⁰ L'accident de Tchernobyl apparaît à maints égards comme un cas aberrant.

³¹ Pour l'analyse qui va suivre, je remercie Omer Brown de m'avoir permis d'utiliser l'exposé non publié qu'il a présenté en juin 2021 au Comité de droit nucléaire de l'AEN de l'OCDE.

honoraires peuvent être proportionnels aux résultats et le montant des dommages-intérêts peut être considérable. En outre, les entités non gouvernementales constituent généralement des cibles faciles pour les avocats des demandeurs car, par exemple, elles sont plus susceptibles d'être jugées par un tribunal avec jury, disposent de moins de moyens de défense contre l'exécution des jugements et ne peuvent invoquer aucune immunité souveraine. Étant donné l'absence de relations conventionnelles en matière de responsabilité nucléaire entre les États-Unis d'Amérique et le Japon au moment de l'accident, les tribunaux américains n'étaient pas tenus de se dessaisir en faveur des tribunaux japonais et n'étaient pas liés par les règles relatives à la concentration de la responsabilité sur le seul exploitant. En conséquence, les défendeurs jugés dans les affaires intentées aux États-Unis étaient non seulement l'exploitant de la centrale de Fukushima Daiichi, à savoir la Compagnie d'électricité de Tokyo (TEPCO), mais aussi un certain nombre de fournisseurs. Les demandeurs étaient non seulement des citoyens américains, mais aussi des citoyens japonais n'ayant aucun lien avec les États-Unis d'Amérique.

Même si la législation japonaise relative à la responsabilité nucléaire concentre la responsabilité en matière de dommages nucléaires sur les seuls exploitants d'installations nucléaires et prévoit une responsabilité illimitée (le Gouvernement japonais ayant engagé en février 2021 plus de 76 milliards de dollars des États-Unis pour régler les demandes d'indemnisation liées à Fukushima), les deux dernières des cinq affaires jugées aux États-Unis n'ont été classées que le 20 mai 2021, après avoir été examinées par trois tribunaux de district, deux cours d'appel et la Cour suprême des États-Unis. Il ne fait apparemment guère de doute que les décisions de classement des différentes affaires s'expliquent principalement par le fait que la législation japonaise ne fixe pas de limite de responsabilité, ce qui a finalement permis aux défendeurs de faire valoir que les tribunaux japonais étaient le lieu le plus commode pour faire examiner des demandes d'indemnisation.

12.3.2. Augmenter le montant de la réparation

En faisant des recommandations tendant à augmenter le montant disponible de la réparation au niveau national, l'INLEX a tenu implicitement compte du fait qu'il était impossible de modifier les conventions pour relever les limites minimales de responsabilité qu'elles fixent ou de mettre en œuvre les mécanismes complexes qu'elles prévoient pour relever ces limites³². Ces recommandations sont les suivantes :

³² Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13, article V D ; CRC, *supra*, note 8, article XXV.

Tous les États Membres de l'AIEA ayant des installations nucléaires devraient veiller à ce que des fonds suffisants soient disponibles pour indemniser sans discrimination toutes les victimes d'un accident nucléaire. En conséquence, ces États Membres devraient en particulier :

- a) constituer des fonds d'indemnisation et de garantie financière qui soient dotés de réserves sensiblement plus importantes que les minima prévus par les instruments existants ;
- b) revoir régulièrement les réserves au titre de la réparation afin de vérifier qu'elles sont suffisantes de manière à maintenir leur valeur en état et à s'assurer qu'il est tenu compte de l'évolution de l'idée qu'ils se font de l'impact éventuel des accidents touchant les installations exploitées sur leur territoire, en notant l'existence d'une tendance à prévoir une responsabilité de l'exploitant illimitée ;
- c) revoir régulièrement les réserves au titre de la garantie financière de manière que ces réserves reflètent la capacité disponible des marchés d'assurance ainsi que des autres sources de garantie financière ;
- d) se tenir prêts à mettre en place des mécanismes de financement appropriés dans l'éventualité où le montant des dommages à réparer dépasserait le montant des fonds d'indemnisation et de garantie financière disponible ;
- e) prévoir une réparation pour effets latents, en notant que les Conventions de Vienne et de Paris révisées fixaient un délai de 30 ans pour le dépôt des demandes d'indemnisation des dommages aux personnes ; et
- f) veiller à ce qu'une réparation puisse être accordée dans le cas d'un accident résultant directement d'un cataclysme naturel de caractère exceptionnel.

Il serait utile de recueillir des données auprès des États Membres de l'AIEA (et non pas seulement de ceux qui sont parties aux conventions) afin d'évaluer la mesure dans laquelle il a été donné suite à ces recommandations³³. L'auteur est conscient que :

- a) dans le cadre de l'ensemble de textes législatifs adopté aux fins de la ratification de la CRC, le Canada a porté à 1 milliard de dollars canadiens³⁴ la limite nationale relative à la responsabilité nucléaire³⁵. En 2021, le

³³ Il est à noter que, dans le cas du Japon, plusieurs de ces recommandations ont été suivies d'effet avant ou immédiatement après l'accident.

³⁴ Soit environ 560 millions de droits de tirage spéciaux (au 7 septembre 2021).

³⁵ CRC, *supra*, note 8.

Gouvernement canadien a réexaminé la limite de 1 milliard de dollars canadiens, en application d'une disposition de la loi nationale selon laquelle le ministre responsable doit réexaminer la limite de responsabilité au moins une fois tous les cinq ans³⁶ ;

- b) les États-Unis d'Amérique ont continué, conformément au régime législatif connu sous le nom de loi Price-Anderson, d'indexer le montant à verser par chaque exploitant d'une installation nucléaire aux États-Unis d'Amérique³⁷ en cas de cataclysme nucléaire, augmentant ainsi le montant total de la cagnotte qui serait utilisé pour indemniser les victimes. Le montant pour lequel chaque exploitant doit être assuré a également été augmenté. Du fait de ces deux mesures, le montant total disponible pour verser des indemnisations en cas de cataclysme nucléaire³⁸ est à présent de 13 522 836 000 dollars des États-Unis³⁹ ;
- c) les montants disponibles sur le marché mondial de l'assurance des risques nucléaires ont continué d'augmenter au fil des ans et ils dépassent actuellement les montants prévus par les conventions.

12.3.3. Autres recommandations

Selon les autres recommandations faites par l'INLEX, tous les États Membres devraient :

- a) veiller à ce que toutes les demandes d'indemnisation pour dommages causés par un accident nucléaire soient traitées dans le cadre d'une instance unique, de manière rapide, équitable et non discriminatoire, avec un minimum d'actions en justice, qui pourrait prévoir un système de traitement des demandes (pouvant être mis en place en coopération étroite avec les assureurs ou autres garants financiers) afin de traiter toutes les demandes de manière équitable et rapide ;
- b) au moment de rédiger ou de réviser une législation nationale relative à la responsabilité nucléaire, s'inspirer, selon que de besoin, de la législation type élaborée par l'AIEA.

³⁶ Au moment de l'établissement du présent document, le réexamen était en cours.

³⁷ Il est à noter que lorsqu'une installation est mise à l'arrêt définitif, l'ancien exploitant n'est plus tenu de verser une prime comptabilisée d'avance à la suite d'un accident nucléaire, ce qui diminue le montant total disponible pour des indemnisations.

³⁸ Compte non tenu des sommes à verser par les États parties en application de la CRC et de l'éventualité prévue par la loi Price-Anderson selon laquelle le Congrès pourrait voter des sommes supplémentaires à fournir par le Gouvernement.

³⁹ Soit environ 9,5 milliards de droits de tirage spéciaux (au 9 septembre 2021).

L'expérience accumulée par le Japon en matière d'utilisation d'un système de traitement des demandes d'indemnisation pour traiter la grande majorité des demandes a encouragé un certain nombre d'autres États à prévoir de mettre rapidement en place un système similaire pour faire face aux conséquences d'un accident nucléaire majeur.

12.4. AUTRES QUESTIONS EXAMINÉES PAR L'INLEX DEPUIS 2012, COMPTE TENU ESSENTIELLEMENT DES PROGRÈS RÉCENTS ET DES INNOVATIONS DANS L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE MONDIALE

Loin d'être statique, l'industrie nucléaire mondiale est un secteur en évolution constante. En particulier, l'évolution récente de la situation générale en matière de production d'énergie provoquée par les préoccupations liées au changement climatique a amené ce secteur à se demander si le modèle utilisé de longue date du très grand réacteur refroidi par eau et construit sur place est le seul modèle viable pour la production d'énergie nucléaire, ou si des modèles de réacteurs avancés et transportables ou de réacteurs plus petits ne pourraient pas être plus flexibles⁴⁰ et si leur coût de construction pourrait ne pas être plus prévisible. De même que les normes internationales et nationales de sûreté doivent être actualisées en fonction de ces évolutions, il importe également de se demander si le régime de responsabilité nucléaire en vigueur permet de tenir dûment compte des nouveaux risques éventuels ou de toute modification de l'évaluation par des experts de la gravité des risques existants. L'INLEX devrait également prendre en considération les risques radiologiques, qui sortent du champ d'application des conventions en vigueur.

Lorsqu'il examinera ces questions, l'INLEX ne devra pas perdre de vue que les principes de la responsabilité nucléaire sont énoncés dans des instruments internationaux, qu'il est très difficile de modifier. À l'inverse, dans le contexte de la sûreté, les instruments sont rédigés en termes généraux et les règles de sûreté détaillées donnent lieu à l'établissement de normes de sûreté non contraignantes qui font l'objet d'un suivi et d'une actualisation réguliers. Aussi l'INLEX a-t-il élaboré une pratique consistant à faire aux États des recommandations qui vont parfois au-delà de ce que prévoient les conventions. Il fait ces recommandations en considérant que les principes de la responsabilité nucléaire offrent généralement aux victimes une meilleure protection et une plus grande certitude que le droit de la responsabilité civile délictuelle habituel.

⁴⁰ Sous l'angle à la fois de leur lieu d'implantation et de leur capacité de fonctionner parallèlement à des sources intermittentes d'énergies renouvelables.

12.4.1. L'établissement de limites maximales pour l'exclusion de petites quantités de matières nucléaires du champ d'application des conventions de Vienne sur la responsabilité nucléaire

En 2013, l'INLEX a décidé qu'une révision récente du Règlement de transport de l'AIEA, notamment en ce qui concernait les matières fissiles, nécessitait une modification mineure à apporter à la décision adoptée en 2007 par le Conseil des gouverneurs au sujet de l'exclusion de petites quantités de matières nucléaires du champ d'application des conventions de Vienne sur la responsabilité nucléaire⁴¹. Un projet de décision portant modification de la décision antérieure du Conseil a été approuvé par l'INLEX en 2014 et, après avoir été approuvé par les comités des normes de sûreté compétents, a été adopté par le Conseil des gouverneurs en novembre 2014⁴².

12.4.2. Sources radioactives

Les sources radioactives – scellées ou non – sont exclues du champ d'application de toutes les conventions relatives à la responsabilité nucléaire (voir, par exemple, l'article premier g) de la Convention de Vienne de 1997⁴³), car elles sont généralement placées sous le contrôle de personnes qui ne sont pas des exploitants d'installations nucléaires⁴⁴. Implicitement, c'est le droit général de la responsabilité délictuelle, y compris le droit de l'environnement éventuellement applicable, qui s'applique aux matières parvenues à ce stade de fabrication. Pour citer l'AIEA :

Les sources radioactives sont très largement utilisées à travers le monde à des fins bénéfiques très diverses, en particulier en médecine, dans le secteur industriel en général, dans la recherche agricole et dans l'éducation. On est conscient depuis des années de la nécessité de garantir la sûreté et la sécurité de ces sources, et de nombreux États Membres ont mis en

⁴¹ Il s'agissait de remplacer les mots « paragraphe 672 de l'édition de 2005 du Règlement de transport de l'Agence » par les mots « paragraphes 417, 674 et 675 de l'édition de 2012 du Règlement de transport de l'Agence ».

⁴² AIEA 2014.

⁴³ « "Produit ou déchet radioactif" signifie toute matière radioactive obtenue au cours du processus de production ou d'utilisation d'un combustible nucléaire, ou toute matière rendue radioactive par exposition aux rayonnements émis du fait de ce processus, à l'exclusion des radio-isotopes parvenus au dernier stade de fabrication et susceptibles d'être utilisés à des fins scientifiques, médicales, agricoles, commerciales ou industrielles » (italiques ajoutés), Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13.

place des infrastructures réglementaires à cette fin. Il n'empêche qu'un certain nombre d'accidents graves qui se sont produits dans les années 1980 et 1990 ont conduit la communauté internationale à mettre en doute l'efficacité de ces mesures de contrôle. ... [Il était] de plus en plus clair que le contrôle insuffisant des sources radioactives avait provoqué des accidents radiologiques sérieux, dont certains avaient causé de graves lésions, voire des décès, et/ou de graves perturbations économiques. Ces accidents avaient leur origine dans une défaillance du contrôle réglementaire approprié ou dans l'absence d'un tel contrôle, et non dans une intention malveillante. À partir de 2001, l'inquiétude suscitée par l'utilisation possible de sources radioactives à des fins malveillantes a conduit la communauté internationale à élargir le débat et à se pencher également sur la nécessité de renforcer les mesures de contrôle de la sécurité des sources radioactives⁴⁵.

Tenant compte de ces risques, l'AIEA a, au début des années 2000, adopté un Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives⁴⁶. Ce code donne aux États des conseils exhaustifs sur les structures réglementaires qu'ils devraient mettre en place pour garantir la sûreté et la sécurité des sources scellées placées sous leur juridiction, qu'elles soient en cours d'utilisation ou d'entreposage. Toutefois, il ne contient aucune disposition relative à la responsabilité civile. En 2013, une grande conférence internationale a avancé l'idée que l'INLEX pourrait se pencher sur la question⁴⁷.

Lorsque l'INLEX a examiné la question, on a considéré généralement que la portée éventuelle des dommages – en particulier transfrontières – n'était pas importante au point d'exiger un régime international spécial. Toutefois, le Groupe a recommandé aux États d'exiger, avant d'autoriser une activité faisant intervenir une source radioactive de haute activité, que le titulaire de licence souscrive une assurance dont le montant spécifié⁴⁸ couvre sa responsabilité civile potentielle. Certains États le prescrivent déjà, et les assureurs ont fait savoir qu'il était facile de souscrire une assurance de ce type⁴⁹. En conséquence, le Groupe a invité le Secrétariat de l'AIEA, agissant dans le cadre de ses activités d'assistance législative, à sensibiliser les États Membres à l'importance d'une assurance couvrant les sources radioactives.

⁴⁵ AIEA 2015, p. 707 et 708.

⁴⁶ AIEA 2004.

⁴⁷ AIEA 2015, p. 720.

⁴⁸ Ce montant peut être spécifié dans le règlement ou dans la licence associée à une source donnée.

⁴⁹ S'agissant d'installations telles que les hôpitaux, leurs polices d'assurance générale couvrent le plus souvent les risques relativement mineurs liés aux sources radioactives en leur possession.

L'INLEX a noté que les installations où des matières en vrac irradiées dans un réacteur sont transformées de manière à leur donner leur forme définitive ainsi que le transport de ces matières en vrac sont exclus du champ de l'exception. Par exemple, les barres de cobalt 60 sont généralement transportées en vrac entre une installation nucléaire et un fabricant de sources radioactives. Un autre exemple est le cas du molybdène 99, utilisé en médecine nucléaire, qui est produit dans des réacteurs puis souvent acheminé en vrac vers un autre site où il est administré dans des « générateurs » utilisés par les hôpitaux et les cliniques médicales. Dans ces circonstances, l'exclusion ne s'appliquerait pas car les matières transportées ne seraient pas considérées comme des radio-isotopes « parvenus au dernier stade de fabrication ». Les installations où les matières sont transformées pour prendre leur forme définitive sont des « installations nucléaires » au sens des conventions⁵⁰.

12.4.3. Centrales nucléaires transportables

L'INLEX s'est penché pendant de longues années sur la question de savoir si les conventions s'appliquaient aux centrales nucléaires transportables. Cette question tourne autour de la définition de l'« installation nucléaire » énoncée dans la Convention, en particulier de l'exclusion d'un réacteur nucléaire « utilisé par un moyen de transport maritime ou aérien comme source d'énergie, que ce soit pour la propulsion ou à toute autre fin⁵¹ ». Il y a eu accord général pour estimer que, bien que le régime de responsabilité nucléaire ne s'applique pas aux réacteurs dont un moyen de transport maritime ou aérien (ou, dans le cas de la Convention de Paris⁵², tout moyen de transport) est équipé à ses propres fins opérationnelles, les centrales nucléaires transportables ne devant être utilisées qu'aux fins de la production externe d'énergie nucléaire seraient couvertes par le régime une fois qu'il aurait été mis en place. L'INLEX a considéré que l'expression « comme source d'énergie » impliquait nécessairement que l'énergie était utilisée pour

⁵⁰ « L'État où se trouve l'installation peut considérer comme une seule installation nucléaire plusieurs installations nucléaires se trouvant sur le même site », Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13, article I.1 j) ; CRC, *supra*, note 8, annexe, article I.1 b) ; dans la Convention de Paris, la définition est libellée de façon différente, mais le sens est en dernière analyse identique.

⁵¹ Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13, article I.1 j) i) ; CRC, *supra*, note 8, annexe, article I.1 b) i) ; dans la Convention de Paris, la définition est libellée de façon différente, mais le sens est en dernière analyse identique.

⁵² Convention de Paris, *supra*, note 11.

faire fonctionner le moyen de transport maritime ou aérien⁵³. Cette conclusion est conforme à l'intention clairement exprimée lors de la rédaction initiale de la Convention de Vienne⁵⁴ d'inclure dans la définition de l'« installation nucléaire » les « centrales mobiles de faible et moyenne puissance » transportées par camion ou par train (tout en excluant les réacteurs servant à propulser des moyens de transport maritime ou aérien ou utilisés dans l'espace), alors que l'emplacement et le fonctionnement des réacteurs mobiles étaient fixes⁵⁵.

Une fois qu'il a été déterminé que les centrales nucléaires transportables relèvent, en principe, de la définition de l'« installation nucléaire », il faut se demander quel État serait l'État où se trouve l'installation aux fins des conventions. Toutes les propositions actuelles pour les centrales de ce type prévoient que les réacteurs ne seraient exploitables que dans une position fixe, très probablement sur le territoire⁵⁶ d'un État (qui serait l'État où se trouve l'installation). Dans le cas peu probable où une telle centrale serait exploitée en dehors du territoire ou de la mer territoriale d'un État, depuis des îles, installations ou autres structures artificielles se trouvant dans la zone économique exclusive ou sur le plateau continental, les règles juridictionnelles du droit de la mer applicables à la zone économique exclusive et au plateau continental pourraient, en principe, être utilisées pour identifier l'État où se trouve l'installation. Des incertitudes surviennent si cet État n'est pas partie aux conventions internationales, mais ces incertitudes ne sont en principe pas différentes de celles qui apparaissent dans le cas des réacteurs terrestres se trouvant dans l'État en question.

Ainsi, s'il est facile de déterminer l'État où se trouve l'installation dans le cas des centrales transportables en exploitation, la mobilité de ces centrales impose également de prendre en considération la responsabilité d'un accident nucléaire pendant le transport du réacteur. Pendant son transport entre le site de fabrication et le site de déploiement, la centrale nucléaire transportable pourrait contenir ou ne pas contenir du combustible neuf. Dans le premier cas, on considérerait qu'il s'agit, à des fins de responsabilité, d'un transport de matières nucléaires. Dans le deuxième cas, les conventions sur la responsabilité ne s'appliqueraient pas. Pendant le transport de retour entre le site de déploiement et le site de fabrication, la centrale transportable pourrait contenir du combustible utilisé ou ce combustible pourrait avoir été déchargé (toutefois, la centrale serait encore, inévitablement, radioactive, du fait de l'activation des matériaux de structure). Dans l'un ou

⁵³ Cette conclusion ne peut pas s'appliquer à un réacteur de propulsion navale. Pendant le déplacement d'un navire ainsi propulsé, le réacteur ne relèverait pas de la définition de l'« installation nucléaire » donnée dans toutes les conventions.

⁵⁴ Convention de Vienne, *supra*, note 11.

⁵⁵ AIEA 1964.

⁵⁶ Le « territoire » comprend la mer territoriale.

l'autre cas, il s'agirait à nouveau, à des fins de responsabilité, d'un transport de matières nucléaires.

Toutefois, si l'État d'accueil n'est pas partie à la même convention que l'État d'origine ou n'est partie à aucune convention, il peut ne pas y avoir d'« État destinataire » tel que prévu par les conventions. Si l'on interprète littéralement les conventions, l'« exploitant expéditeur » pourrait demeurer l'exploitant responsable pendant toute la durée du déploiement ; selon cette interprétation, l'État d'origine demeurerait l'État où se trouve l'installation. En particulier, lorsque l'exploitant expéditeur se trouve dans une partie contractante à la Convention de Vienne, par exemple, et que le réacteur est envoyé à une personne se trouvant dans un État non contractant, l'article II.1 b) iv) de la Convention de Vienne⁵⁷ dispose que l'exploitant expéditeur est responsable des dommages causés par un accident nucléaire se produisant avant que les matières nucléaires n'« ai[en]t été déchargée[s] du moyen de transport par lequel elle[s] [sont] parvenue[s] sur le territoire de cet État non contractant ». On retrouve des dispositions analogues dans toutes les conventions. Ce libellé a été considéré comme mal adapté au cas d'une centrale nucléaire transportable car il impliquerait qu'en l'absence de déchargement de matières nucléaires du moyen de transport par lequel cette centrale est parvenue sur le territoire de l'État de destination, l'exploitant expéditeur resterait responsable indéfiniment, même si la centrale était par la suite exploitée par un autre exploitant, et réglementée par un organisme de réglementation, dans l'État de destination. À la suite d'une vaste discussion, le Groupe a considéré que la Convention de Vienne et la CRC⁵⁸ devraient être interprétées de telle sorte que, dans le cas particulier du transport d'une centrale nucléaire flottante sans déchargement de combustible du navire avant la mise en exploitation de la centrale, l'exploitant expéditeur cesserait d'être responsable dès lors que la centrale est prise en charge par la personne autorisée dans l'État de destination. L'exploitant expéditeur redeviendrait responsable lorsque, à une date ultérieure, il se chargerait du rapatriement de la centrale dans l'État d'origine. Cela semble complexe, mais, en réalité, le déploiement et l'exploitation d'une centrale nucléaire transportable dans un État autre que l'État d'origine feront inévitablement l'objet d'un accord intergouvernemental entre les deux États concernés. Cet accord déterminerait notamment la responsabilité réglementaire de l'installation et, en l'absence d'une convention relative à la responsabilité à laquelle les deux États seraient parties, les règles de responsabilité qui s'appliqueraient⁵⁹.

⁵⁷ Convention de Vienne, *supra*, note 11, et Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13.

⁵⁸ CRC, *supra*, note 8.

⁵⁹ Toutefois, un tel accord ne pourrait déroger aux droits reconnus à d'autres États par une convention relative à la responsabilité applicable.

12.4.4. Les interactions éventuelles entre les conventions sur la responsabilité et la Convention sur l'assistance

En 2014, l'INLEX a examiné la question des éventuelles interactions entre les conventions sur la responsabilité et la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique (Convention sur l'assistance)⁶⁰, en particulier son article 10. En vertu de l'article 10, pour tout décès ou blessure de personnes physiques, dommage à des biens ou perte de biens ou dommage à l'environnement causé sur son territoire ou dans une autre zone placée sous sa juridiction ou sous son contrôle à l'occasion de la fourniture de l'assistance requise, un État partie qui requiert une assistance : a) n'engage aucune poursuite judiciaire contre la partie qui fournit l'assistance ou contre des personnes physiques ou morales agissant pour son compte ; b) assume la charge des poursuites et actions judiciaires engagées par des tiers contre la partie qui fournit l'assistance ou contre des personnes physiques ou morales agissant pour son compte ; c) décharge la partie qui fournit l'assistance ou les personnes physiques ou morales agissant pour son compte en ce qui concerne les poursuites et actions judiciaires mentionnées à l'alinéa b) ; et d) verse une réparation à la partie qui fournit l'assistance ou aux personnes physiques ou morales agissant pour son compte pour les dommages subis à l'occasion de la fourniture de l'assistance.

L'INLEX a fait observer que l'article 10 de la Convention sur l'assistance⁶¹ ne pouvait s'appliquer que si la Convention s'appliquait, et qu'il devrait être clairement précisé dans chaque cas si elle a été invoquée. Le Groupe a également constaté qu'un nombre important d'États parties à la Convention sur l'assistance avaient émis des réserves à l'égard de l'article 10 et que l'existence de ces réserves pourrait avoir une incidence sur la volonté des autres États parties de fournir une assistance. Le Groupe a fait observer que s'il existait des relations conventionnelles au titre de l'une des conventions sur la responsabilité internationale, l'article 10 ne présenterait que peu d'intérêt pratique en ce qui concerne les accidents entrant dans le champ d'application de la convention sur la responsabilité applicable, étant donné que la concentration de la responsabilité sur l'exploitant exonérerait de fait et dans tous les cas de toute responsabilité la partie qui fournit l'assistance ou les personnes physiques ou morales agissant pour son compte. Toutefois, le champ d'application de la Convention sur l'assistance est beaucoup plus large que celui des conventions sur

⁶⁰ Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 26 février 1987 (Convention sur l'assistance).

⁶¹ Convention sur l'assistance, *supra*, note 60.

la responsabilité puisqu'il s'étend à tous les incidents radiologiques, notamment ceux qui impliquent des sources radioactives, et l'article 10 s'applique aussi aux dommages autres que nucléaires. Cet article peut également être utile lorsque des demandes d'indemnisation sont faites dans un État autre que l'État qui requiert une assistance dans les cas où il n'existe pas entre ces deux États de relations conventionnelles au titre de l'une des conventions sur la responsabilité nucléaire.

12.4.5. Installations en cours de déclassement

En principe, il n'est pas difficile de déterminer si les conventions s'appliquent aux réacteurs ou autres installations nucléaires en cours de déclassement. Si ces réacteurs et installations peuvent ne plus « contenir du combustible nucléaire disposé de telle sorte qu'une réaction en chaîne auto-entretenu de fission nucléaire puisse s'y produire sans l'apport d'une source de neutrons », il existe néanmoins des installations « où des matières nucléaires (déchets radioactifs) sont stockées ». Ce n'est que lorsque le contrôle réglementaire qui s'applique à un site en tant qu'installation nucléaire a été entièrement levé que ce site sort du champ d'application des conventions.

Le problème est que, quand un réacteur, par exemple, est en exploitation, il fait l'objet de limites de responsabilité et, en particulier, de primes d'assurance très élevées. À quel stade du processus de déclassement le risque lié à ce réacteur est à ce point réduit que celui-ci n'a plus besoin d'être assuré pour le même montant, voire n'a plus besoin d'être assuré du tout ? Ce problème se pose avec une acuité particulière dans le cadre de la Convention de Paris de 2004, étant donné que le montant minimal de responsabilité et d'assurance pour les installations présentant un faible niveau de risque est de 70 millions d'euros⁶². Si le gouvernement souhaite réduire encore la charge de l'« exploitant » d'une installation parvenue aux derniers stades du déclassement, le seul moyen consiste à exclure purement et simplement cette installation du champ d'application de la Convention, conformément à l'alinéa b) de son article premier⁶³. Le Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE a défini des critères d'exclusion de certaines installations en application de cette disposition. Des considérations analogues s'appliquent aux installations utilisées pour le stockage définitif de certains types de déchets radioactifs de faible activité.

En 2017, l'INLEX a examiné la question de savoir s'il était nécessaire que le Conseil des gouverneurs prenne des mesures similaires⁶⁴. Toutefois, il a

⁶² Protocole de 2004 à la Convention de Paris, *supra*, note 17, articles 7 b) et 10 a).

⁶³ Convention de Paris, *supra*, note 11.

⁶⁴ Convention de Vienne, *supra*, note 11, et Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13, article I.2 ; CRC, *supra*, note 8, annexe, article I.2.

été noté que tant la Convention de Vienne de 1997 (paragraphe 2 de l'article V) que la CRC (paragraphe 2 de l'article 4 de la Convention sur la réparation complémentaire, annexe) autorisent l'État où se trouve l'installation à fixer un montant inférieur (5 millions de droits de tirage spéciaux) pour la responsabilité de l'exploitant compte tenu de la nature de l'installation nucléaire ou des substances nucléaires en jeu et des conséquences qu'aurait probablement un accident qui serait causé par des installations de ce type. Sur cette base, et notant également l'opinion selon laquelle l'exclusion de certaines installations du champ d'application de la Convention de Vienne et de la CRC pourrait dissuader des entreprises d'envisager de prendre part aux activités de déclassement, l'INLEX a conclu qu'il était inutile d'exclure des installations en cours de déclassement ou des installations de stockage définitif de déchets radioactifs de faible activité du champ d'application de la Convention de Vienne de 1997 et de la CRC.

12.4.6. Installations de stockage définitif des déchets radioactifs

Entre 2016 et 2018, l'INLEX a examiné la question de l'application des conventions aux installations de stockage définitif de déchets radioactifs. Les conventions adoptées sous les auspices de l'AIEA ne couvrent expressément que les installations d'« entreposage » de matières nucléaires, y compris des déchets radioactifs⁶⁵. Le Groupe a divisé la durée de vie d'une telle installation en trois périodes distinctes :

- a) la période durant laquelle l'installation est activement utilisée, les déchets étant mis en place par un exploitant titulaire d'une licence ;
- b) la période immédiatement postérieure à la fermeture de l'installation⁶⁶, durant laquelle les contrôles institutionnels restent en vigueur et l'installation reste sous contrôle réglementaire avec un exploitant titulaire d'une licence ;
- c) la période postérieure à la fin du contrôle institutionnel⁶⁷, durant laquelle l'autorisation d'exploitation est restituée ou perd par ailleurs sa validité.

L'INLEX a fait observer qu'il serait souhaitable que ces installations continuent de relever du champ d'application des conventions autant qu'il est

⁶⁵ Le Protocole de 2004 à la Convention de Paris, *supra*, note 17, inclut expressément les « installations de stockage définitif de substances nucléaires » dans la définition de l'« installation nucléaire ».

⁶⁶ La durée de cette période pourrait aller jusqu'à 300 ans.

⁶⁷ Les risques en jeu durant cette période seraient probablement très limités et ne provoqueraient sans doute pas de dommages transfrontières, mais les conventions visent également à harmoniser le droit interne au sujet des questions de responsabilité.

possible ; à défaut, une autre législation ou le droit général de la responsabilité délictuelle serait applicable en cas d'accident dans une installation de ce type. Cela soulèverait en particulier des inquiétudes lorsque les déchets radioactifs restent la propriété de leur producteur.

En ce qui concerne les périodes a) et b), l'INLEX a conclu que durant la période où les contrôles institutionnels restent en vigueur (dont la durée varie d'un pays à l'autre et selon les catégories de déchets), il y a encore un exploitant et les déchets peuvent être considérés comme entreposés. De ce fait, les conventions sur la responsabilité nucléaire continueraient de s'appliquer pendant la période de contrôle institutionnel.

Après la fin des contrôles institutionnels sur le site [période c)], le Groupe a noté que, en l'absence d'un exploitant, les conventions sur la responsabilité nucléaire ne pouvaient être appliquées et la responsabilité en cas d'accident nucléaire incomberait implicitement à l'État ayant accepté la fin du contrôle institutionnel. En pareil cas, l'État verserait une réparation pour tous dommages nucléaires causés par l'accident nucléaire, assumant implicitement la responsabilité nucléaire.

12.5. PRINCIPAUX SUJETS DISCUTÉS À PRÉSENT ET À L'AVENIR

Comme on le verra, l'INLEX suit avec intérêt la vague actuelle d'innovations dans l'industrie nucléaire et en étudie les conséquences en matière de responsabilité nucléaire. Nous avons commencé à examiner la question de la fusion nucléaire et nous allons bientôt nous pencher sur celle des petits réacteurs modulaires (PRM) et des réacteurs de navire.

12.5.1. Installations de fusion nucléaire

Le projet de réacteur à fusion nucléaire le plus connu est le projet ITER en France, mais il existe actuellement une multiplicité de projets menés dans un grand nombre de pays, qui consistent à concevoir différents modèles d'installations de fusion. La plupart des nouveaux concepts sont d'une taille beaucoup plus petite que l'ITER, mais leurs concepteurs tablent sur des délais de déploiement commercial nettement plus courts. La fusion est en train de quitter la sphère universitaire et devient de plus en plus technique, et les installations les plus modernes produiront des quantités de substances radioactives beaucoup plus importantes que les installations expérimentales existantes. De plus, des entités privées faisant leur entrée dans le domaine de la conception des futures

installations de fusion, un cadre réglementaire renforcé peut être nécessaire et, en fait, il est déjà envisagé aux États-Unis d'Amérique, au Royaume-Uni⁶⁸ et ailleurs.

Selon le consensus technique obtenu, un scénario d'accident catastrophique n'est pas crédible, et le stock radioactif des réacteurs à fusion (composé principalement de tritium) est beaucoup moins important que celui des installations commerciales reposant sur la fission. Toutefois, l'exploitation future des installations de fusion produira des quantités non négligeables de déchets radioactifs de faible ou moyenne activité, qu'il s'agisse du tritium ou des matières activées par l'exploitation du réacteur.

Les installations de fusion nucléaire ne relèvent pas de la définition de l'« installation nucléaire » donnée dans toutes les conventions⁶⁹, et, de même, les matières radioactives produites pendant l'exploitation de ces installations ne relèvent pas de la définition des « matières nucléaires ». Il s'ensuit que les dispositions en matière de responsabilité applicables à ces installations ne sont actuellement couvertes que par la loi nationale.

L'INLEX s'est penché sur la question de savoir s'il serait souhaitable de faire relever les installations de fusion nucléaire du champ d'application de la Convention de Vienne de 1997⁷⁰ ou d'adopter, au niveau international ou national, un régime spécifique relatif à la responsabilité pour les dommages causés par les installations de fusion nucléaire et les activités connexes. Ce débat n'a pas encore débouché sur une position complètement élaborée. D'un côté, le danger posé par les installations de fusion est d'une ampleur différente de celui que posent les grands réacteurs à fission : il est plus proche de celui posé par une grande usine chimique ou les opérations d'extraction et de traitement de l'uranium, qui sortent du champ d'application des conventions. Dans cette optique, si l'on faisait relever les installations de fusion nucléaire du champ d'application des conventions sur la responsabilité nucléaire en vigueur, le public pourrait penser que ces installations posent un danger de nature similaire à celui que représentent les grands réacteurs à fission. D'un autre côté, les conventions en vigueur prennent en compte des installations posant un danger similaire, sous la forme de réacteurs

⁶⁸ Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2021) Towards Fusion Energy. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032848/towards-fusion-energy-uk-government-proposals-regulatory-framework-fusion-energy.pdf, page consultée le 12 octobre 2021. Le document examine la question de la responsabilité civile aux pages 50 à 54.

⁶⁹ Les définitions du « réacteur nucléaire » et du « combustible nucléaire » se rapportent expressément à la fission.

⁷⁰ Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13, par décision du Conseil des gouverneurs en application de l'article I.1 j) iv). Une telle décision pourrait être sans effet en application de la Convention de Vienne de 1963, *supra*, note 11, ou de la CRC, *supra*, note 8, car ces deux instruments ne comportent pas de disposition correspondante.

de recherche et d'installations d'entreposage de déchets radioactifs, et le système de responsabilité nucléaire offre aux victimes une protection supérieure à celle du droit de la responsabilité civile délictuelle habituel. Le débat se poursuivra lors de la 22^e session de l'INLEX en 2022.

12.5.2. Petits réacteurs modulaires

À sa réunion de 2021, l'INLEX a décidé d'examiner les questions de responsabilité concernant les petits réacteurs modulaires (PRM) en 2022. En principe, les PRM ne soulèvent aucun problème nouveau pour le régime de responsabilité nucléaire ; ils peuvent bien poser un danger de plus faible niveau que les grands réacteurs du fait d'un stock radioactif moindre⁷¹, mais c'est également le cas des réacteurs de recherche, auxquels le régime s'applique depuis sa mise en place. Il pourrait valoir la peine de déterminer la position de l'INLEX quant à la question de savoir s'il serait souhaitable que les États réduisent la limite de responsabilité et/ou le montant de la garantie financière de l'exploitant comme le prévoient les articles V et VII de la Convention de Vienne de 1997⁷² et des dispositions similaires des autres conventions. Il sera intéressant d'entendre les experts du secteur public, de l'industrie et des assureurs exposer leur expérience des situations où les États se sont prévalus de ces dispositions en ce qui concerne d'autres installations et activités posant un danger de faible niveau.

12.5.3. Navires à propulsion nucléaire

Il est probable que l'INLEX commencera également à examiner les questions de responsabilité soulevées par les navires à propulsion nucléaire en 2022. La presse nucléaire⁷³ a récemment fait état de plans conçus par les exploitants comme par les responsables de la réglementation pour se préparer à la

⁷¹ À noter également les marges de sûreté renforcées offertes par les PRM de la prochaine génération, tels que les réacteurs à sels fondus et les réacteurs à lit de boulets.

⁷² « [L']État où se trouve l'installation, compte tenu de la nature de l'installation nucléaire ou des substances nucléaires en cause ainsi que des conséquences probables d'un accident qu'elles provoqueraient, peut fixer un montant plus faible de responsabilité de l'exploitant sous réserve qu'en aucun cas un montant ainsi fixé soit inférieur à 5 millions de DTS et que l'État où se trouve l'installation prenne les dispositions nécessaires pour que des fonds publics soient alloués jusqu'à concurrence du montant fixé conformément au paragraphe 1 ». Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13.

⁷³ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Q-A-Core-Power-Chairman-and-CEO-Mikal-B%C3%B8e>, page consultée le 13 septembre 2021 ; <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UK-introducing-regulation-for-nuclear-shipping>, page consultée le 13 septembre 2021.

mise en service de navires civils à propulsion nucléaire. Les émissions de gaz à effet de serre des navires propulsés par un moteur diesel suscitant de plus en plus d'inquiétude, il a été proposé d'utiliser l'énergie nucléaire, soit pour produire de l'hydrogène ou de l'ammoniac pour remplacer les moteurs à combustion interne diesel, soit directement pour propulser le navire. Si la première option ne soulève aucun problème de responsabilité nucléaire nouveau, la seconde mérite que l'on s'y arrête. Alors qu'il convient mieux de considérer les réacteurs montés sur barge comme couverts par les conventions (voir la section 12.4.3), les navires à propulsion nucléaire ne relèvent manifestement pas de la définition de l'« installation nucléaire » donnée dans la Convention de Vienne⁷⁴, la CRC⁷⁵ et la Convention de Paris⁷⁶. Cette lacune potentielle de couverture a été constatée au début des années 1960 ; elle a donné lieu à l'adoption, par la onzième session de la Conférence diplomatique de droit maritime qui s'est tenue à Bruxelles du 17 au 29 avril 1961 sous le parrainage du Gouvernement belge et de l'AIEA, de la Convention de Bruxelles de 1962 relative à la responsabilité des exploitants de navires nucléaires⁷⁷. Toutefois, cette convention n'est jamais entrée en vigueur. Les raisons en ont été étudiées de façon détaillée⁷⁸ ; je n'y reviendrai pas ici. Lors des discussions sur la révision de la Convention de Vienne, dans les années 1990, le scepticisme quant aux perspectives des navires civils à propulsion nucléaire a fait que le Comité permanent sur la responsabilité nucléaire n'a guère manifesté d'intérêt pour une proposition tardive de les inclure dans le champ d'application des conventions révisées⁷⁹. Et il n'y avait assurément aucune possibilité d'y inclure les navires militaires à propulsion nucléaire, du fait de la décision d'écarter l'éventuelle ambiguïté de l'inclusion des installations militaires en général⁸⁰.

S'il juge souhaitable de remédier à cette possibilité de lacune future de couverture en matière de responsabilité, l'INLEX pourrait examiner un certain nombre de questions :

- les perspectives d'entrée en vigueur de la Convention de Bruxelles de 1962⁸¹, en notant qu'il y a non seulement le problème des navires militaires, mais aussi le fait que la limite de responsabilité a été dépassée par les conventions

⁷⁴ Convention de Vienne, *supra*, note 11.

⁷⁵ CRC, *supra*, note 8.

⁷⁶ Convention de Paris, *supra*, note 11.

⁷⁷ Convention internationale relative à la responsabilité des exploitants de navires nucléaires et Protocole additionnel, ouverte à la signature le 25 mai 1962 et non encore en vigueur (Convention de 1962).

⁷⁸ Handrlica 2009.

⁷⁹ AIEA 2017, note 73.

⁸⁰ *Ibid.*, p. 28.

⁸¹ Convention de 1962, *supra*, note 77.

des années 1990 et que la Convention de 1962 prévoit la compétence éventuelle des tribunaux de multiples États parties ;

- la possibilité d'amender la Convention de Bruxelles de 1962, en notant que le dépositaire n'est pas l'AIEA, mais le Gouvernement belge ;
- la possibilité d'amender les conventions sur la responsabilité modernisées pour supprimer l'exception dans la définition de l'« installation nucléaire », en notant l'extrême lenteur de la ratification des conventions des années 1990 ;
- la question de savoir dans quelle mesure le Conseil des gouverneurs de l'AIEA pourrait, par une décision prise en vertu de l'article I.1 j) iv)⁸², inclure les navires à propulsion nucléaire dans le champ d'application de la Convention de Vienne de 1997⁸³. Il est à noter qu'une telle décision pourrait être sans effet en application de la Convention de Vienne de 1963⁸⁴ ou de la CRC⁸⁵, car ces deux instruments ne comportent pas de disposition correspondante ;
- la question de savoir si le problème pourrait être réglé au moyen d'accords bilatéraux entre l'État du pavillon du navire et le ou les États où se trouvent les ports d'escale, comme cela a été proposé⁸⁶, en notant que cette solution ne répondrait pas aux préoccupations⁸⁷ des États de transit⁸⁸.

12.6. CONCLUSION

L'industrie nucléaire continue d'évoluer, souvent selon des modalités que ne pouvaient pas prévoir les personnes qui ont élaboré les principes de la responsabilité nucléaire au début des années 1960⁸⁹. Les recommandations de

⁸² La Convention de Paris confère un pouvoir analogue au Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'OCDE.

⁸³ Convention de Vienne de 1997, *supra*, note 13.

⁸⁴ Convention de Vienne, *supra*, note 11.

⁸⁵ CRC, *supra*, note 8.

⁸⁶ Handrlica 2009.

⁸⁷ Je ne porte aucun jugement sur le point de savoir si ces préoccupations seraient techniquement justifiées, mais elles existeront bel et bien.

⁸⁸ Y compris les États dont la zone économique exclusive pourrait être empruntée en transit.

⁸⁹ Encore qu'il soit intéressant de lire les travaux préparatoires de la Convention de Vienne de 1963, *supra*, note 11, et de voir la façon dont ils ont abordé des questions telles que les centrales nucléaires transportables, dont la technologie a mis des décennies à arriver à maturité.

l'INLEX permettent au régime international de responsabilité de répondre à cette évolution d'une manière qui reste fidèle à ces principes.

RÉFÉRENCES

- Handrlica J (2009) Facing plans for multiplying nuclear-powered vessels: lessons gained from the Brussels Convention on the Liability of Operators of Nuclear Ships of 1962. *International Journal of Nuclear Law* 2:313–333.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1964) Civil Liability for Nuclear Damage, Official Records. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub54web.pdf>, page consultée le 13 septembre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2004), Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Code-2004_web.pdf, page consultée le 13 septembre 2021.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2011a), Mesures pour renforcer la coopération internationale dans les domaines de la sûreté nucléaire et radiologique et de la sûreté du transport et des déchets, GC(55)/RES/9.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011b) IAEA Action Plan on Nuclear Safety. <https://www.iaea.org/sites/default/files/actionplannns.pdf>, page consultée le 13 septembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012) IAEA Action Plan on Nuclear Safety – Nuclear Liability. <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/actionplan-nuclear-liability.pdf>, page consultée le 13 septembre 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention – Explanatory Text. IAEA International Law Series No. 5. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2014), Établissement de limites maximales pour l'exclusion de petites quantités de matières nucléaires du champ d'application des conventions de Vienne sur la responsabilité nucléaire : Résolution adoptée par le Conseil des gouverneurs le 20 novembre 2014, GOV/2014/63.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) Safety and Security of Radioactive Sources: Maintaining Continuous Global Control of Sources throughout Their Life Cycle, Proceedings of an International Conference Held in Abu Dhabi. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020), The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage – Explanatory Texts. IAEA International Law Series No. 3 (Revised). IAEA, Vienna.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2012) Japan's Compensation System for Nuclear Damage. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14806/japan-s-compensation-system-for-nuclear-damage, page consultée le 13 septembre 2021.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

13. L'ATOME HUMANITAIRE : LA CONTRIBUTION DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE À LA RÉALISATION DES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Sama Bilbao y Leòn et John C. H. Lindberg

Résumé Après des décennies pendant lesquelles le changement climatique n'a fait l'objet pour l'essentiel que de grands discours, il s'impose de mener d'urgence des actions robustes afin d'en conjurer les pires effets. Toutefois, le discours sur la transition énergétique porte la trace d'une philosophie antihumanitaire qui nuira aux sérieux efforts entrepris pour réaliser les objectifs de décarbonation et ne fera qu'enraciner les inégalités dont le monde est déjà fait. La possibilité qu'offre l'électronucléaire de réduire très sensiblement les émissions de gaz à effet de serre a été étudiée à fond. Toutefois, on ne s'est guère soucié jusqu'ici de bien mettre en évidence les impacts positifs plus généraux que la technologie nucléaire peut avoir en ce qui concerne la réalisation d'un développement durable et équitable. La science et la technologie nucléaires ont de vastes applications et devraient être au cœur des politiques visant à combattre la pauvreté énergétique, à réduire la pollution atmosphérique, à fournir de l'eau salubre, à lutter contre l'insécurité alimentaire ou à atteindre un autre des 17 objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies. Le présent chapitre examine la place centrale de l'énergie pour garantir un développement durable et une transition énergétique équitable, ainsi que l'importance de l'énergie nucléaire, qui va bien au-delà de la fourniture d'une électricité bas carbone.

Mots clés Changement climatique • Objectifs de développement durable • Énergie nucléaire • Énergie bas carbone • Technologie nucléaire • Cancer • Eau salubre • Faim • Pureté de l'air • Diversité biologique • Environnement • Zéro émission nette • Transition énergétique

13.1. INTRODUCTION

La pandémie de coronavirus est venue s'ajouter aux nombreux défis que l'humanité doit relever, qu'il s'agisse des effets du changement climatique et de la pollution atmosphérique ou de la malnutrition chronique, de la raréfaction de l'eau, des déplacements forcés et des inégalités croissantes. Dès avant la pandémie, un progrès essentiel s'imposait si l'on voulait respecter le délai de

2030 fixé pour atteindre les ODD¹. La pandémie a mis en relief les nombreuses inégalités qui subsistent dans le monde, mais il ne faudrait pas revenir sur les immenses progrès accomplis en matière de développement humain depuis la Seconde Guerre mondiale. Le niveau de vie a augmenté à travers le monde : en 1950, 55 % de la population mondiale vivaient dans l'extrême pauvreté et 72 % dans la pauvreté², alors qu'en 2017, les pourcentages avaient été ramenés à 9,3 % et 40 %, respectivement³. En 1950, 24,7 % des enfants mouraient avant l'âge de 5 ans ; en 2018, ce pourcentage est tombé à 3,9 %⁴. En moins de 50 ans, le nombre des personnes souffrant de la faim ou de sous-alimentation a diminué de 17 %⁵, et en moins de 20 ans, la proportion des personnes ayant accès à l'électricité est passée de 72,8 % en 2000 à 90 % en 2019⁶. Pour l'essentiel, ces progrès stupéfiants du niveau de vie ont été propulsés par les combustibles fossiles. Pour l'étape suivante du progrès humain, il s'agit de trouver le moyen de préserver les progrès déjà accomplis tout en veillant à ce que l'humanité fasse un usage durable des ressources et de l'environnement. Les activités humaines ayant eu un impact considérable sur le système terrestre, il est urgent de mener des actions visant à ne pas déstabiliser davantage l'habitabilité de la planète⁷. L'un des facteurs les plus déterminants est le caractère insoutenable de la trajectoire de développement actuelle, le changement climatique dû aux activités humaines étant l'un des défis symptomatiques dans lequel l'Organisation des Nations Unies a vu « le grand problème qui définit notre époque⁸ ». Si l'on veut maintenir le réchauffement climatique au-dessous de 1,5 °C, les émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines doivent baisser rapidement et il faut parvenir à zéro émission nette vers 2050⁹. Toutefois, en dépit de plusieurs décennies de platitudes politiques et du fait que l'atténuation du changement climatique ait été systématiquement présentée comme un but politique important, entre 1985 et 2018, l'utilisation des combustibles fossiles a augmenté en termes aussi bien

¹ ONU 2021.

² Bourguignon et Morrisson 2002

³ <https://data.worldbank.org/topic/poverty>, page consultée le 1^{er} juillet 2021 ; <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/10/07/covid-19-to-add-as-many-as-150-million-extreme-poor-by-2021>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁴ <https://www.gapminder.org/data/documentation/gd005/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁵ Rosling *et al.* 2018.

⁶ <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>, page consultée le 1^{er} juin 2021.

⁷ Rockström *et al.* 2009 ; Steffen *et al.* 2015.

⁸ <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/>, page consultée le 1^{er} janvier 2021.

⁹ GIEC 2018.

absolus que relatifs¹⁰. De ce fait, les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont continué d'augmenter chaque année, passant de 20,5 milliards de tonnes de CO₂ en 1990 à 33,3 milliards de tonnes de CO₂ en 2019¹¹. Un développement qui serait également à base de combustibles fossiles pour les pays à revenu faible ou intermédiaire – y compris les 770 millions de personnes qui n'ont même pas accès à une infrastructure rudimentaire de distribution d'électricité¹² – rendrait vains les efforts faits pour contenir l'élévation de la température moyenne mondiale au-dessous de 2 °C. Il est donc évident qu'en matière de réduction des émissions, le statu quo est loin d'être suffisant. Pour lutter contre le changement climatique, il faudra rompre résolument avec les mesures classiques afin de bâtir une communauté mondiale qui soit tout à la fois plus prospère, plus équitable et plus durable.

Toutefois, le discours sur la transition énergétique adhère très souvent à la construction intellectuelle pessimiste de la pensée à somme nulle qui menace l'action entreprise pour décarboner l'économie mondiale d'une façon équitable. De cette mentalité de la pénurie émane la thèse très répandue selon laquelle il est nécessaire de retirer des privilèges aux habitants des pays à revenu élevé et de limiter la croissance des habitants des pays à revenu faible ou intermédiaire. Pendant très longtemps, cette mentalité a envahi le débat, en argumentant contre l'accroissement de la population ou la croissance économique au nom de la protection de l'environnement. Or, cette argumentation est inconsidérée. En privant une population d'un meilleur niveau de vie, on ne fera que la mécontenter et la détourner des politiques visant à relever le défi. L'instauration d'une communauté mondiale viable repose essentiellement sur la fourniture d'un système énergétique véritablement abordable, propre et à la demande dont l'empreinte (écologique, économique et sociale) soit aussi faible que possible. L'énergie nucléaire est au cœur de ce nouveau système énergétique.

Depuis la mise en service des premiers réacteurs civils dans les années 1950, l'électronucléaire joue un rôle important dans la fourniture d'électricité bas carbone, abordable et fiable aux communautés du monde entier. Grâce aux faibles émissions de l'électronucléaire sur l'ensemble du cycle de vie¹³, la substitution de cette source d'énergie à des centrales fonctionnant principalement au charbon aurait empêché l'émission de 68 milliards de tonnes de gaz à effet de serre entre 1970 et 2015¹⁴, et le rôle que pourrait jouer l'électronucléaire en matière

¹⁰ BP 2020 ; Ember 2020.

¹¹ Schlömer *et al.* 2014.

¹² AIE 2021a, b.

¹³ Schlömer *et al.* 2014.

¹⁴ AIEA 2018.

d'atténuation du changement climatique est généralement admis¹⁵. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a noté que « [s]i un appui plus important n'est pas fourni à l'électronucléaire, les activités menées dans le monde pour passer à un système énergétique plus propre deviendront beaucoup plus difficiles et plus onéreuses¹⁶ ». Cela dit, les possibilités offertes par la technologie nucléaire vont bien au-delà de l'atténuation du changement climatique. Du fait de ses spécificités et de ses vastes applications, cette technologie devrait être au cœur des politiques visant à combattre la pauvreté énergétique, à réduire la pollution atmosphérique, à fournir de l'eau salubre, à lutter contre l'insécurité alimentaire ou à atteindre un autre des 17 ODD. Toutefois, on ne s'est guère soucié jusqu'ici de bien mettre en évidence les impacts positifs que la technologie nucléaire peut avoir sur le développement durable¹⁷. Le présent chapitre examine la place centrale de l'énergie pour garantir un développement durable, ainsi que l'importance de l'énergie nucléaire, qui va bien au-delà de la fourniture d'une électricité bas carbone. Le chapitre est structuré autour de domaines thématiques, en faisant ressortir comment la technologie nucléaire améliore la santé et l'environnement, et aide à instaurer un monde plus juste.

13.2. LA PLACE CENTRALE OCCUPÉE PAR L'ÉNERGIE (PROPRE) DANS LE DÉVELOPPEMENT DURABLE ET LE RÔLE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'énergie occupe une place centrale dans tous les aspects de la vie, et une foule de changements fondamentaux apportés à l'existence humaine à travers l'histoire ont été étroitement liés à des avancées dans notre relation avec l'énergie. Ces révolutions, qu'il s'agisse de la conquête du feu, de l'invention de la machine à vapeur ou de l'apparition de l'électricité, ont été associées à une importante amélioration des conditions de vie d'une grande partie de la population. En dépit de la place centrale, et que nul ne lui conteste, qu'elle occupe dans la vie moderne, la politique énergétique, souvent dédaignée, fait fréquemment l'objet d'actions au coup par coup et à courte vue, menées en réaction à des crises. Elle est souvent déterminée en fonction d'horizons à court terme qui sont ceux du monde politique (quelques années), et non des horizons fondés sur une infrastructure intergénérationnelle (30 ans et plus) qui sont généralement requis.

¹⁵ Brook 2012 ; Baek et Pride 2014 ; Hong *et al.* 2015 ; Liddle et Sadorsky 2017 ; Energy Initiative du MIT 2018, 2012 ; OCDE/AEN 2019.

¹⁶ Agence internationale de l'énergie 2019.

¹⁷ Lindberg (sous presse).

Tout en n'étant qu'un des 17 ODD, le septième de ces objectifs – Énergie propre et d'un coût abordable – est le fondement de presque tous les autres.

De toutes les formes d'énergie, l'électricité est peut-être la plus efficace. Sans l'électricité, il n'est pas possible de donner véritablement à la population les moyens de se prendre en charge ni de protéger l'environnement. Sans l'électricité, il ne saurait y avoir ni système de santé moderne, ni accès universel à l'eau salubre ou à l'assainissement, ou à une éducation de qualité. Il existe une corrélation claire entre l'accès à l'électricité et le développement humain, l'utilisation croissante de l'électricité facilitant l'amélioration de la qualité de la vie¹⁸, et l'accès à une électricité propre et bon marché étant indispensable pour réduire les inégalités socioéconomiques¹⁹. On dispose également de preuves concrètes du lien fort existant entre l'accès à l'électricité et la réduction de la pauvreté²⁰ et en particulier des effets positifs de cet accès sur l'autonomisation et le bien-être des femmes²¹. L'électricité rompt le lien entre la lumière du jour et le temps productif, ce qui permet aux femmes de consacrer moins de temps aux tâches ménagères, d'augmenter leurs chances de trouver un emploi rémunéré et d'élever leur niveau d'instruction²².

L'énergie est responsable de 73,2 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, dont la chaleur et l'électricité comptent pour environ un tiers²³. En ce qui concerne la production totale d'énergie (électricité, chaleur, transport), les combustibles fossiles prédominent en représentant 84,3 % de l'énergie totale²⁴. Les combustibles fossiles produisent environ 63,3 % de l'électricité mondiale, le reste provenant de sources d'énergie bas carbone. Comme l'a indiqué l'AIE dans un récent rapport sur le marché mondial de l'électricité, la très forte croissance de la production d'électricité renouvelable a été dépassée par une augmentation plus forte et rapide de la demande d'électricité, la différence (environ 90 %) étant comblée par les centrales à charbon²⁵. L'urgence et l'ampleur du défi sont d'autant plus frappantes que, si l'on veut limiter le réchauffement à 1,5 °C, il faudra avoir décarboné pratiquement l'ensemble du secteur énergétique vers le milieu du siècle²⁶. En fait, les émissions mondiales de carbone ont augmenté d'année en année, ne diminuant qu'en période de crise (par exemple les récessions

¹⁸ Niu *et al.* 2013.

¹⁹ CEE-ONU 2021.

²⁰ Khandker *et al.* 2014 ; Dinkelman 2011 ; Rao et Pachauri 2017 ; Karekezi *et al.* 2012.

²¹ Winther *et al.* 2017.

²² Khandker *et al.* 2014.

²³ <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors-and-sectors>, page consultée le 1^{er} janvier 2021.

²⁴ BP 2020.

²⁵ Agence internationale de l'énergie 2021a, b.

²⁶ Rogelj *et al.* 2018.

mondiales des années 1930, du début des années 1980 et de 2008-2009 ; la fin de la Seconde Guerre mondiale ; et l'effondrement de l'Union soviétique, la pandémie de COVID-19)²⁷.

L'énormité du défi a de quoi impressionner lorsque l'on songe que quelque 770 millions de personnes, vivant surtout en Afrique subsaharienne, n'ont toujours pas accès à l'électricité²⁸ et que, si l'on veut augmenter la consommation d'électricité de la population mondiale pour qu'elle atteigne la moyenne de l'Union européenne (700 W par personne et par an), en supposant que la population mondiale stagne, il faudrait une capacité supplémentaire estimée à 5 000 GW, en plus des 2 500 GW existants²⁹. La demande d'électricité est appelée à augmenter encore du fait de la généralisation de l'électrification de l'économie.

Trop souvent, le discours politique porte presque exclusivement sur la décarbonation et est empreint de l'idée de l'« énergie en tant que contrainte ». Cette idée malavisée prend bien des formes, le plus souvent celle du besoin ressenti de réduire la consommation d'énergie en raison de son caractère insoutenable. Vu son importance pour tous les aspects de la vie moderne, l'énergie devrait plutôt être considérée comme un moteur du changement socioéconomique. La lutte contre le changement climatique offre la possibilité de décarboner l'économie mondiale tout en instaurant une société mondiale plus durable et plus équitable. L'accès intermittent à l'électricité (par exemple au moyen de panneaux solaires hors réseau) est un pas dans la bonne direction, mais il est plus qu'évident qu'il n'est pas suffisant pour alimenter une économie moderne³⁰. Pour que la transition à une société mondiale bas carbone puisse être considérée comme équitable, il est essentiel d'établir des portefeuilles énergétiques à faible intensité de carbone pour une alimentation 24 heures sur 24 en une énergie non polluante, qui répondent aux besoins et correspondent aux ressources naturelles de chaque pays.

L'énergie nucléaire donne aux pays à revenu faible ou intermédiaire la possibilité de transformer radicalement leurs systèmes énergétiques d'une manière durable, en sautant les étapes à forte intensité de carbone par lesquelles sont passés les pays développés. L'énergie nucléaire a prouvé qu'il est possible de dissocier la croissance économique des émissions de gaz à effet de serre, comme il a été constaté en Suède³¹ et en France³². De fait, la rapide expansion de l'énergie nucléaire en Suède et en France à partir de 1960 a bien montré

²⁷ <https://www.wri.org/insights/history-carbon-dioxide-emissions>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

²⁸ <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>, page consultée en juin 2021.

²⁹ Devanney 2021.

³⁰ Clack *et al.* 2017 ; Heard *et al.* 2017.

³¹ Lindberg 2017.

³² Association nucléaire mondiale 2019.

qu'il était possible de transformer rapidement les systèmes électriques des pays industrialisés, largement tributaires des combustibles fossiles, en systèmes se situant parmi ceux qui émettent le moins de gaz à effet de serre dans le monde, ce en l'espace de 20 ans³³ – horizon similaire à celui fixé par l'Accord de Paris de 2015 pour éviter les pires effets du changement climatique. La modélisation permet de conclure qu'une expansion mondiale de l'énergie nucléaire à ce rythme record délogerait les combustibles fossiles du système mondial d'électricité dans les délais requis³⁴.

L'énergie nucléaire est la seule source d'énergie bas carbone qui puisse produire de l'électricité, mais aussi de la chaleur. D'où d'immenses possibilités de décarboner d'autres secteurs difficiles de l'économie. Alors que le changement climatique pourrait se traduire par des hivers plus chauds dans de nombreuses parties du monde, le chauffage des bâtiments restera indispensable, et l'excédent de chaleur produit par les centrales nucléaires est déjà utilisé à travers le monde, par exemple en Suisse, dans la Fédération de Russie et en Chine³⁵ pour les besoins du chauffage urbain dans les villes avoisinantes. De plus, la Chine et la Finlande étudient la possibilité de construire de petits réacteurs destinés spécifiquement à produire de la chaleur pour le conditionnement des bâtiments³⁶. L'énergie nucléaire peut également être utilisée pour produire la chaleur qui est indispensable pour de nombreux processus industriels, tels que la production de béton, d'acier et de papier, ainsi que dans l'industrie chimique³⁷, et la production d'hydrogène et de combustibles synthétiques³⁸ pour la navigation maritime et le transport. La construction de réacteurs fonctionnant à des températures plus élevées ou l'incorporation de réacteurs nucléaires dans des centrales à charbon existantes afin de réutiliser l'infrastructure en place ont été proposées comme moyens pouvant permettre de décarboner ces autres secteurs de l'économie³⁹.

Outre la fourniture d'électricité et de chaleur à émissions nulles pour une énergie propre et abordable, les technologies nucléaires contribuent directement et d'innombrables façons aux activités menées à l'échelle mondiale pour atteindre un grand nombre d'ODD, dont les objectifs 2 (Faim « zéro »), 3 (Bonne santé et bien-être) et 6 (Eau propre et assainissement) qui visent à améliorer la santé dans le monde.

³³ Cao *et al.* 2016.

³⁴ Qvist et Brook 2015.

³⁵ Csik et Kupitz 1997 ; Jasserand et Devezeaux de Lavergne 2016 ; <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Haiyang-begins-commercial-scale-district-heat-supply>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

³⁶ Värri et Syri 2019.

³⁷ Royal Society 2020.

³⁸ Ingersoll et Gogan 2020.

³⁹ Qvist *et al.* 2021.

13.3. LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE ET L'AMÉLIORATION DE LA SANTÉ

La bonne santé est l'une des conditions les plus fondamentales de la réalisation du potentiel humain, et elle dépend elle-même de la possibilité d'accéder à des soins de santé efficaces et abordables. La pandémie de coronavirus a fait porter l'attention comme jamais auparavant sur la santé publique et a mis en relief d'une façon tout à fait saisissante les inégalités extrêmes en matière de santé qui existent dans le monde ainsi qu'à l'intérieur de chaque pays. L'accès 24 heures sur 24 à une électricité fiable et propre contribue largement à renforcer la santé publique de façon à la fois directe et indirecte. Pour assurer la qualité de la santé publique, il ne suffit pas d'alimenter en électricité les établissements de santé ; il faut aussi protéger les poumons des enfants contre les dangers connus de la pollution atmosphérique, combattre les maladies transmissibles comme la maladie du sommeil et les maladies non transmissibles comme le cancer, fournir de l'eau potable et lutter contre la faim et l'insécurité alimentaire. La technologie nucléaire joue depuis des décennies un rôle majeur dans tous ces domaines, et c'est un rôle qui devrait être considérablement élargi afin d'améliorer la santé de chaque homme, femme et enfant où que ce soit dans le monde.

13.3.1. Un air plus pur grâce à l'énergie nucléaire

La pollution atmosphérique est un problème majeur de santé publique dont souffrent les communautés du monde entier et est pour beaucoup dans l'apparition de maladies telles que la maladie pulmonaire chronique, la maladie cardiaque ischémique, l'accident cérébrovasculaire hémorragique et l'accident ischémique cérébral, et les infections des voies respiratoires inférieures. La pollution atmosphérique est souvent associée à des sources d'énergie polluantes, qu'il s'agisse de combustibles de cuisson sales ou de l'utilisation de combustibles polluants pour la production d'électricité, ou des moteurs à combustion. Selon l'Étude de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) sur la charge mondiale de morbidité, les maladies et les facteurs de risque de 2015, la pollution atmosphérique (pollution intérieure des locaux et pollution de l'air ambiant) est l'une des principales causes de morbidité⁴⁰, et 91 % de la population mondiale sont exposés à de l'air dans lequel les concentrations de polluants sont supérieures à celles qui figurent dans les lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air⁴¹. Cela a des conséquences nuisibles pour la santé publique à

⁴⁰ Cohen *et al.* 2017.

⁴¹ [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), page consultée le 12 juin 2021.

l'échelle de la planète, cette pollution étant responsable d'environ 9 % des décès dans le monde, la situation étant la plus grave dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, en particulier ceux de l'Asie du Sud et du Sud-Est⁴². Selon une estimation de l'OMS, la pollution de l'air ambiant cause 4,2 millions de décès prématurés par an, dont quelque 3,8 millions sont dus à la pollution intérieure des locaux⁴³, tandis que les auteurs de certaines études estiment que l'utilisation des combustibles fossiles a causé quelque 8,7 millions de décès prématurés au cours de la seule année 2018⁴⁴.

On peut éliminer une bonne partie de la pollution intérieure des locaux en remplaçant les combustibles solides (comme le bois, les bouses et le charbon de bois) et le kérosène par l'électricité pour la cuisson des aliments, et si cette électricité provenait de sources d'énergie bas carbone, on pourrait aussi réduire considérablement la pollution de l'air ambiant. À l'heure actuelle, la pollution atmosphérique est particulièrement répandue dans les pays à revenu faible ou intermédiaire⁴⁵, qui sont aussi les pays où la demande d'électricité devrait augmenter le plus. Aujourd'hui, plus de 2,6 milliards de personnes ne disposent pas de cuisines répondant à des normes d'hygiène acceptables (17 % seulement de la population de l'Afrique subsaharienne en disposent⁴⁶, et utilisent la biomasse, le charbon ou le kérosène). De ce fait, le passage à un système électrique non polluant offre une possibilité importante non seulement de prévenir des millions de décès prématurés, mais encore de préserver les forêts locales.

L'énergie nucléaire joue depuis des décennies un rôle important de protection des communautés locales contre les dangers connus de la pollution atmosphérique, car les centrales nucléaires n'émettent aucun polluant atmosphérique. Dans une étude réalisée en 2013, Kharecha et Hansen ont calculé que l'utilisation de l'énergie nucléaire entre 1971 et 2009 avait empêché environ 1,8 million de décès liés à la pollution⁴⁷, soit en se substituant à des sources d'énergie plus polluantes, soit en les rendant inutiles. L'impact de l'énergie nucléaire sur la pollution atmosphérique peut également se manifester dans des lieux où les centrales nucléaires ont été fermées prématurément pour des raisons politiques, comme cela a été le cas en Allemagne à la suite de l'accident survenu

⁴² <https://ourworldindata.org/air-pollution#air-pollution-is-one-of-the-world-s-leading-risk-factors-for-death>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁴³ https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, page consultée le 12 juin 2021.

⁴⁴ <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-clean-cooking>, page consultée le 15 juin 2021.

⁴⁵ <https://ourworldindata.org/air-pollution#air-pollution-is-one-of-the-world-s-leading-risk-factors-for-death>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁴⁶ Kharecha et Hansen 2013.

⁴⁷ Jarvis *et al.* 2019.

à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi en 2011. On a calculé qu'entre 2010 et 2017, la cessation graduelle de la production d'électricité d'origine nucléaire en Allemagne a causé chaque année 1 100 décès supplémentaires liés à la pollution, ce qui a été dû pour une bonne part au fait que l'énergie nucléaire a été dans une large mesure remplacée par le charbon⁴⁸. Il est donc essentiel que les réacteurs existants continuent de fonctionner aussi longtemps que possible et que l'utilisation de l'énergie nucléaire soit étendue aux pays à revenu faible ou intermédiaire pour remplacer la production d'électricité à partir de combustibles fossiles.

13.3.2. Lutte contre le cancer et d'autres maladies

La médecine moderne utilise depuis des décennies les rayonnements ionisants pour diagnostiquer et traiter un grand nombre d'affections, mais ces rayonnements sont le plus étroitement associés au traitement du cancer. Peu de maladies donnent lieu dans la société humaine à une charge émotionnelle aussi forte que le cancer. La mention du cancer la plus ancienne dont nous disposons a été découverte sur des papyrus vieux de plus de 5 000 ans, et le terme a été utilisé pour la première fois par Hippocrate (460-370 av. J.-C.)⁴⁹. Le cancer est l'une des maladies les plus courantes, et 14 millions de nouveaux cas sont diagnostiqués chaque année⁵⁰. Environ 20 % des hommes et 17 % des femmes se voient diagnostiquer un cancer au cours de leur vie⁵¹, mais ces proportions varient d'un pays à l'autre. Toutefois, l'augmentation de l'espérance de vie s'accompagne de celle du risque de cancer⁵², le risque vie entière étant par exemple de 40 % aux États-Unis d'Amérique⁵³ et d'environ 50 % au Royaume-Uni⁵⁴.

Les rayonnements jouent un rôle extrêmement important dans la lutte contre le cancer à travers le monde. On peut avoir recours à la radiothérapie – qui utilise souvent des éléments radioactifs produits dans des réacteurs – dans environ 50 % des cas de cancer, à des fins curatives ou palliatives⁵⁵. Certaines techniques de radiothérapie permettent de traiter des affections difficiles à gérer par tout autre moyen ; c'est le cas du Gamma Knife de Leksell, qui peut détruire des cellules cancéreuses dans des endroits que la chirurgie a du mal à atteindre, comme le cerveau, en concentrant un grand nombre de petits faisceaux externes sur la

⁴⁸ Vohra *et al.* 2021.

⁴⁹ Société américaine du cancer 2014.

⁵⁰ Jaffray et Gospodarowicz 2015.

⁵¹ OMS 2018.

⁵² Centre international de recherche sur le cancer 2020.

⁵³ Société américaine du cancer 2020.

⁵⁴ Smittenaar *et al.* 2016.

⁵⁵ Jaffray et Gospodarowicz 2015.

tumeur ciblée. Les premières techniques d'imagerie, comme celles utilisant les rayons X, ont révolutionné la médecine, mais les techniques d'imagerie nucléaire actuelles, telles que la tomodensitométrie (CT ou CAT), la tomodensitométrie à émission monophotonique (SPECT) ou la tomographie à émission de positons (PET), qui fournissent des images en 3D et permettent aux médecins de voir les os et les tissus et d'évaluer le fonctionnement des organes, représentent un progrès essentiel en matière de diagnostic et de traitement des maladies. Il existe d'autres méthodes de diagnostic, comme celle utilisant la RT-PCR en temps réel ; il s'agit d'une méthode dérivée du nucléaire qui détecte en quelques heures, au lieu de quelques jours, d'éventuels pathogènes, notamment des virus tels que le COVID-19 ou le virus Ebola. Plus de 40 millions d'actes de médecine nucléaire sont effectués chaque année, et la demande de radio-isotopes augmente à un rythme annuel pouvant aller jusqu'à 5 %.

La technique de l'insecte stérile (TIS) est une autre application importante de la technologie nucléaire au service de l'amélioration de la santé humaine dans le monde. Quelque 17 % des maladies infectieuses, comme le paludisme, la fièvre jaune, la dengue et la maladie à virus Zika, sont transmises par vecteur⁵⁶. Du fait du changement climatique, on peut s'attendre à ce que les maladies à transmission vectorielle et les zoonoses se répandent au-delà de leurs aires actuelles ; en fait, on dispose d'éléments qui semblent indiquer que c'est déjà le cas⁵⁷. Le fait que les moustiques et les autres vecteurs renforcent leur capacité de résister à la plupart des insecticides courants pourrait aggraver ce problème⁵⁸. La TIS utilise des rayonnements produits par des sources radioactives, comme le cobalt 60 ou le césium 137, pour stériliser un grand nombre d'organismes nuisibles ciblés mâles (par exemple les mouches tsé-tsé ou les moustiques anophèles) qui sont ensuite relâchés dans l'environnement. Comme ces mâles empêcheront une population d'organismes nuisibles de se reproduire, celle-ci sera considérablement réduite, voire éradiquée, ce qui diminuera sensiblement l'extension du risque pour l'homme de contracter une maladie infectieuse à transmission vectorielle quelle qu'elle soit⁵⁹. La TIS a été utilisée avec succès à travers le monde pour lutter contre les organismes nuisibles qui transmettent un grand nombre de maladies⁶⁰ – dont la myiase (due à la lucilie bouchère) et la trypanosomiase africaine (transmise par la mouche tsé-tsé) – et elle pourrait jouer un rôle important dans la lutte contre les maladies transmises par les moustiques,

⁵⁶ OMS et AIEA 2020.

⁵⁷ Higgs 2018, p. 285.

⁵⁸ Bouyer *et al.* 2020.

⁵⁹ Klassen et Vreysen 2021.

⁶⁰ Klassen *et al.* 2021.

comme le paludisme et la dengue⁶¹. De plus, la TIS remplace les pesticides ou en diminue la nécessité ; or, ces substances ont souvent un impact supplémentaire sur la santé et l'environnement.

13.3.3. La technologie nucléaire peut fournir une eau douce salubre

L'eau est essentielle à toute vie sur Terre, et on ne soulignera jamais assez l'importance cruciale de l'eau pour l'humanité. La demande mondiale d'eau n'a fait que croître, alors que les réserves existantes d'eau douce ont diminué⁶², et l'on s'attend à ce que le changement climatique ait des incidences négatives sur les ressources en eau dans le monde, ce qui aggravera la pénurie d'eau⁶³. L'eau est une ressource inégalement répartie : les deux tiers de la population mondiale connaissent déjà de graves pénuries d'eau au moins un mois par an⁶⁴ et plus de 1,4 milliard de personnes (dont 450 millions d'enfants) vivent dans des zones à forte ou extrêmement forte vulnérabilité hydrique⁶⁵. Cette situation est encore exacerbée par le manque d'eau potable, qui aurait causé 1,2 million de décès en 2017⁶⁶, les maladies diarrhéiques comme le choléra et la dysenterie tuant chaque année environ 500 000 personnes⁶⁷. Malheureusement, ONU-Eau a récemment conclu que les progrès en matière de réalisation de l'ODD 6 (Eau propre et assainissement) n'avaient pas été suffisants, les ressources en eau se tarissant et/ou devenant encore plus polluées⁶⁸. Les radiotraceurs sont un outil indispensable de recensement des ressources en eaux souterraines, permettant d'identifier et de cartographier leur origine, leur distribution, leur quantité et leur qualité, et d'établir des plans utiles et durables d'exploitation et de gestion de ces ressources. Ces mêmes techniques nucléaires sont utilisées pour évaluer et gérer les intrusions d'eau de mer dans les aquifères d'eau douce, étudier la dynamique des écosystèmes, surveiller les polluants dans les cours d'eau douce et analyser l'efficacité des techniques de lutte contre la pollution et de dépollution⁶⁹.

Le dessalement de l'eau de mer est un outil important pour assurer un approvisionnement stable en eau potable pour les usages domestiques et

⁶¹ Klassen 2009.

⁶² Boretti et Rosa 2019.

⁶³ Jiménez Cisneros *et al.* 2014.

⁶⁴ Mekonnen et Hoekstra 2016.

⁶⁵ UNICEF 2021.

⁶⁶ <https://ourworldindata.org/water-access#unsafe-water-is-a-leading-risk-factor-for-death>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁶⁷ <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁶⁸ ONU-Eau 2021.

⁶⁹ AIEA 2015.

industriels. Il existe actuellement dans le monde quelque 16 000 installations de dessalement, dont la majorité se trouvent au Moyen-Orient. Le dessalement nécessite des quantités considérables d'énergie, et si des sources d'énergie fossiles sont utilisées (ce qui est souvent le cas), le processus entraîne un fort volume d'émissions⁷⁰. À moins que le coût de l'eau douce produite par les installations de dessalement ne devienne comparable à celui de l'eau provenant de sources traditionnelles⁷¹, un grand nombre des communautés du monde parmi les plus vulnérables face au changement climatique, soit quelque 700 millions de personnes, devront s'installer ailleurs d'ici à 2030⁷². Du fait de l'augmentation de la demande d'eau et de la nécessité de décarboner, l'énergie nucléaire peut utilement remplacer les combustibles fossiles pour alimenter les installations de dessalement⁷³. Cela pourrait être fait en associant de grands réacteurs de puissance à des installations de dessalement en tant qu'utilisation supplémentaire ou en utilisant des réacteurs de dessalement nucléaire⁷⁴. Le dessalement nucléaire n'est pas nouveau : une expérience de quelque 200 années-réacteur a déjà été accumulée en la matière, dans la plupart des cas à petite échelle, en particulier au Japon, en Inde et au Kazakhstan⁷⁵. C'est également un concept qui a fait l'objet de recherches approfondies, et l'association d'essais empiriques et d'études de faisabilité a prouvé que le dessalement nucléaire est techniquement et économiquement réalisable⁷⁶. Par exemple, il ressort d'études scientifiques qu'un programme de dessalement nucléaire en Chine – pays qui doit déjà faire face à une pénurie d'eau⁷⁷ – pourrait augmenter sensiblement les ressources en eau dans les régions soumises au stress hydrique, et à des prix abordables⁷⁸.

13.3.4. Appliquer la technologie nucléaire à la lutte contre la faim

Quelque 768 millions de personnes (2020) souffrent de la faim⁷⁹ et, chaque année, la dénutrition est la cause directe ou sous-jacente de 45 % des décès d'enfants⁸⁰. De plus, plus d'un enfant de moins de 5 ans sur cinq (soit environ

⁷⁰ Jones *et al.* 2019 ; Darre et Toor 2018.

⁷¹ Ziolkowska 2015.

⁷² <https://www.unicef.org/wash/water-scarcity>, page consultée le 25 juin 2021.

⁷³ Ingersoll *et al.* 2014a.

⁷⁴ Ingersoll *et al.* 2014b.

⁷⁵ <https://www.iaea.org/topics/non-electric-applications/nuclear-desalination>, page consultée le 1^{er} janvier 2021.

⁷⁶ Belessiotis *et al.* 2010.

⁷⁷ Jiang 2009.

⁷⁸ Avrin *et al.* 2015, 2018.

⁷⁹ FAO *et al.* 2021.

⁸⁰ Mark *et al.* 2020.

144 millions d'individus) souffrent d'un retard de croissance, et si la pandémie a fait augmenter les niveaux d'insécurité alimentaire, la tendance antérieure à la pandémie avait déjà fait apparaître une augmentation de cette insécurité de 3,2 % entre 2014 et 2018⁸¹. Parallèlement, quelque 1,3 milliard de tonnes de denrées alimentaires sont gaspillées chaque année par les consommateurs ou les détaillants, ou s'abîment en raison de mauvaises pratiques de stockage, de transport ou de récolte⁸².

L'électricité est un élément indispensable de l'action à mener pour éliminer la faim dans le monde, en aidant à augmenter la production alimentaire, à réduire les pertes post-récolte et à mieux stocker les denrées (y compris par la réfrigération)⁸³. Les auteurs d'études empiriques ont conclu que l'accès à l'électricité a un effet positif immédiat sur la sécurité alimentaire, surtout en termes de production, de conservation et de préparation des aliments⁸⁴. L'énergie nucléaire contribue d'ores et déjà de façon importante à fournir de l'électricité sans émissions polluantes ; en association avec d'autres technologies nucléaires, elle peut jouer un rôle essentiel dans la lutte contre la faim dans le monde, réalisant ainsi le deuxième ODD.

Les techniques nucléaires peuvent promouvoir l'utilisation efficace de l'eau et des nutriments par les plantes cultivées, garantissant ainsi une augmentation des rendements et laissant davantage de place à la nature. L'une de ces techniques est l'irradiation des aliments, qui consiste à exposer les aliments à des quantités soigneusement contrôlées de rayonnements, en utilisant souvent le cobalt 60 fabriqué dans les réacteurs nucléaires, pour tuer les champignons, parasites et bactéries pathogènes. Ce procédé allonge sensiblement la durée de conservation des aliments, ce qui contribue à éviter le gaspillage⁸⁵. Fait tout aussi important pour la santé publique, l'irradiation des aliments peut aussi contribuer grandement à la lutte contre les maladies d'origine alimentaire, responsables de plus de 420 000 décès par an – décès qui touchent les enfants de moins de 5 ans de façon disproportionnée. De plus, les maladies d'origine alimentaire peuvent causer des dommages sanitaires de longue durée et coûter chaque année aux pays à revenu faible ou intermédiaire 110 milliards de dollars des États-Unis en pertes de productivité et en dépenses de santé⁸⁶. L'irradiation des aliments a été approuvée par l'OMS, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

⁸¹ <https://sdgs.un.org/fr/goals/goal2>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁸² PNUE 2020.

⁸³ Willcox *et al.* 2015.

⁸⁴ Candelise *et al.* 2021.

⁸⁵ Verma et Gautam 2015 ; Thayer 1993.

⁸⁶ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

(FAO) et l'Office de contrôle des produits alimentaires et pharmaceutiques des États-Unis d'Amérique⁸⁷ et, bien que cette technique soit utilisée dans plus de 60 pays⁸⁸, elle pourrait l'être à une échelle bien plus importante.

La TIS susmentionnée est une autre application de la technologie nucléaire servant à réduire l'insécurité alimentaire et à lutter contre la faim. Des ravageurs et des maladies font perdre chaque année entre 20 et 40 % des rendements des cultures⁸⁹. Ces pertes risquent d'être aggravées par le changement climatique⁹⁰ à un moment où la production alimentaire devra augmenter de près de 50 % pour faire face à l'accroissement de la demande⁹¹. Les programmes de TIS à travers le monde ont montré l'utilité de cette technique pour réduire les populations de ravageurs (les mouches des fruits, par exemple) et les empêcher de se répandre dans d'autres zones. Cette technique est rentable et écologique car elle contribue à diminuer l'utilisation des pesticides et engrais, qui sont associés à des risques pour la santé et l'environnement⁹².

13.4. APPLIQUER LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE À LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

13.4.1. Destruction de l'habitat et perte de diversité biologique

Notre voie de développement a eu notamment pour conséquence la perte pour ainsi dire sans précédent de diversité biologique qui s'est produite au cours des 500 dernières années, le taux d'extinction des espèces étant près de 100 fois supérieur aux prévisions⁹³. Il ne fait à présent guère de doute que l'extinction d'espèces entières et la diminution des populations sont dues aux activités humaines, et leur ampleur et leur rythme sont comparables à ceux des cinq grandes extinctions survenues au cours des 450 millions d'années précédentes⁹⁴. Entre 1970 et 2016, on a enregistré une diminution moyenne de 68 % de la taille

⁸⁷ OMS 1994 ; OMS 1988 ; <https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/food-irradiation-what-you-need-know>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁸⁸ <https://www.iaea.org/fr/themes/irradiation-des-aliments>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁸⁹ <https://www.fao.org/news/story/fr/item/1188230/icode/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

⁹⁰ Secrétariat du GIEC 2021.

⁹¹ FAO 2017.

⁹² Enkerlin 2005.

⁹³ Ceballos et Ehrlich 2018.

⁹⁴ Dirzo *et al.* 2014.

des populations de mammifères, de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux⁹⁵, et cette tendance a été observée aussi bien parmi les espèces « traditionnellement » vulnérables (par exemple, les superprédateurs) que parmi les espèces ne suscitant pas une grande préoccupation⁹⁶. Ce déclin est largement dû à la modification, ou à la destruction pure et simple, des habitats naturels, 75 % des superficies libres de glace ayant été sensiblement modifiées par l'activité humaine⁹⁷ de façon directe, par surexploitation, et indirecte, sous l'effet du changement climatique⁹⁸. La perte de diversité biologique risque d'avoir de lourdes conséquences pour la stabilité et la dynamique à long terme des écosystèmes, ce qui pourrait entraîner des effets secondaires tels qu'une perturbation de la production de denrées alimentaires (du fait de l'augmentation de la densité des ravageurs ou de la diminution des pollinisateurs⁹⁹) et la dégradation de l'environnement (associée aux migrations forcées et à l'apparition de plus en plus fréquente de maladies infectieuses, par exemple¹⁰⁰).

Pour pouvoir enrayer la perte de diversité biologique, il est indispensable d'atténuer la pression provoquée sur les environnements et les espèces locaux par la destruction des habitats, le changement climatique et l'exploitation non viable¹⁰¹. L'énergie, qu'il s'agisse de son accessibilité ou de sa source, joue un rôle déterminant dans la création de cette pression. Par exemple, il existe un lien direct entre la dégradation des forêts (et le déboisement) et l'accès à l'énergie. Lorsque des personnes n'ont pas du tout accès à l'électricité – ou n'en ont pas assez –, elles utilisent souvent la biomasse (communément ramassée dans les forêts locales) comme combustible. Cette pratique non seulement nuit aux habitats locaux et contribue au recul de la diversité biologique, mais aussi est une source importante de pollution de l'air que respirent les ménages. Il ressort d'une analyse approfondie menée dans 158 pays sur le déboisement et l'accès des populations rurales à l'électricité que l'électrification rurale contribue pour beaucoup à faire reculer le déboisement car l'électricité remplace la biomasse¹⁰². Cela met à nouveau en évidence non seulement l'ampleur du défi ou les nombreux avantages de l'électrification rurale, mais aussi la forte augmentation de la demande d'électricité qui sera la conséquence inévitable du remplacement de la biomasse par l'électricité.

⁹⁵ WWF 2020.

⁹⁶ Ceballos *et al.* 2017.

⁹⁷ WWF 2020.

⁹⁸ Ceballos *et al.* 2017.

⁹⁹ Tschamtko *et al.* 2012.

¹⁰⁰ Schmeller *et al.* 2020.

¹⁰¹ Ceballos *et al.* 2015.

¹⁰² Tanner et Johnston 2017.

13.4.2. Laisser davantage d'espace à la nature

Pour satisfaire à cette demande d'énergie, il faudra pouvoir compter sur toutes les sources d'énergie bas carbone, mais du point de vue de la préservation de l'environnement, l'énergie nucléaire est la plus inoffensive. La valeur de conservation de l'électronucléaire tient essentiellement à sa très faible empreinte physique. Du fait de la densité énergétique particulière de leur combustible, les centrales nucléaires ont des empreintes physiques nettement plus faibles que celles de toutes les autres sources d'énergie bas carbone. De fait, une seule pastille d'uranium (pesant environ 10 g) contient une énergie équivalant à trois barils de pétrole (677 litres), à une tonne de charbon ou à 481 m² de gaz fossile¹⁰³. La densité énergétique des combustibles nucléaires et le facteur de capacité extrêmement élevé des réacteurs nucléaires (moyenne mondiale de 82,5 % en 2019, bon nombre de réacteurs dépassant 90 %) par rapport aux autres sources d'énergie (le photovoltaïque : 18 % en 2019, le vent de mer : 35 % en 2019, le vent de terre : 43,5 % en 2019, le charbon : 49 % en 2019, le gaz fossile : entre 29 et 63 % en 2018) signifient qu'un système énergétique axé sur le nucléaire nécessiterait nettement moins d'espace que tout système énergétique fortement – ou entièrement – tributaire d'énergies renouvelables intermittentes¹⁰⁴. Un réacteur nucléaire de taille moyenne (1 000 MWe) capable d'alimenter plus de 2 millions de foyers européens occupe un espace d'environ 3,4 km² et peut produire de l'électricité entre 90 et 95 % du temps. En revanche, une ferme solaire d'une capacité installée identique (1 000 MWe) occuperait 194 km², les fermes éoliennes équivalentes en occupant entre 673 et 963 km². Étant donné que les sources d'énergie renouvelables ne produisent de l'électricité qu'une partie du temps et qu'elles nécessitent l'installation de générateurs de secours, l'empreinte physique d'un système énergétique fortement ou entièrement tributaire d'énergies renouvelables intermittentes pourrait aggraver considérablement à la fois la dégradation de l'environnement et la perte d'habitats. Le fait que l'empreinte physique soit plus importante fait courir un risque d'empiétement sur le milieu naturel. De fait, il est établi que ces installations peuvent nuire aux espèces sauvages en termes de mortalité directe (par exemple traumatisme, piégeage, brûlure), de mortalité indirecte (par exemple

¹⁰³ <https://www.nei.org/fundamentals/nuclear-fuel>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹⁰⁴ Association nucléaire mondiale 2020 ; <https://www.energy.gov/ne/articles/what-generation-capacity>, page consultée le 1^{er} juillet 2021 ; <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-Trends>, page consultée le 1^{er} juillet 2021 ; Agence internationale de l'énergie 2020 ; <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹⁰⁵ <https://www.nei.org/news/2015/land-needs-for-wind-solar-dwarf-nuclear-plants>, page consultée le 1^{er} juillet 2021 ; Stevens 2017.

prédation due à la modification de l'habitat, compétition des espèces accrue) et de dégradation ou de perte de l'habitat¹⁰⁶. Dans son récent rapport intitulé « Net Zero by 2050 », l'AIE a souligné que, si l'on voulait atteindre les objectifs annoncés d'ici à 2050, il faudrait développer le solaire et l'éolien à un rythme sans précédent ; d'ici à 2030, quelque 630 GW de photovoltaïque et 390 GW d'éolien devraient être installés chaque année, soit quatre fois plus qu'en 2020¹⁰⁷. S'agissant du photovoltaïque, il faudrait installer chaque jour l'équivalent de la plus grande ferme solaire du monde. En juillet 2021, la plus grande ferme solaire mise en service – le Parc photovoltaïque de Bhadla dans l'État indien du Rajasthan – occupait environ 57 km¹⁰⁸. En d'autres termes, au cours des dix années à venir, il faudrait construire des fermes solaires d'une taille cumulée légèrement supérieure à la superficie du Bélarus, soit environ 208 000 km².

Les centrales nucléaires non seulement occupent beaucoup moins d'espace que toute autre source d'énergie à faibles émissions de carbone, mais aussi utilisent les matières requises d'une manière économe en ressources, ce qui est rendu possible en partie par la longévité des réacteurs (80 ans et plus¹⁰⁹) par rapport aux éoliennes (20 ans¹¹⁰) et aux panneaux solaires (entre 5 et 35 ans selon le type¹¹¹). La construction de toute infrastructure énergétique requiert inmanquablement des matériaux – qu'il s'agisse du béton ou d'une multitude de métaux et minerais différents –, lesquels ont une empreinte écologique dont il faut tenir compte. Les réacteurs nucléaires utilisent environ 10 fois moins de minerais critiques que le photovoltaïque et entre 10 et 15 fois moins que l'énergie éolienne¹¹². Le type de matières utilisées joue un rôle important s'agissant de déterminer les incidences potentielles sur l'environnement (et la santé). Les éoliennes et les panneaux solaires requièrent des quantités considérables de terres rares et de métaux lourds pour la plupart (90 %) produits en Chine¹¹³, et les opérations d'extraction de ces matières ont sur l'environnement et la santé publique des incidences négatives bien établies et considérables¹¹⁴.

¹⁰⁶ Chock *et al.* 2021.

¹⁰⁷ Agence internationale de l'énergie 2021a, b.

¹⁰⁸ <https://www.nsenenergybusiness.com/features/largest-solar-power-plants/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹⁰⁹ <https://www.energy.gov/ne/articles/whats-lifespan-nuclear-reactor-much-longer-you-might-think>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹¹⁰ Ziegler *et al.* 2018.

¹¹¹ <http://solarenergyforum.com/solar-panel-efficiency-lifespan/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹¹² Agence internationale de l'énergie (2021) et Agence internationale de l'énergie (2021).

¹¹³ Van Gosen *et al.* 2017.

¹¹⁴ Lee et Wen 2017 ; Arshi *et al.* 2018.

De plus, le développement sans précédent de la capacité électrique renouvelable qui serait nécessaire – et l'espace physique considérable qu'il faudrait prévoir – se heurte à un problème majeur et à un obstacle potentiel : l'acceptation par le public. Si, à l'échelon national, les sondages d'opinion constatent des niveaux d'appui élevés¹¹⁵, il en va souvent tout autrement à l'échelon local. Une opposition croissante se manifeste déjà parmi les communautés d'accueil potentielles, en ce qui concerne aussi bien l'accueil des installations renouvelables que l'infrastructure de transport de force qui sera immanquablement requise. Cette opposition locale découle souvent de l'impact visuel (perçu ou avéré), d'une répartition inéquitable des coûts et des avantages et de craintes liées aux effets néfastes sur l'économie locale, aux impacts sur les espèces sauvages ou à des problèmes soulevés par l'empreinte du développement de la capacité en question (utilisation des terres)¹¹⁶.

L'un des principes fondamentaux dont le respect doit assurer une transition énergétique équitable consiste à préserver l'autodétermination des communautés locales, en garantissant que seules les communautés consentantes puissent accueillir une infrastructure énergétique. L'ampleur même du développement de la capacité électrique renouvelable requis et le fait que le public manifeste de plus en plus son opposition sont des questions qu'il conviendra de prendre en considération au moment d'élaborer les futures politiques énergétiques. L'intégration d'une composante nucléaire non négligeable dans tout futur système énergétique limiterait sensiblement l'impact de l'infrastructure énergétique sur les communautés locales. Le facteur principal est la densité énergétique, les centrales nucléaires étant capables de produire des quantités très importantes d'électricité avec une empreinte écologique d'un ordre de grandeur similaire ou inférieur à celui de toutes les autres sources d'énergie à faibles émissions de carbone.

13.5. GARANTIR UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ÉQUITABLE

Il est indispensable que la transition vers des systèmes d'énergie propre se fasse d'une manière à ne pas faire de laissés-pour-compte, que ce soit aux niveaux des individus, d'un secteur ou d'un pays. D'ailleurs, la mise en place d'une solide infrastructure énergétique est essentielle pour donner aux pays le moyen non pas simplement de subsister, mais de prospérer. La transition énergétique est une belle occasion de créer de la richesse et d'apporter la prospérité à tous

¹¹⁵ Tyson *et al.* 2021 ; Ministère des entreprises, de l'énergie et de la stratégie industrielle 2021 ; https://ec.europa.eu/clima/citizens/support_fr, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹¹⁶ Gross 2020 ; Goyal *et al.* 2021 ; O'Neil 2021 ; <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/fighting-windmills-when-growth-hits-resistance>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

les habitants de la planète, mais les dirigeants devront faire preuve d'initiative et cultiver une mentalité d'abondance pour tirer le meilleur parti possible de cette occasion. L'énergie nucléaire a un rôle central à jouer pour assurer une transition énergétique équitable et il est essentiel qu'aucune contrainte injustifiée – d'ordre politique, législatif, financier ou autre – ne soit imposée, en matière d'expansion de la technologie nucléaire, aux pays à revenu faible ou intermédiaire qui souhaitent intégrer cette technologie dans leur bouquet énergétique.

13.5.1. L'énergie nucléaire au service du renforcement de l'indépendance énergétique

Étant donné que l'énergie et l'électricité revêtent un caractère essentiel pour tous les aspects de la vie moderne, les gouvernements devraient s'employer en priorité à garantir des approvisionnements stables et résilients face aux pressions externes. De fait, de nombreux témoignages tirés de l'histoire prouvent que les États instrumentalisent l'énergie à des fins politiques (comme dans le cas de la crise pétrolière de 1973) pour maintenir, utiliser et étendre leurs sphères d'influence¹¹⁷. Cette instrumentalisation peut avoir, et a eu, de vastes conséquences politiques, socioéconomiques et humanitaires. Lors de la transition vers des systèmes d'énergie propre, il est essentiel que ces nouveaux systèmes favorisent la stabilité sociale, économique et politique, et assurent un degré élevé d'indépendance et de résilience nationales. Un bouquet énergétique diversifié qui intègre l'énergie nucléaire contribue à garantir l'autonomie énergétique.

L'énergie nucléaire n'utilise pas de grandes quantités de matières premières stratégiques, et son combustible, l'uranium, est présent dans de nombreuses parties du monde¹¹⁸. De plus, les possibilités offertes par le raffinage de l'uranium naturel présent dans l'eau de mer¹¹⁹ ou l'utilisation comme combustible du thorium, qui est abondant¹²⁰, sont à l'étude. Non seulement l'uranium est un élément relativement abondant (48^e élément le plus répandu sur Terre, il est environ 1 000 fois plus répandu que l'or), mais on en trouve dans un grand nombre de pays. Du fait de l'omniprésence des gisements de combustible nucléaire – à la différence du gaz fossile et des terres rares, que l'on ne trouve que dans un petit nombre de pays –, les risques géopolitiques concernant la chaîne

¹¹⁷ Direction générale des politiques externes de l'Union (Parlement européen) 2018.

¹¹⁸ <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹¹⁹ <https://www.scientificamerican.com/article/uranium-extraction-from-seawater-takes-a-major-step-forward/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹²⁰ <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

d’approvisionnement en combustible nucléaire sont beaucoup plus faibles que dans le cas des systèmes énergétiques tributaires de gaz fossile¹²¹ ou de sources d’énergie renouvelables¹²². Le coût de l’uranium a toujours été faible, ce qui tient en partie à sa relative abondance et en partie au petit nombre d’utilisations concurrentes de ce métal. De surcroît, le coût de l’électricité nucléaire ne varie guère en fonction du prix de l’uranium (le doublement de ce prix entraînerait une augmentation de 10 % de celui de l’électricité¹²³).

13.5.2. Réduire les retombées négatives pour les générations futures

Tout processus industriel génère inmanquablement des déchets sous une forme ou sous une autre. À n’en point douter, certains des plus grands défis que l’humanité doit relever, comme celui du changement climatique, trouvent leur origine dans des défaillances dans la gestion des déchets. Pour garantir une transition énergétique propre et équitable, il est impératif d’en réduire au minimum l’empreinte négative, pour ce qui est à la fois de la quantité des déchets et de leur durée de vie. Cette approche intégrée est essentielle pour faire en sorte que des politiques pouvant être axées sur le court terme et le règlement de problèmes immédiats ne créent pas de problèmes potentiellement plus graves aux générations futures. De toutes les sources d’énergie bas carbone, l’électronucléaire est le seul secteur qui se soit depuis ses débuts employé à gérer ses flux de déchets tout au long de leur cycle de vie et à internaliser les coûts de cette gestion dans le prix de l’électricité nucléaire. Les centrales nucléaires sont parmi celles qui ont les plus faibles besoins en matières premières par unité d’électricité produite, d’où la plus faible empreinte des déchets. Un réacteur nucléaire de taille moyenne (1 000 MWe) rejette chaque année environ entre 25 et 30 tonnes de combustible nucléaire usé¹²⁴, et depuis que le premier réacteur est entré en service à la fin des années 1950, l’ensemble du secteur aurait rejeté 400 000 tonnes de combustible usé, 30 % environ de ces matières ayant été recyclés en vue de leur réutilisation dans des réacteurs¹²⁵. Une centrale au charbon de taille équivalente génère en moyenne 275 000 tonnes de cendres toxiques par an (contenant, entre autres, du mercure, de l’arsenic et du béryllium), sans compter plus de 3 tonnes de dioxyde de carbone. De

¹²¹ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-security.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹²² Habib *et al.* 2016 ; Stegen 2015.

¹²³ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹²⁴ <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-wastes-myths-and-realities.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹²⁵ AIEA 2020.

même, selon des estimations, d'ici à 2050, entre 60 et 78 millions de tonnes de déchets électroniques auront été produits par l'utilisation du photovoltaïque¹²⁶ ; l'analyse donne à entendre que le chiffre véritable pourrait être beaucoup plus élevé du fait du remplacement prématuré des panneaux solaires¹²⁷. Les déchets photovoltaïques contiennent souvent des matières toxiques comme le cadmium, l'antimoine et le plomb, et le verre dont la plus grande partie du panneau est constituée est rarement recyclable en raison d'impuretés, ce qui veut dire que les panneaux finissent souvent dans des décharges ou sont exportés vers des pays à revenu faible ou intermédiaire en tant que déchets électroniques. Si les panneaux se brisent, des matières toxiques peuvent être rejetées dans l'environnement local, ce qui pourrait avoir des effets délétères sur la santé¹²⁸. En revanche, la plupart des déchets nucléaires sont recyclables, y compris le combustible utilisé. Le recyclage des matières nucléaires est couramment pratiqué dans l'industrie nucléaire et des efforts importants sont actuellement déployés pour réduire encore ce qui est déjà la faible empreinte des déchets. Dans ce domaine, il s'agit avant tout de mettre à l'étude et de commercialiser ce que l'on appelle des « réacteurs incinérateurs », qui peuvent fonctionner à l'aide du combustible utilisé provenant de la flotte de réacteurs nucléaires actuelle, réduisant ainsi la quantité globale de déchets nucléaires de 97 %.

Sa faible empreinte des déchets et une utilisation efficace des ressources naturelles font de l'électronucléaire un outil intégré au service d'une transition énergétique équitable. De fait, la gestion des déchets nucléaires civils répond aux normes les plus strictes et n'a causé aucun préjudice à la population ou à l'environnement. Avec la construction de dépôts de déchets en cours, l'industrie nucléaire peut démontrer que des solutions de gestion à long terme sont facilement disponibles.

13.5.3. Une transition abordable et créatrice de valeurs grâce à l'énergie nucléaire

La question de la rentabilité doit être prise en compte pour assurer une transition énergétique équitable. Les systèmes énergétiques de l'avenir devront avoir été conçus de manière à optimiser l'utilisation des ressources – financières, humaines et matérielles – disponibles pour fournir 24 heures sur 24 une énergie

¹²⁶ Agence internationale pour les énergies renouvelables et programme de l'Agence internationale de l'énergie sur les systèmes de production d'électricité photovoltaïque 2016.

¹²⁷ <https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹²⁸ <https://www.discovermagazine.com/environment/solar-panel-waste-the-dark-side-of-clean-energy>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

fiable, abordable et propre à tous les secteurs de l'économie. Toute solution doit véritablement offrir de bons résultats en contrepartie des ressources utilisées, être durable et avoir des retombées socioéconomiques pour les économies locale, nationale et régionale¹²⁹. Par exemple, il ressort d'études réalisées par l'AIE, l'Energy Initiative du MIT, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE et d'autres entités que si l'on obtient les mêmes faibles émissions de carbone en augmentant la part de l'énergie nucléaire dans la production, le coût total de l'électricité pour le consommateur final ou le contribuable est inférieur à celui d'un bouquet énergétique reposant pour une grande part sur des sources d'énergie renouvelables intermittentes¹³⁰.

Le secteur des sources d'énergie à faibles émissions de carbone, et l'énergie nucléaire en particulier, peut jouer un rôle majeur s'agissant de créer des emplois et de conduire les efforts visant à construire un avenir plus durable et résilient. Il est avéré que l'investissement dans le secteur nucléaire contribue à un développement économique socialement durable et équitable, tout en aidant à créer des filières énergétiques modernes fiables et bas carbone qui permettent de faire face aux variations climatiques ou aux chocs géopolitiques et économiques futurs. L'histoire montre que le développement de l'électronucléaire a joué un rôle de catalyseur de la croissance industrielle et économique et de la prospérité à travers le monde. Des pays aux ressources énergétiques nationales limitées comme la France, le Japon et la République de Corée sont d'excellents exemples de la manière dont l'énergie nucléaire assure une croissance généralisée en même temps que l'indépendance énergétique, la sécurité de l'approvisionnement et la résilience face aux chocs géopolitiques.

L'énergie nucléaire génère un grand nombre d'emplois hautement qualifiés, très bien rémunérés et principalement locaux sur une longue période de temps, souvent comprise entre 80 et 100 ans, en tenant compte de la construction, de l'exploitation et du déclassement. Le placement de l'énergie nucléaire au cœur d'une stratégie industrielle moderne fournira un appui au renforcement des compétences, à la recherche-développement et au commerce et à l'investissement. Une analyse de l'industrie nucléaire européenne a permis de constater que chaque emploi direct créé par celle-ci donne du travail à 3,2 autres personnes¹³¹. Selon une estimation, chaque euro dépensé dans l'industrie nucléaire européenne crée 4 euros supplémentaires dans l'économie européenne¹³². De même, chaque

¹²⁹ Batini *et al.* 2021.

¹³⁰ Energy Initiative du MIT 2018 ; OCDE/AEN 2012, 2019 ; Agence internationale de l'énergie 2019 ; Zappa *et al.* 2019.

¹³¹ <https://www.foratom.org/downloads/nuclear-energy-powering-the-economy-full-study/?wpdmml=42758&refresh=5f61d7fee0ce71600247806>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹³² *Ibid.*

dollar dépensé par une centrale nucléaire américaine dans l'année crée 4 dollars supplémentaires pour l'économie locale¹³³. D'où l'on voit que les investissements dans l'industrie nucléaire non seulement fournissent une source d'électricité fiable et abordable, mais aussi procurent des avantages socioéconomiques considérables, renforçant l'importance et l'intérêt de placer les projets électronucléaires au cœur de toute politique de transition énergétique équitable.

13.6. CONCLUSION

La pandémie de coronavirus qui s'est abattue sur le monde a de bien des façons mis en évidence les profondes inégalités qui existent entre les pays et en leur sein. Elle a également montré les remarquables résultats qu'il est possible d'obtenir lorsque l'humanité conjugue ses efforts pour régler une situation d'urgence. La mise au point d'un vaccin sûr et efficace contre la COVID-19 en moins d'un an est un exemple caractéristique, compte particulièrement tenu du fait que le précédent record en matière de mise au point d'un vaccin était de plus de quatre ans¹³⁴. Après des décennies pendant lesquelles le changement climatique n'ont fait l'objet pour l'essentiel que de grands discours, il s'impose de faire preuve de la même diligence pour mener des actions robustes afin d'en conjurer les pires effets.

Toutefois, le discours politique moderne concernant la transition vers une énergie propre et, plus généralement, le développement économique se caractérise par une pensée à somme nulle, qui postule que les populations des pays à revenu élevé doivent accepter de réduire leur train de vie pour permettre aux pays à revenu faible ou intermédiaire de devenir plus dynamiques, tout en limitant le niveau de développement que ces pays puissent espérer atteindre. C'est là une philosophie antihumanitaire qui nuira aux sérieux efforts entrepris pour réaliser les objectifs de décarbonation et ne fera qu'enraciner les inégalités dont le monde est déjà fait. Il est concevable que les pays les plus riches du monde connaissent une profonde transformation comportementale et consentent à adopter des modes de vie moins énergivores, mais il est hautement improbable qu'il en aille de même dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, qui abritent plus de 85 % de la population mondiale¹³⁵.

Ces pays ont besoin d'une énergie plus fiable et disponible 24 heures sur 24 pour garantir un niveau de vie plus élevé à leur population, et ils sont en

¹³³ Institut de l'énergie nucléaire 2012.

¹³⁴ <https://www.nationalgeographic.com/science/article/why-coronavirus-vaccine-could-take-way-longer-than-a-year>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

¹³⁵ <https://www.gapminder.org/fw/income-mountains/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

droit d'aspirer aux mêmes modes de vie dynamiques que ceux dont les pays à revenu élevé jouissent depuis plusieurs générations. La question principale qui se pose ici est de savoir si ces pays à revenu faible ou intermédiaire emprunteront la même voie à forte incidence d'émissions de carbone et de pollution que d'autres pays ont suivie dans le passé ou s'ils auront accès aux compétences, aux moyens de financement et aux technologies qui leur permettraient de sauter des étapes pour passer directement à une filière énergétique qui soit abordable, bas carbone et fiable.

Les technologies nucléaires présentent un immense potentiel pour ce qui est de modifier radicalement les perspectives de vie à travers le monde, qu'il s'agisse de fournir une électricité abondante, durable et fiable ou de combattre la faim et les maladies à l'aide de divers radio-isotopes. L'électronucléaire fournit une occasion inespérée d'adopter une fois pour toutes un état d'esprit d'abondance ; c'est la seule technologie qui ait prouvé qu'elle peut non seulement parvenir à une décarbonation profonde à la vitesse requise, mais aussi fournir de vastes quantités d'énergie aux populations du monde. L'électronucléaire a rompu le lien entre la croissance économique et l'augmentation des émissions, en montrant qu'il est possible de décarboner les systèmes électriques des pays avancés dans les délais nécessaires pour conjurer les pires effets du changement climatique tout en permettant des modes de vie dynamiques mais durables.

L'aphorisme de George Santayana selon lequel « ceux qui ne peuvent pas se souvenir du passé sont condamnés à le répéter¹³⁶ » peut utilement s'appliquer à la transition énergétique dans laquelle l'humanité s'est lancée. Il est clair que les communautés du monde entier doivent cesser d'être dépendantes des combustibles fossiles et que l'accès à une électricité plus abondante et à une meilleure qualité de vie prévaudra sur les préoccupations liées aux émissions de gaz à effet de serre. L'électronucléaire supprime la nécessité d'un tel arbitrage. Dans une première étape cruciale, il appartient aux décideurs à tous les niveaux – local, national ou international – d'oser remettre en question les idées préconçues sur les technologies nucléaires et de se déclarer en faveur de l'exploitation des possibilités qu'elles offrent. Du fait des séquelles des émissions passées, un rôle tout aussi important revient aux dirigeants des pays à revenu élevé, qui se doivent d'aider les pays à revenu faible ou intermédiaire à éviter la phase de développement reposant sur les combustibles fossiles. Ils peuvent le faire en invitant les banques multilatérales à appuyer toutes les technologies bas carbone, notamment l'électronucléaire, et en favorisant la coopération technique et le transfert de connaissances. Si tel est le cas, la tâche cruciale d'édifier à travers le monde des sociétés véritablement équitables, durables et désirables de s'élever s'en trouvera considérablement simplifiée.

¹³⁶ Santayana 1905.

RÉFÉRENCES

- American Cancer Society (2014) The History of Cancer <https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/6055.00.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- American Cancer Society (2020) Lifetime Risk of Developing or Dying From Cancer. <https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/509.00.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Arshi P S, Vahidi E, Zhao F (2018) Behind the Scenes of Clean Energy: The Environmental Footprint of Rare Earth Products. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 6:3311–3320.
- Avrin A-P, He G, Kammen D M (2015) Assessing the impacts of nuclear desalination and geoengineering to address China's water shortages. *Desalination* 360:1–7.
- Avrin A-P, He G, Kammen D M (2018) Chapter 7—Relevance of Nuclear Desalination as an Alternative to Water Transfer Geoengineering Projects: Example of China. In: *Renewable Energy Powered Desalination Handbook*. Butterworth-Heinemann, Oxford, pp 265–286.
- Baek J and Pride D (2014) On the income–nuclear energy–CO2 emissions nexus revisited. *Energy Economics* 43:6–10.
- Batini N, Di Serio M, Fragetta M, Melina G, Waldron A (2021) Building Back Better: How Big Are Green Spending Multipliers? <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2021/English/wp2021087-print-pdf.ashx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Belessiotis V, Papanicolaou E, Delyannis E (2010) Nuclear desalination: A review on past and present. *Desalination and Water Treatment* 20:45–50.
- Boretti A, Rosa L (2019) Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water* 2.
- Bourguignon F, Morrisson C (2002) Inequality among World Citizens: 1820–1992. *The American Economic Review* 92:727–744.
- Bouyer J, Culbert N J, Dicko A H, Gomez Pacheco M, Virginio J, Pedrosa M C, Garziera L, Macedo Pinto A T, Klaptocz A, Germann J, Wallner T, Salvador-Herranz R, Argiles Herrero R, Yamada H, Balestrino F, Vreysen M J B (2020) Field performance of sterile male mosquitoes released from an uncrewed aerial vehicle. *Science Robotics* 5
- BP(2020)BP Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Brook B W (2012) Could nuclear fission energy, etc., solve the greenhouse problem? The affirmative case. *Energy Policy* 42:4–8.
- Candelise C, Saccone D, Vallino E (2021) An empirical assessment of the effects of electricity access on food security. *World Development* 141.
- Cao J, Cohen A, Hansen J, Lester R, Peterson P, Xu H (2016) China-U.S. cooperation to advance nuclear power. *Science* 353:547–548.
- Ceballos G and Ehrlich P R (2018) The misunderstood sixth mass extinction. *Science* 360:1080–1081.

- Ceballos G, Ehrlich P R, Barnosky A D, García A, Pringle R M, Palmer T M (2015) Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>.
- Ceballos G, Ehrlich P R, Dirzo R (2017) Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114:6089–6096.
- Chock R Y, Clucas B, Peterson E K, Blackwell B F, Blumstein D T, Church K, Fernández-Juricic E, Francescoli G, Greggor A L, Kemp P, Pinho G M, Sanzenbacher P M, Schulte B A, Toni P (2021) Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective. *Conservation Science and Practice* 3:319–328.
- Clack C T M, Qvist S A, Apt J, Bazilian M, Brandt A R, Caldeira K, David S J, Diakov V, Handschy M A, *et al.* (2017) Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with 100% wind, water, and solar. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114:6722–6727.
- Cohen A J, Brauer M, Burnett R, Anderson H R, Frostad J, Estep K, Balakrishnan K, Brunekreef B, *et al.* (2017) Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* 389 10082:1907–1918.
- Csik B. J., Kupitz J. (1997) Applications de l'énergie nucléaire : chauffage domestique et production de chaleur industrielle. *Bulletin de l'AIEA* 39-2, p. 21 à 25.
- Darre N C, Toor G S (2018) Desalination of Water: a Review. *Current Pollution Reports* 4:104–111.
- Deloitte (2019) Economic and Social Impact Report FORATOM. <https://www.foratom.org/downloads/nuclear-energy-powering-the-economy-full-study/?wpdmml=42758&refresh=5f61d7fee0ce71600247806>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Department for Business, Energy, and Industrial Strategy (2021) BEIS Public Attitudes Tracker (March 2021, Wave 37, UK) https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/985092/BEIS_PAT_W37_-_Key_Findings.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Devanney J (2021) Why Nuclear Power has been a Flop. The CTX Press, Stevenson, WA.
- Dinkelman T (2011) The Effects of Rural Electrification on Employment: New Evidence from South Africa. *American Economic Review* 101:3078–3108.
- Directorate-General for External Policies of the Union (European Parliament) (2018) Energy as a tool of foreign policy of authoritarian states, in particular Russia. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1c80b8c6-58b6-11e8-ab41-01aa75ed71a1/language-en>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Dirzo R, Young H S, Galetti M, Caballos G, Isaac N J B, Collen B (2014) Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345:401–406.
- Ember (2020) Global Electricity Review. Ember, London. <https://ember-climate.org/app/uploads/2022/02/Ember-2020GlobalElectricityReview-Web.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Enkerlin W R (2005) Impact of Fruit Fly Control Programmes Using the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A (eds) *Sterile Insect Technique*, Springer, Dordrecht, pp 651–676.

- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (2017), L'avenir de l'alimentation et de l'agriculture – Tendances et défis. <https://www.fao.org/3/I6881F/i6881f.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Fonds international de développement agricole, UNICEF, Programme alimentaire mondial (PAM). Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2021), L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2021 – Transformer les systèmes alimentaires pour que la sécurité alimentaire, une meilleure nutrition et une alimentation saine et abordable soient une réalité pour tous. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1760_web.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Goyal R, Marsh K, McKee N, Welch M (2021) Opposition to Renewable Energy Facilities in the United States. <https://climate.law.columbia.edu/sites/default/files/content/RELDI%20r%20eport%20updated%209.10.21.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Gross S (2020) Renewables, Land Use, and Local Opposition. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/01/FP_20200113_renewables_land_use_local_opposition_gross.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Habib K, Hamelin L, Wenzel H (2016) A dynamic perspective of the geopolitical supply risk of metals. *Journal of Cleaner Production* 133:850–858.
- Heard B, Brook B, Wigley T, Bradshaw C (2017) Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76:1122–1133.
- Higgs S (2018) It Is Official: Vector-Borne and Zoonotic Diseases in the United States and Territories on the Rise—Now What? *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 18:285.
- Hong S, Bradshaw C J A, Brook B W (2015) Global zero-carbon energy pathways using viable mixes of nuclear and renewables. *Applied Energy* 143:451–459.
- Ingersoll D, Houghton Z, Bromm R, Desportes C (2014a) NuScale small modular reactor for Co-generation of electricity and water. *Desalination* 340:84–93
- Ingersoll D, Houghton Z, Bromm R, Desportes C (2014b) Integration of NuScale SMR With Desalination Technologies. In: *Proceedings of the ASME 2014 Small Modular Reactors Symposium*. ASME 2014 Small Modular Reactors Symposium, Washington, DC.
- Ingersoll E, Gogan K (2020) *Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals*. LucidCatalyst, London & Cambridge, MA.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2019) Summary for policymakers—Global Assessment. https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_en.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Agency for Research on Cancer (2020) World Cancer Report: Cancer research for cancer prevention. Wild C P, Weiderpass E, Stewart B W (eds). <https://shop.iarc.fr/products/world-cancer-report-cancer-research-for-cancer-prevention-pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) *Use of Radiotracers to Study Surface Water Processes*. IAEA, Vienna.

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Climate Change and Nuclear Power 2018. IAEA, Vienna.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020), Rapport d'ensemble sur la technologie nucléaire. https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc64-inf2_fr.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Energy Agency (2019) Nuclear Power in a Clean Energy System. <https://www.iaea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Energy Agency (2020) Coal 2020 Analysis and forecast to 2025. https://iea.blob.core.windows.net/assets/00abf3d2-4599-4353-977c-8f80e9085420/Coal_2020.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Energy Agency (2021) Electricity Market Report. <https://www.iaea.org/reports/electricity-market-report-july-2021>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Energy Agency (2021) Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. <https://www.iaea.org/reports/net-zero-by-2050>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- International Energy Agency (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA: Paris. World Nuclear Association (2021). Mineral Requirements for Electricity Generation. Consulté à l'adresse <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/mineral-requirements-for-electricity-generation.aspx>, page consultée le 30 novembre 2021.
- International Renewable Energy Agency, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems (2016) End-of-life management: solar photovoltaic panels. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018) Summary for Policymakers. In: MassonDelmotte V, Zhai P, Pörtner H, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews J, Chen Y, Zhou X, Gomis M, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- IPPC Secretariat (2021) Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. FAO on behalf of the IPPC Secretariat, Rome.
- Jaffray D A, Gospodarowicz M K (2015) Radiation Therapy for Cancer. In: H. Gelband H, Jha P, Sankaranarayanan R, Horton S (eds) Cancer: Disease Control Priorities, 3rd edn, Vol 3. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington DC.
- Jarvis S, Deschenes O, Jha A (2019) The Private and External Costs of Germany's Nuclear Phase-Out (Working Paper 26598). National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Jasserand F, Devezeaux de Lavergne J-G (2016) Initial economic appraisal of nuclear district heating in France. EPJ Nuclear Sciences & Technologies 2.

- Jiang Y (2009) China's water scarcity. *Journal of Environmental Management* 90:3185–3196.
- Jiménez Cisneros B E, Oki T, Arnell N W, Benito G, Cogley J G, Doll P, Jiang T, Mwakalila S S (2014) Freshwater resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 229–269.
- Jones E, Qadir M, van Vliet M T, Smakhtin V, Kang S-M (2019) The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment* 657:1343–1356.
- Karekezi S, McDade S, Boardman B, Kimani J, Lustig N (2012) Energy, Poverty, and Development. In: *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 151–190.
- Khandker S R, Samad H A, Ali R, Barnes D F (2014) Who Benefits Most from Rural Electrification? Evidence in India. *The Energy Journal* 35:75–96.
- Kharecha P A, Hansen J E (2013) Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power. *Environmental Science and Technology* 47:4889–4895.
- Klassen W (2009) Introduction: development of the sterile insect technique for African malaria vectors. *Malaria Journal* 8.
- Klassen W, Curtis C F, Hendrichs J (2021) History of the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A S (eds) *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*, 2nd edn. Boca Raton, FL, pp 1–44.
- Klassen W, Vreysen M J B (2021) Area-Wide Integrated Pest Management and the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A S (eds) *Sterile Insect Technique*. CRC Press, Boca Raton, pp 75–112.
- Lee J C K, Wen Z (2017) Rare Earths from Mines to Metals: Comparing Environmental Impacts from China's Main Production Pathways. *Journal of Industrial Ecology* 21:1277–1290.
- Liddle B, Sadorsky P (2017) How much does increasing non-fossil fuels in electricity generation reduce carbon dioxide emissions? *Applied Energy* 197:212–221.
- Lindberg J C H (2017) Sweden's silent phaseout. *Nuclear Engineering International* 62:12–14
- Lindberg J C H (in press) Building an atomic future: The role for nuclear power in addressing major humanitarian challenges in the 21st century. *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*.
- Mark H E, Dias da Costa G, Pagliari C, Unger S A (2020) Malnutrition: the silent pandemic. *BMJ* 371.
- Mekonnen M M, Hoekstra A Y (2016) Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2.
- MIT Energy Initiative (2018) *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-constrained World: An Interdisciplinary MIT Study*. <https://energy.mit.edu/research/future-nuclear-energy-carbon-constrained-world/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Niu S, Jia Y, Wang W, He R, Hu L, Liu Y (2013) Electricity consumption and human development level: A comparative analysis based on panel data for 50 countries. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 53:338–347.

- Nuclear Energy Institute (2012) Nuclear Energy's Economic Benefits — Current and Future. <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/may2/docs/nei-apr12.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- O'Neil S G (2021) Community obstacles to large scale solar: NIMBY and renewables. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 11:85–92.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2012) The Role of Nuclear Energy in a Low-carbon Energy Future. https://www.oecdnea.org/jcms/pl_14562/the-role-of-nuclear-energy-in-a-low-carbon-energy-future?details=true, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2019) The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15000/the-costs-of-decarbonisation-system-costswith-high-shares-of-nuclear-and-renewables, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Qvist S A, Brook B W (2015) Potential for Worldwide Displacement of Fossil-Fuel Electricity by Nuclear Energy in Three Decades Based on Extrapolation of Regional Deployment Data. *PLoS ONE* 10.
- Qvist S, Gladysz P, Bartela L, Sowiczal A (2021) Retrofit Decarbonization of Coal Power Plants — A Case Study for Poland. *Energies* 14.
- Rao N D, Pachauri S (2017) Energy access and living standards: some observations on recent trends. *Environmental Research Letters* 12.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. (2009) A safe operating space for humanity. *Nature* 461:472-475.
- Rogelj J, Shindell D, Jiang K, Fifita S, Forster P, Ginzburg V, Handa C, Khesghi H, Kobayashi S, Kriegler E, Mundaca L, Séférian R, Vilariño M V (2018) Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews J, Chen Y, Zhou X, Gomis M, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways.* World Meteorological Organisation, Geneva, pp 93–174.
- Rosling H, Rosling O, Rosling Rönnlund A (2018) *Factfulness*. Sceptre, London.
- Royal Society (2020) Nuclear cogeneration: civil nuclear energy in a low-carbon future policy briefing. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/nuclear-cogeneration/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Santayana G (1905) *The Life of Reason; or the Phases of Human Progress*. Charles Scribner's Sons, New York.

- Schlömer S, Bruckner T, Fulton L, Hertwich E, McKinnon A, Perczyk D, Roy J, Schaeffer R, Sims R, Smith P, Wiser R (2014) Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx J (eds) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 1329–1356.
- Schmeller D S, Courchamp F, Killeen G (2020) Biodiversity loss, emerging pathogens and human health risks. *Biodiversity and Conservation* 29:3095–3102.
- Smittenaar C R, Petersen K A, Stewart K, Moitt N (2016) Cancer incidence and mortality projections in the UK until 2035. *British Journal of Cancer* 115:1147–1155.
- Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell S E, Fetzer I, Bennett E M, Biggs R, Carpenter S R, de Vries W, de Wit C A, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace G M, *et al.* (2015) Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347.
- Stegen K S (2015) Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: An imminent crisis. *Energy Policy* 79:1–8.
- Stevens L (2017) The Footprint of Energy: Land Use of U.S. Electricity Production. <https://docs.wind-watch.org/US-footprints-Strata-2017.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Tanner A M, Johnston A L (2017) The Impact of Rural Electric Access on Deforestation Rates. *World Development* 94:174–185.
- Thayer D W (1993) Extending Shelf Life of Poultry and Red Meat by Irradiation Processing. *Journal of Food Protection* 56:831–833.
- Tscharntke T, Clough Y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A (2012) Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151:53–59.
- Tyson A, Kennedy B, Funk C (2021) Gen Z, Millennials Stand Out for Climate Change Activism, Social Media Engagement With Issue. https://www.pewresearch.org/science/wp-content/uploads/sites/16/2021/05/PS_2021.05.26_climate-and-generations_REPORT.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2020) Responsible consumption. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22747/12_Responsible%20consumption%20and%20production_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y, page consultée le 12 juin 2021.
- UNICEF (2021) Reimagining WASH—Water security for all. United Nations Children’s Fund (UNICEF), New York. <https://www.unicef.org/media/95241/file/water-security-for-all.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Organisation des Nations Unies (ONU) (2021), Point sur les objectifs de développement durable. E/2021/58. <https://digitallibrary.un.org/record/3930067?ln=fr>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2021) Use of Nuclear Fuel Resources for Sustainable Development – Entry Pathways. https://unece.org/sites/default/files/2021-03/UNECE%20Use%20of%20nuclear%20fuel%20resources%20for%20sustainable%20development_%20Final_0.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

- United Nations Water (UN-Water) (2021) Summary Progress Update 2021: SDG 6—water and sanitation for all. <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Van Gosen B S, Verplanck P L, Seal II R R, Long K R, Gambogi J (2017) Rare-earth elements. In: Schulz K J, DeYoung Jr J H, Seal II R R, Bradley D C (eds) *Critical Mineral Resources of the United States — Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, Reston, pp 539–571.
- Värri K, Syri S (2019) The Possible Role of Modular Nuclear Reactors in District Heating: Case Helsinki Region. *Energies* 12.
- Verma J, Gautam S (2015) Food irradiation and its role in shelf life extension of horticulture produce: a comprehensive evaluation of studies carried out in India and abroad. In: *Proceedings of the DAE-BRNS life sciences symposium on advances in microbiology of food, agriculture, health and environment*. Bio-Science Group, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai.
- Vohra K, Vodonos A, Schwartz J, Marais E A, Sulprizio M P, Mickley L J (2021) Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOSChem. *Environmental Research* 195.
- Willcox M, Waters L, Wanjiru H, Pueyo A, Hanna R, Palit D, Sharma K R (2015) Utilising Electricity Access for Poverty Reduction. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08975e5274a27b20000b5/61290-Electricity_Access_for_Poverty_Reduction_MainReport.pdf, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Winther T, Matinga M N, K. Ulsrud K, Standal K (2017) Women’s empowerment through electricity access: scoping study and proposal for a framework of analysis. *Journal of Development Effectiveness* 9:389–417.
- World Health Organization (WHO), International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) Guidance Framework for Testing the Sterile Insect Technique as a Vector Control Tool against Aedes Borne Diseases. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331679/9789240002371-eng.pdf?ua=1>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- World Health Organization (WHO) (1994) Safety and nutritional adequacy of irradiated food. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39463/9241561629-eng.pdf?sequence=4&isAllowed=y>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- World Health Organization (WHO) (2018) Latest global cancer data: Cancer burden rises to 18.1 million new cases and 9.6 million cancer deaths in 2018. <https://www.who.int/cancer/PRGlob%20canFinal.pdf>. Page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS), Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture (FAO) (1988), L’irradiation des produits alimentaires : une technique pour conserver et améliorer la salubrité des aliments. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40886/9242542407_fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- World Nuclear Association (2019) The Silent Giant: The need for nuclear in a clean energy system. <https://www.world-nuclear.org/getattachment/Our-Association/Publications/Position-statements/the-silent-giant/the-silent-giant.pdf.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.

- World Nuclear Association (2020) World Nuclear Performance Report 2020. <https://www.world-nuclear.org/getmedia/3418bf4a-5891-4ba1-b6c2-d83d8907264d/performance-report-2020-v1.pdf.aspx>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- World Nuclear Association (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA: Paris. World Nuclear Association (2021). Mineral Requirements for Electricity Generation. Consulté à l'adresse <https://worldnuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/mineral-requirements-for-electricity-generation.aspx>, page consultée le 30 novembre 2021.
- WWF (2020) Living Planet Report 2020 Bending the curve of biodiversity loss. <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf>, page consultée le 1^{er} juillet 2021.
- Zappa W, Junginger M, van den Broek M (2019) Is a 100% renewable European power system feasible by 2050? *Applied Energy* 233–234:1027–1050.
- Ziegler L, Gonzalez E, Rubert T, Smolka U, Melero J J (2018) Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82:1261–1271.
- Ziolkowska J R (2015) Is Desalination Affordable?—Regional Cost and Price Analysis. *Water Resources Management* 29:1385–1397.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

14. PAYS PRIMO-ACCÉDANTS : LA VOIE SUIVIE PAR LES ÉMIRATS ARABES UNIS

Hamad AlKaabi

Résumé Pour devenir réalité, un programme électronucléaire requiert des décisions politiques et des engagements pris au plus haut niveau, des efforts de planification considérables, d'importants investissements financiers, la prise en compte d'aspects commerciaux et de la durabilité de la sûreté, ainsi qu'un cadre international et juridique adéquat. Les décisions que les pouvoirs publics sont amenés à prendre pour intégrer l'énergie nucléaire dans le bouquet énergétique national soulèvent de nombreuses difficultés. Le présent chapitre donne un coup de projecteur sur l'expérience et les réalisations des Émirats arabes unis (ÉAU) en matière d'élaboration et de réglementation de leur programme électronucléaire. Il retrace en particulier les étapes du parcours des ÉAU, ce qui pourrait intéresser les pays primo-accédants et la communauté internationale en général. Il décrit l'élaboration de la législation nucléaire globale nationale et du cadre réglementaire applicable aux activités nucléaires, dont la « politique nucléaire » a donné le coup d'envoi. Il donne également une vue d'ensemble d'une stratégie qui a fixé la voie à suivre par le programme nucléaire pacifique des ÉAU, y compris les délais de réalisation d'objectifs spécifiques. Il mentionne aussi les conventions internationales et les accords de coopération nucléaire conclus par les ÉAU, ainsi que la coopération avec l'AIEA. Il accorde une attention particulière au rôle et à la mission de l'organisme de réglementation nucléaire des ÉAU, ainsi qu'à l'élaboration de la réglementation et des guides réglementaires des Émirats. Par ailleurs, il décrit la procédure d'autorisation du programme électronucléaire, ainsi que l'octroi des autorisations concernant les autres activités et pratiques mettant en jeu des sources de rayonnements. En conclusion, il tire certains enseignements de l'expérience des ÉAU, que ces derniers mettront à profit pour poursuivre le renforcement de leur cadre juridique.

Mots clés Émirats arabes unis (ÉAU) • Nouvelle construction nucléaire • Primo-accédant • Cadres juridiques • Économique et environnemental • Électricité • Énergie nucléaire • Programme électronucléaire

14.1. LANCEMENT DU PROGRAMME ÉLECTRONUCLÉAIRE DES ÉAU : POLITIQUE NUCLÉAIRE

Tout au long de l'année 2007, le Gouvernement des ÉAU a évalué les options en matière de sources d'énergie futures et étudié le rôle que pourrait jouer l'énergie nucléaire dans la future stratégie énergétique des Émirats.

Les « études énergétiques » ont permis de conclure que l'énergie nucléaire pourrait jouer un rôle majeur pour ce qui est de répondre aux besoins énergétiques croissants des ÉAU. Sur la base de ces études, le Gouvernement des ÉAU a élaboré la politique des Émirats arabes unis sur l'évaluation et l'éventuel développement de l'énergie nucléaire pacifique (la politique nucléaire)¹, qui a été adoptée par le Conseil des ministres des ÉAU et publiée en avril 2008. L'élaboration de la politique nucléaire a nécessité une étude approfondie des meilleures pratiques internationales, un vaste processus de consultation au sein du Gouvernement et avec les parties prenantes étrangères et internationales, telles que l'AIEA, et la définition des principes directeurs devant régir le développement de l'énergie nucléaire pacifique aux ÉAU.

La politique nucléaire définit la place de l'énergie nucléaire dans la stratégie énergétique des ÉAU et expose leur conception de l'électronucléaire civil.

Plus important encore, cette politique nucléaire explicite les stratégies du Gouvernement des ÉAU et précise les engagements relatifs à l'application des normes les plus strictes de sûreté, de sécurité et de non-prolifération, et énonce six principes fondamentaux concernant la mise en place d'un programme électronucléaire civil pacifique aux ÉAU :

- 1) transparence opérationnelle totale ;
- 2) attachement aux normes les plus strictes de non-prolifération ;
- 3) attachement aux normes les plus strictes de sûreté et de sécurité ;
- 4) coopération étroite avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et conformité à ses normes ;
- 5) développement d'une capacité nationale de production d'énergie nucléaire à des fins pacifiques en coopération avec les gouvernements et entreprises des nations responsables, et avec le concours d'organisations spécialisées ; et
- 6) garantir la viabilité à long terme du programme électronucléaire national pacifique des ÉAU.

À l'époque, le Gouvernement des ÉAU a également consigné dans la politique nucléaire plusieurs choix stratégiques fondamentaux. Il s'agissait, dans

¹ Politique des Émirats arabes unis sur l'évaluation et l'éventuel développement de l'énergie nucléaire pacifique 2008.

l'hypothèse où l'énergie nucléaire deviendrait l'une des composantes du bouquet énergétique des ÉAU, de renoncer à l'enrichissement et au retraitement nationaux du combustible nucléaire.

14.2. DE LA POLITIQUE NUCLÉAIRE AU CADRE JURIDIQUE

14.2.1. Conventions internationales

Afin d'honorer les engagements relatifs à la transparence et à l'application des normes les plus strictes de non-prolifération, de sûreté et de sécurité, et de mettre en œuvre la coopération internationale inscrite dans leur politique nucléaire, les ÉAU ont adhéré aux principaux instruments, traités, conventions et accords internationaux conclus dans les domaines de la sûreté nucléaire, de la sécurité nucléaire, de la non-prolifération et de la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires².

- 1) Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, à laquelle les ÉAU ont adhéré le 2 octobre 1987 et qui est entrée en vigueur pour les ÉAU le 2 novembre 1987³.
- 2) Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, à laquelle les ÉAU ont adhéré le 2 octobre 1987 et qui est entrée en vigueur pour les ÉAU le 2 novembre 1987⁴.
- 3) Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP), auquel les ÉAU ont adhéré le 26 septembre 1995⁵.

² Tels que la Convention sur la sûreté nucléaire, la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, la Convention sur l'assistance, la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, telle que révisée, la Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires, le Protocole commun, la Convention sur la protection physique des matières nucléaires et son amendement, l'accord de garanties généralisées (AGG) et le protocole additionnel à l'AGG.

³ Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 27 octobre 1986 (Convention sur la notification rapide).

⁴ Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, ouverte à la signature le 26 septembre 1986 (à Vienne) et le 6 octobre 1986 (à New York), et entrée en vigueur le 26 février 1987 (Convention sur l'assistance).

⁵ Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, ouvert à la signature le 1^{er} juillet 1968 (à Vienne, Moscou et Washington) et entré en vigueur le 5 mars 1970 (Traité sur la non-prolifération ou TNP).

- 4) Accord entre les Émirats arabes unis et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif à l'application de garanties dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (Accord sur les garanties), signé le 15 décembre 2002 et entré en vigueur pour les ÉAU le 9 octobre 2003⁶.
- 5) Protocole additionnel à l'Accord entre les Émirats arabes unis et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif à l'application de garanties dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (protocole additionnel), signé le 8 avril 2009 et entré en vigueur pour les ÉAU le 20 décembre 2010⁷.
- 6) Convention sur la sûreté nucléaire, à laquelle les ÉAU ont adhéré le 31 juillet 2009 et qui est entrée en vigueur pour les ÉAU le 29 octobre 2009⁸.
- 7) Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, à laquelle les ÉAU ont adhéré le 31 juillet 2009 et qui est entrée en vigueur pour les ÉAU le 29 octobre 2009⁹.
- 8) Convention sur la protection physique des matières nucléaires, à laquelle les ÉAU ont adhéré le 16 octobre 2003 et qui est entrée en vigueur pour les ÉAU le 15 novembre 2003¹⁰.
- 9) Amendement à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, accepté par les ÉAU le 31 juillet 2009 et entré en vigueur le 8 mai 2016¹¹.
- 10) Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire (à laquelle les ÉAU ont adhéré le 10 janvier 2008)¹².

⁶ Accord entre les Émirats arabes unis et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif à l'application de garanties dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, signé le 15 décembre 2002 (à Abou Dhabi) et entré en vigueur le 9 octobre 2003 (Accord sur les garanties).

⁷ Protocole additionnel à l'Accord entre les Émirats arabes unis et l'Agence internationale de l'énergie atomique relatif à l'application de garanties dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, entré en vigueur le 20 décembre 2010.

⁸ Convention sur la sûreté nucléaire, ouverte à la signature le 20 septembre 1994 (à Vienne) et entrée en vigueur le 24 octobre 1996 (CSN).

⁹ Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, ouverte à la signature le 29 septembre 1997 et entrée en vigueur le 18 juin 2001.

¹⁰ Convention sur la protection physique des matières nucléaires, ouverte à la signature le 3 mars 1980 et entrée en vigueur le 8 février 1987 (CPPMN).

¹¹ Amendement à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, entré en vigueur le 8 mai 2006 (Amendement à la CPPMN).

¹² Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, ouverte à la signature le 14 septembre 2005 et entrée en vigueur le 7 juillet 2007.

14.2.2. Accords de coopération nucléaire conclus par les ÉAU

Les ÉAU ont considéré que le succès du programme électronucléaire dépendait de la mise en place de partenariats et d'une coopération à l'échelon international. Dans le cadre de tels arrangements, les pays technologiquement avancés facilitent l'accès aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire aux pays primo-accédants.

Conformément aux principes énoncés dans la politique nucléaire, les ÉAU se sont engagés à développer une capacité nationale de production d'énergie nucléaire à des fins pacifiques en coopération avec les gouvernements et entreprises des nations responsables, et à garantir la viabilité à long terme de leur programme électronucléaire national pacifique.

En conséquence, les ÉAU ont conclu un certain nombre d'accords bilatéraux pour tirer parti d'une coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire [les accords de coopération nucléaire (ACN)] :

- 1) Accord de coopération entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement de la République française relatif au développement des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 15 janvier 2008.
- 2) Accord de coopération entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement des États-Unis d'Amérique relatif aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 21 mai 2009.
- 3) Accord entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement de la République de Corée relatif à une coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 22 juin 2009.
- 4) Accord entre le Gouvernement du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord et le Gouvernement des Émirats arabes unis relatif à une coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 2010.
- 5) Accord entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement de l'Australie relatif à une coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 31 juillet 2012.
- 6) Accord entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement du Canada relatif à une coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 18 septembre 2012.
- 7) Accord entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement de la Fédération de Russie relatif à une coopération dans le domaine de l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, 17 décembre 2012.
- 8) Accord de coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire entre les Émirats arabes unis et la République argentine, 14 janvier 2013.

- 9) Accord entre le Gouvernement des Émirats arabes unis et le Gouvernement du Japon relatif à une coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, 2 mai 2013.

Ces accords définissent les modalités de la coopération aux différents niveaux, notamment à ceux de l'industrie et des pouvoirs publics. Un certain nombre d'accords et de mémorandums d'accord bilatéraux ont été conclus par des entités des ÉAU avec leurs homologues étrangères en vue de poursuivre la coopération dont les ACN constituaient le point de départ.

14.2.3. Coopération avec l'AIEA

Pour garantir le succès de l'exécution d'un programme électronucléaire durable, les ÉAU collaboraient étroitement avec l'AIEA et ses partenaires internationaux. La détermination des ÉAU à travailler directement avec l'AIEA et à se conformer à ses normes est attestée par le programme de coopération technique en cours, qui porte sur différents domaines, en particulier le renforcement des capacités scientifiques et techniques des États Membres de l'AIEA, notamment la mise en valeur des ressources humaines.

Les ÉAU ont consulté l'AIEA en ce qui concerne chaque mesure prise pour développer leur programme électronucléaire et ont tiré parti des missions d'examen effectuées par l'Agence.

En janvier 2011, les ÉAU ont accueilli une mission d'examen intégré de l'infrastructure nucléaire (INIR), dont les conclusions ont été très positives, aucun lacune majeure n'ayant été relevée. En outre, l'approche du développement de nouveaux programmes électronucléaires reposant sur des principes intégrés de l'AIEA a permis aux ÉAU d'accumuler une expérience précieuse en la matière.

Par ailleurs, les ÉAU ont présenté leur premier rapport national à la cinquième réunion d'examen des Parties contractantes à la Convention sur la sûreté nucléaire, lors de laquelle l'activité déployée par les ÉAU en matière de mise en place de l'infrastructure de sûreté nucléaire a été jugée digne d'éloges.

En décembre 2011, les ÉAU ont accueilli leur première mission du Service intégré d'examen de la réglementation (IRRS), à un stade inhabituellement précoce de la mise au point d'un programme électronucléaire. C'est ainsi que les ÉAU sont devenus un modèle de transparence et de responsabilité pour les autres pays primo-accédants.

À la fin de 2011, avant que ne démarre la construction de la tranche 1 de la centrale nucléaire de Barakah, les ÉAU avaient approuvé huit nouveaux règlements concernant l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des applications nucléaires et mis en place les procédures d'autorisation et d'inspection.

La construction du premier réacteur nucléaire aux ÉAU a démarré en juillet 2012, à la suite d'une évaluation détaillée de la conception, qui avait pris en considération les premiers enseignements tirés de l'accident de Fukushima Daiichi, le pays devenant ainsi le premier primo-accédant à construire une centrale nucléaire en 27 ans. La construction de la deuxième tranche avait démarré en mai 2013¹³.

Les ÉAU ont continué de demander et d'accueillir des examens exhaustifs par des pairs de l'AIEA, qui étaient indispensables pour assurer l'adéquation des mesures de sûreté et de l'infrastructure nationale. Par ailleurs, les ÉAU ont été le premier pays à accueillir une mission au titre de l'INIR – phase 3 –, chargée d'examiner la mise en place par le pays de l'infrastructure nécessaire à un programme électronucléaire. Cette mission a été organisée à l'invitation du Gouvernement des ÉAU et a été la première que l'AIEA ait conduite pour un pays parvenu à la phase finale de l'approche par étapes de l'AIEA, qui fournit des orientations détaillées sur la mise en place de l'infrastructure nécessaire à un programme électronucléaire.

Les ÉAU ont signé un plan de travail intégré pour la période 2013-2017, qui a défini un cadre global de coopération avec tous les départements de l'AIEA.

Aujourd'hui, les ÉAU continuent d'apprendre de l'Agence et de bénéficier de son soutien permanent, en particulier grâce au renforcement des capacités et aux services internationaux d'examen par des pairs, mais les Émirats sont également en mesure de faire profiter d'autres pays de leur expérience s'agissant d'adhérer aux instruments juridiques nucléaires internationaux, d'élaborer la législation et le cadre réglementaire requis, et de réglementer les activités nucléaires. Cet échange de données d'expérience s'effectue dans le cadre de la coopération bilatérale ainsi qu'à l'échelon international, par le biais de contributions apportées lors de rencontres internationales et de la participation aux groupes de travail sur le droit nucléaire de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Dans ce contexte, les ÉAU contribuent aussi activement à l'élaboration de normes internationales en participant aux travaux des cinq comités des normes de sûreté et du Comité des orientations sur la sécurité nucléaire de l'AIEA.

14.2.4. La voie vers le succès

Avec la publication de la politique nucléaire, les ÉAU ont commencé de mettre en place, conformément à une recommandation de l'AIEA, un organisme d'exécution du programme d'énergie nucléaire, fonction assumée dès les premières étapes du programme par l'Office de gestion administrative (OGA) d'Abou Dhabi.

¹³ AIEA 2014, par. 274.

En septembre 2008, l'OGA a élaboré un document de stratégie interne appelé « La voie vers le succès », qui tirait parti des meilleures pratiques internationales et du document Étapes de l'AIEA qui décrit les 19 questions relatives à l'infrastructure nucléaire.

La politique nucléaire indique que les ÉAU ont également pris en considération les recommandations de planification formulées par l'AIEA dans ses Étapes du développement d'une infrastructure nationale pour l'électronucléaire (Étapes de l'AIEA)¹⁴ et prévoient de s'en inspirer.

Les Étapes de l'AIEA couvrent les trois phases du développement de l'infrastructure nécessaire pour appuyer un programme électronucléaire. L'achèvement de chaque phase pour les 19 questions relatives à l'infrastructure nucléaire est marqué par une étape particulière, où les progrès accomplis dans le développement peuvent être évalués et la décision de passer à la phase suivante peut être prise.

La voie vers le succès a tracé la voie du programme électronucléaire pacifique des ÉAU en tirant des pratiques une série de recommandations, buts et objectifs explicites, en définissant les responsabilités des parties prenantes nationales et en indiquant des délais de réalisation d'objectifs spécifiques pour une date d'entrée en service alors fixée à 2017.

14.3. VERS UNE LÉGISLATION NATIONALE COMPLÈTE EN MATIÈRE NUCLÉAIRE

Le cadre juridique, réglementaire et institutionnel des ÉAU reflète leur détermination à respecter les normes les plus strictes en matière de sûreté nucléaire. La politique nucléaire a été le cadre de référence pour l'élaboration de la législation applicable au secteur nucléaire aux ÉAU. Cette politique nucléaire a précisé que les ÉAU devaient élaborer une législation nationale complète en matière nucléaire, qui porte sur tous les aspects du droit nucléaire, notamment la sûreté, la sécurité, la non-prolifération, la responsabilité nucléaire et les autres aspects législatifs, réglementaires et commerciaux, et, entre autres fonctions, autorise la création d'une autorité de réglementation nucléaire pleinement indépendante, institution essentielle à la préservation de la transparence opérationnelle du secteur de l'énergie nucléaire. Conformément à la politique nucléaire, la législation nationale complète en matière nucléaire visait à transposer dans le droit interne les obligations contractées par les ÉAU au titre des instruments internationaux. De même, la politique nucléaire a indiqué que la législation nucléaire des ÉAU devait comporter des dispositions concernant

¹⁴ AIEA 2010, 2019.

la création d'une autorité de réglementation et d'un régime d'autorisation ; la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires ; les responsabilités des titulaires d'autorisation ; la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé ; le déclassement des installations nucléaires ; la protection physique des matières et installations nucléaires ; et les obligations en matière de non-prolifération et les mesure de contrôle.

Étant donné qu'aux ÉAU, la structure juridique repose sur deux systèmes – le système fédéral et le système local, au niveau des sept émirats du pays –, le Gouvernement a dû décider s'il convenait de mettre en place le cadre juridique et réglementaire pour les ÉAU à l'échelon fédéral ou à l'échelon local, celui de l'Émirat d'Abou Dhabi où la future centrale nucléaire était censée être construite. Il a également fallu déterminer si l'on allait élaborer une législation relative au secteur nucléaire à partir des éléments de l'infrastructure juridique existante ou concevoir la nouvelle législation à l'échelon fédéral. Par exemple, le Comité de radioprotection existait aux ÉAU avant les « études énergétiques » et l'établissement de la politique nucléaire, et il a été approuvé à l'époque par le Conseil des ministres. De même, le pays s'était déjà doté de la loi fédérale n° 1 de 2002 concernant la réglementation et le contrôle de l'utilisation des sources de rayonnement et la protection contre les dangers des rayonnements.

Il a également fallu déterminer la portée du mandat de l'organisme de réglementation nucléaire et veiller à ce que ce dernier soit un organe indépendant ne relevant ou ne faisant partie d'aucun ministère des ÉAU.

Les caractéristiques institutionnelles garantissant l'indépendance d'un organisme de réglementation nucléaire ont été consignées dans la politique nucléaire, qui a précisé qu'un organisme de réglementation nucléaire indépendant serait doté des pouvoirs recommandés par l'AIEA énumérés ci-après :

1) établir les prescriptions et les règlements ; 2) délivrer des autorisations ; 3) inspecter et évaluer les installations et les structures rattachées à ces installations ; 4) contrôler et assurer le respect des règlements ; et 5) mettre en place un système national de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires (SNCC) (y compris le combustible usé et les déchets radioactifs) conformément aux obligations en matière de garanties de l'AIEA¹⁵. De plus, la politique nucléaire précise que l'organisme de réglementation serait chargé de communiquer en permanence avec l'AIEA et, par exemple, de lui fournir les rapports demandés dans les instruments internationaux auxquels les ÉAU sont parties. Il a également fallu relever le défi consistant à faire en sorte que la législation garantisse la possibilité pour l'organisme de réglementation nucléaire de se prononcer en toute indépendance, s'agissant en particulier des décisions liées à la sûreté.

¹⁵ Politique des Émirats arabes unis sur l'évaluation et l'éventuel développement de l'énergie nucléaire pacifique 2008, p. 6.

Un certain nombre de spécialistes étrangers des États-Unis, d'Europe et d'Asie ainsi que de l'AIEA ont contribué à l'élaboration de la législation nationale complète en matière nucléaire. Ils ont tenu compte des enseignements tirés de différents systèmes juridiques et normes internationales, et ont présenté un grand nombre d'idées en vue de la mise en pratique des enseignements tirés jusqu'alors. L'AIEA a fourni un appui au travers de son programme d'assistance législative. Elle a révisé le projet de loi et fait des observations et présenté des avis sur certaines dispositions de la future législation nucléaire complète des ÉAU.

Le défi que les ÉAU ont ensuite dû relever a été celui de choisir la bonne démarche à suivre pour élaborer une législation technique complète qui tiendrait effectivement compte des meilleures pratiques recueillies à travers le monde, des normes internationales et des enseignements tirés. Les ÉAU n'avaient qu'une expérience limitée pour ce qui est de mener une législation aussi complexe à travers les différentes étapes du processus législatif. Les spécialistes externes ont apporté un grand nombre de contributions et de solutions. Toutefois, la responsabilité de l'évaluation et du choix de la solution la plus appropriée a toujours incombé aux ÉAU.

Le 23 septembre 2009, les ÉAU ont adopté par décret la loi fédérale globale n° 6 de 2009 sur les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire (la loi nucléaire), qui prévoit la mise en place d'un système complet d'autorisation et de contrôle des matières nucléaires, ainsi que la création de l'Autorité fédérale de réglementation nucléaire (AFRN), chargée de superviser le secteur électronucléaire des ÉAU dans le domaine de la sûreté, de la sécurité et des garanties. La loi nucléaire définit les responsabilités de l'exploitant et les fonctions et responsabilités de l'organisme de réglementation, c'est-à-dire l'AFRN.

À la suite de la création de l'AFRN, la Société de l'énergie nucléaire des Émirats arabes unis (SENE) a été créée le 23 décembre 2009 par la loi n° 12 de 2009 promulguée par le Président des ÉAU en sa qualité d'émir d'Abou Dhabi. La SENE a été créée en tant qu'entité chargée d'exécuter le programme électronucléaire des ÉAU et a mené à bien les tâches de l'Organisme d'exécution du programme électronucléaire (OEPEN) ne se rapportant pas à la réglementation. La loi n° 12 de 2009 dispose que la SENE est chargée de mettre au point, de construire, de financer, d'exploiter, d'entretenir, de gérer et de détenir des réacteurs nucléaires utilisés à des fins pacifiques pour la production d'énergie et le dessalement de l'eau de mer, conformément aux dispositions de la loi nucléaire. Conformément aux objectifs énoncés dans la politique nucléaire, la SENE continue d'exercer la fonction de l'OEPEN, qui est importante pour la viabilité du programme à long terme dans la mesure où la SENE renforce le mécanisme de coordination de l'activité de l'ensemble des parties prenantes concernées.

Peu de temps après, le 27 décembre 2009, la SENE a annoncé avoir choisi une équipe dirigée par la Compagnie d'électricité de Corée (KEPCO) pour

concevoir et construire quatre réacteurs électronucléaires civils de 1 400 MWe, et aider à les exploiter et à en assurer la maintenance. Cette annonce a été faite à l'issue d'une longue procédure d'appel d'offres qui s'est étalée sur un an.

Afin de mettre en place un cadre juridique complet dans le domaine nucléaire et comme requis par les instruments internationaux de responsabilité nucléaire auxquels ils sont devenus parties, les ÉAU ont publié par décret, en août 2012, la loi fédérale n° 4 de 2012 concernant la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires (loi sur la responsabilité nucléaire), qui est entrée en vigueur en octobre 2012. La loi sur la responsabilité nucléaire vise à donner effet aux principes de la responsabilité nucléaire tels que la concentration de la responsabilité sur l'exploitant de l'installation nucléaire, la limitation de la responsabilité de l'exploitant en ce qui concerne le montant et la durée, l'obligation d'une garantie financière, le principe de non-discrimination, etc., qui s'appliqueraient au cas où un accident nucléaire se produirait dans une installation nucléaire des ÉAU et causerait des dommages nucléaires. Les dispositions de la loi sur la responsabilité nucléaire sont conformes aux obligations découlant de la Convention de Vienne de 1997 relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, à laquelle les ÉAU ont adhéré en mai 2012, et tiennent compte des meilleures pratiques internationales. Il convient également de mentionner que, conformément aux recommandations formulées par le Groupe international d'experts en responsabilité nucléaire (INLEX), afin de contribuer à la mise en place d'un régime mondial de responsabilité nucléaire, les ÉAU ont également adhéré au Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris en août 2012 et à la Convention sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires en juillet 2014.

14.3.1. Conseil consultatif international

La poursuite de l'élaboration du programme électronucléaire des ÉAU, notamment son cadre législatif et réglementaire, a tiré profit des conseils et recommandations du Conseil consultatif international (CCI). Le CCI a pour mission de garantir la transparence opérationnelle du programme et de mettre au service du programme électronucléaire pacifique des ÉAU les compétences et les connaissances d'un groupe très restreint de spécialistes internationalement reconnus dans les domaines de la sûreté et de la sécurité nucléaires, de la non-prolifération et de la mise en valeur des ressources humaines. Le CCI a tenu sa première réunion le 22 février 2010 à Abou Dhabi et s'est réuni ensuite tous les six mois pendant huit ans ; il a tenu une dernière réunion en octobre 2017. Pendant toute la durée de son mandat, il a examiné les progrès accomplis par les ÉAU s'agissant d'appliquer et de maintenir les normes les plus strictes en matière de sûreté, de sécurité, de non-prolifération, de transparence et de durabilité,

et ses membres ont fourni des indications précieuses pour que le programme électronucléaire puisse atteindre ces objectifs dans les meilleures conditions¹⁶. Les recommandations du CCI sont consignées dans les 16 rapports semestriels du Conseil, qui sont mis à la disposition du public¹⁷.

14.3.2. Organisme de réglementation nucléaire des ÉAU

L'organisme de réglementation nucléaire des ÉAU – l'AFRN – a été créé par Son Altesse Cheikh Khalifa Bin Zayed Al Nahyane, Président des ÉAU, en septembre 2009. Le paragraphe 1 de l'article 4 de la loi nucléaire est ainsi libellé : « Il est créé une entité publique appelée "Autorité fédérale de réglementation nucléaire", établissant son propre bilan, dotée d'une personnalité juridique indépendante et de la pleine capacité juridique, et habilitée à gérer toutes les questions financières et administratives en toute indépendance ».

Conformément aux recommandations internationales, l'AFRN a été établie en tant qu'entité indépendante, distincte des entités chargées du développement ou de la promotion de l'énergie nucléaire et de ses applications, ainsi que des utilisateurs. La loi nucléaire (paragraphe 2 de l'article 10) interdit aux membres du Conseil d'administration de l'AFRN d'exercer, directement ou indirectement, une activité réglementée et l'AFRN communique des informations au Gouvernement en présentant un rapport annuel au Ministre des affaires présidentielles (article 11 de la loi nucléaire). Un autre aspect important, l'indépendance financière de l'AFRN, est traité à l'article 18 de la loi nucléaire, qui dispose notamment que l'Autorité est financée par les fonds qui lui sont alloués par le Gouvernement et les recettes générées dans l'exercice de ses fonctions.

Les responsabilités de l'AFRN sont expressément prévues aux articles 4 et 5 de la loi nucléaire, ainsi que dans d'autres dispositions ; ce sont notamment le pouvoir de réglementer, contrôler et superviser le secteur nucléaire des ÉAU pour s'assurer qu'il n'est utilisé qu'à des fins pacifiques, de garantir la sûreté et la sécurité nucléaires et la radioprotection, et d'assurer le respect des garanties. Par ailleurs, l'AFRN est chargée de faire exécuter celles des obligations découlant des traités, conventions et accords internationaux conclus par les ÉAU qui ont un rapport avec son mandat.

¹⁶ <http://www.uaeiab.ae>, page consultée le 15 octobre 2021 (informations sur les travaux du CCI).

¹⁷ <http://www.uaeiab.ae/en/publications.html>, page consultée le 15 octobre 2021 (tous les rapports du CCI).

Pour s'acquitter des responsabilités que lui confère la loi nucléaire, l'AFRN mène un certain nombre d'activités que cette loi énumère et qui peuvent être regroupées en quatre fonctions réglementaires de base :

- 1) l'élaboration et la publication de règlements et de guides réglementaires destinés à appuyer l'application de la loi nucléaire. Ces règlements visent à préciser les prescriptions applicables à des activités réglementées et installations connexes spécifiques, concernant notamment la sûreté, la protection physique, la préparation des interventions d'urgence, la comptabilité et le contrôle des matières nucléaires, le transport de matières radioactives, l'importation et l'exportation, la radioprotection ou le déclassement. Les règlements précisent également les exclusions et exemptions d'une partie ou de l'ensemble des contrôles réglementaires ;
- 2) la procédure d'autorisation comprend l'examen et l'évaluation de demandes d'autorisation, la délivrance d'autorisations, ainsi que la définition des conditions prévues par l'autorisation, et la modification, le renouvellement, la suspension ou la révocation des autorisations :

On revient plus loin sur ces deux premières activités de base.

- 1) l'inspection et l'évaluation de toutes les activités réglementées, notamment l'élaboration d'un programme d'inspections systématiques au sein de l'AFRN ;
- 2) l'identification et la mise en œuvre de mesures coercitives, notamment d'amendes et d'autres sanctions administratives, voire de sanctions pénales, en adoptant une approche graduée.

Ces activités de base exigent également de l'AFRN qu'elle coordonne son action avec celle d'autres autorités compétentes des ÉAU dans des domaines tels que la préparation des interventions d'urgence, la sécurité nucléaire, la non-prolifération et le transport de marchandises dangereuses. En outre, l'AFRN coopère avec les entités publiques en matière de sûreté nucléaire, de radioprotection, de sécurité, de protection de l'environnement, de santé publique et de santé au travail, de déchets radioactifs, etc., et leur fournit des conseils dans ces domaines.

Au niveau international, l'AFRN a noué des liens de coopération avec un certain nombre d'organismes de réglementation nucléaire étrangers pour échanger des données d'expérience en matière réglementaire, ainsi qu'avec des centres et instituts de recherche étrangers et des organisations internationales pour appuyer les activités qu'elle mène dans des domaines tels que la sûreté nucléaire, la sûreté radiologique ou la recherche-développement. Enfin, conformément

aux engagements internationaux des ÉAU et à la loi nucléaire, l'AFRN est chargée d'entretenir le contact avec les organisations internationales compétentes et de leur présenter les informations, notifications et rapports qu'elles lui demandent de fournir.

14.3.3. Élaboration du cadre réglementaire : règlements et guides réglementaires

L'élaboration de la législation nucléaire est une étape indispensable à la mise en place du cadre permettant de conduire toutes les activités relevant des secteurs nucléaire et radiologique dans le pays, tout en garantissant à la population et à l'environnement une protection suffisante contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Toutefois, ce n'est que la première étape de l'élaboration d'un cadre juridique complet en matière nucléaire.

De par sa nature, la loi fédérale n° 6 de 2009 sur les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire (la loi nucléaire), adoptée par décret était bien destinée à être un instrument législatif « global » sur les questions nucléaires et radiologiques, mais elle ne peut pas énoncer toutes les conditions et prescriptions régissant la conduite de toutes les activités relevant des secteurs nucléaire et radiologique du pays. Les prescriptions réglementaires détaillées applicables à chaque activité spécifique et aux installations connexes doivent figurer dans un ensemble complet de règlements, complété par des guides réglementaires. Comme indiqué plus haut, le pouvoir d'élaborer et de publier les règlements a été conféré à l'AFRN par la loi nucléaire, qui dispose, au paragraphe 4 j) de son article 11, que le Conseil d'administration de l'Autorité exerce la fonction et le pouvoir de publier les règlements techniques d'application nécessaires au fonctionnement de l'Autorité, notamment « d'établir, de développer ou d'adopter les règlements et directives qui fondent ses activités réglementaires ». Les mêmes éléments sont rappelés dans les dispositions de l'article 38 de la loi nucléaire.

Le travail d'élaboration des règlements a été lancé immédiatement après la création de l'AFRN, compte tenu du fait qu'il était essentiel de disposer de certains de ces règlements pour développer le secteur nucléaire aux ÉAU. Le règlement concernant les limites de dose de rayonnement et l'optimisation de la radioprotection pour les installations nucléaires (FANR-REG-04), le règlement concernant l'application de l'évaluation probabiliste des risques dans les installations nucléaires (FANR-REG-05), le règlement concernant les systèmes de gestion pour les installations nucléaires (FANR-REG-01), le règlement concernant les demandes de permis de construire pour une installation nucléaire (FANR-REG-06) et le règlement de transport de matières radioactives (FANR-REG-13) ont été approuvés dès 2010. Par la suite, le règlement concernant la préparation des interventions d'urgence pour les installations nucléaires

(FANR-REG-12), le règlement concernant la radioprotection et la gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif dans les installations nucléaires (FANR-REG-11) et le règlement concernant le système de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires et l'application du protocole additionnel (FANR-REG-10) ont été approuvés en 2011. Ensuite, le règlement concernant le choix du site des installations nucléaires (FANR-REG-02), le règlement concernant les normes fondamentales de sûreté applicables aux installations et activités mettant en jeu des rayonnements ionisants dans des installations autres que des installations nucléaires (FANR-REG-24), le règlement concernant la certification du personnel des opérations dans les installations nucléaires (FANR-REG-17) et le règlement concernant la conception des centrales nucléaires (FANR-REG-03) ont été approuvés en 2013. Il importe de noter que le règlement concernant les prescriptions relatives aux plans d'urgence hors site pour les installations nucléaires (FANR-REG-15), le règlement concernant les demandes d'autorisation d'exploitation d'une installation nucléaire (FANR-REG-14) et le règlement concernant la sûreté d'exploitation, y compris pendant la mise en service (FANR-REG-16), ont été approuvés en 2014. Au total, l'AFRN a élaboré un ensemble de 23 règlements qui couvrent un large éventail d'activités conduites aux ÉAU et dans leurs installations associées : choix du site, conception, construction, exploitation et déclasséement d'installations nucléaires, préparation et conduite des interventions d'urgence, gestion des déchets radioactifs avant et pendant le stockage définitif, radioprotection, protection physique des matières nucléaires et installations connexes, et sécurité des sources radioactives, et l'Autorité a également traité de questions telles que la comptabilité et le contrôle des matières nucléaires, le contrôle des importations et des exportations, les situations d'exposition existante et la certification du personnel d'exploitation.

Tous ces règlements ont été élaborés en tenant compte des normes de sûreté et des orientations en matière de sécurité de l'AIEA, et en se référant également aux règlements élaborés par des organismes de réglementation étrangers. Les règlements sont disponibles en anglais et en arabe sur le site web de l'AFRN.

L'Autorité a établi un processus s'appuyant sur des procédures pour élaborer et réviser les règlements. Ce processus garantit une approche systématique de l'élaboration des règlements, reposant sur la collecte des éléments d'information requis au niveau interne et auprès d'entités extérieures dans le cadre de consultations du public et des parties prenantes. Les observations découlant de ces consultations sont évaluées et prises en considération en vue de l'élaboration du projet de règlement final. Une fois approuvés et publiés, les règlements sont rendus disponibles dans les deux langues sur le site web de l'AFRN et sont également publiés au Journal officiel des ÉAU. Par ailleurs, l'Autorité organise à l'intention des utilisateurs de ces règlements des événements destinés

spécifiquement à leur faire mieux connaître et comprendre les prescriptions nouvelles ou révisées.

L'organisme de réglementation nucléaire a également mis au point une méthode systématique permettant d'examiner et de réviser périodiquement, en cas de besoin, les règlements, et de déterminer s'il est nécessaire d'en élaborer de nouveaux. Il est procédé à l'examen périodique d'un règlement au plus tard cinq ans après sa date de publication. L'examen peut également être déclenché plus tôt compte tenu d'un besoin ou d'une circonstance spécifique. L'examen doit vérifier que le règlement continue de répondre aux besoins, en tenant compte de facteurs tels que les mises à jour des normes de sûreté et des documents d'orientation sur la sécurité de l'AIEA, l'expérience en matière d'exploitation, de réglementation et de mise en œuvre, l'évolution de la situation internationale ou les résultats de la recherche-développement.

C'est ainsi, par exemple, qu'à la suite de l'accident de Fukushima Daiichi de mars 2011, l'AFRN a examiné ses règlements concernant les installations nucléaires pour déterminer s'il convenait de les réviser sans délai. À cette occasion, l'Autorité a conclu qu'il était inutile de modifier dans l'immédiat les règlements en vigueur, mais a énuméré un certain nombre de points à prendre en considération à l'occasion de la mise à jour du cadre réglementaire.

Les règlements de l'AFRN sont complétés par une série de guides réglementaires qui visent à décrire les méthodes ou les critères acceptables pour se conformer aux prescriptions des règlements de l'Autorité. À l'instar des règlements, les guides réglementaires tiennent largement compte des normes de sûreté et documents d'orientation sur la sécurité de l'AIEA, et ont également incorporé bien des guides publiés par l'organisme de réglementation du pays d'origine de la technologie nucléaire.

À ce jour, l'AFRN a publié 22 guides réglementaires pour appuyer l'application des règlements et quatre autres sont en chantier. L'élaboration et la révision des guides réglementaires suivent également un processus systématique incorporé dans le système de gestion intégrée de l'Autorité, faisant intervenir ses départements techniques et des parties prenantes externes. Les guides réglementaires sont disponibles en anglais sur le site web de l'AFRN.

14.3.4. Système de délivrance d'autorisations

Toutes les activités et pratiques mettant en jeu les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire et des rayonnements ionisants, y compris les équipements, informations et technologies connexes aux ÉAU, c'est-à-dire les activités réglementées, sont soumises à l'autorisation de l'AFRN. L'autorité conférée exclusivement à l'AFRN de délivrer des autorisations pour la conduite de ces activités réglementées est établie par l'article 6 de la loi nucléaire, tandis que son

article 23 interdit à toute personne de mener une activité réglementée quelconque aux ÉAU sans autorisation.

L'article 25 de la même loi énumère les activités réglementées soumises à autorisation, activités qui sont notamment les suivantes : choix du site, construction, exploitation, mise en service et déclassement des installations nucléaires. La loi nucléaire présente ensuite des dispositions spécifiques liées à la délivrance d'autorisations, portant notamment sur certains critères spécifiques applicables à la délivrance, à la révocation et à la suspension des autorisations.

En vertu de l'article 28 de la même loi, l'auteur d'une demande d'autorisation doit présenter des éléments factuels détaillés en matière de sûreté, éléments qui sont examinés et évalués par l'Autorité conformément aux procédures établies. Après avoir examiné et évalué une demande d'autorisation, l'AFRN, agissant par l'intermédiaire de son Conseil d'administration, détermine s'il y a lieu de délivrer l'autorisation, de la délivrer assortie de conditions ou de refuser de la délivrer, et motive la décision prise. Comme le prévoit la loi nucléaire, l'AFRN a établi une série de règlements qui précisent, par exemple, les critères régissant l'octroi d'un permis de construire pour une installation nucléaire (FANR-REG-06) ou les critères régissant l'octroi d'une autorisation d'exploitation d'une installation nucléaire (FANR-REG-14). Plus récemment, l'Autorité a également publié un règlement concernant spécifiquement l'enregistrement et l'autorisation de sources de rayonnements (FANR-REG-29).

Ces règlements visent à préciser les conditions que l'auteur d'une demande d'autorisation présentée à l'AFRN doit s'engager à respecter pour obtenir cette autorisation et doivent se lire en liaison avec les guides réglementaires complémentaires élaborés par l'Autorité (voir, par exemple, le guide réglementaire de l'AFRN concernant le contenu d'une demande de permis de construire et d'autorisation d'exploitation pour une installation nucléaire, FANR-REG-001-V1).

En vertu du paragraphe 3 de l'article 32 de la loi fédérale n° 6 de 2009 adoptée par décret, il incombe à l'AFRN de procéder à un examen approfondi de la demande afin d'acquiescer la conviction que a) les informations disponibles démontrent la sûreté de l'installation ou de l'activité proposée ; b) les informations ... présentées sont exactes et suffisantes pour permettre de confirmer le respect des prescriptions réglementaires ; et c) les solutions techniques, en particulier celles qui sont inédites, ont été éprouvées ou confirmées par des autorités compétentes, par l'expérience ou par des essais, et sont capables d'atteindre le niveau de sûreté requis.

En conséquence, en 2010, l'AFRN a incorporé dans son système de gestion intégrée (SGI) des processus internes spéciaux compatibles avec la loi nucléaire et les prescriptions de sûreté pertinentes de l'AIEA pour la délivrance

d'autorisations concernant les activités réglementées liées aux installations nucléaires, d'une part, et toutes les autres activités réglementées, d'autre part. Chaque processus précise les responsabilités conférées au sein de l'autorité de réglementation en ce qui concerne la réception des demandes d'autorisation, la publication d'un plan interne décrivant les responsabilités en matière d'examen des demandes et le calendrier de cet examen, l'évaluation initiale et les demandes d'informations supplémentaires, l'évaluation finale et la recommandation concernant l'autorisation, la décision d'autorisation et la délivrance de l'autorisation. Le processus est complété par un ensemble de procédures et d'instructions, qui présentent les méthodes et critères que l'AFRN doit appliquer au moment de l'examen d'une demande d'autorisation.

En ce qui concerne la délivrance d'autorisations pour des activités réglementées liées à des installations nucléaires, les ÉAU ont, au cours des 12 dernières années, franchi des étapes majeures et ont délivré à ce jour sept autorisations d'une grande importance :

- 1) Autorisation de la sélection d'un site pour construire une installation nucléaire, délivrée à la SENE en février 2010.

Comme il n'existait encore aucun règlement à l'époque, l'autorisation de la sélection d'un site a été délivrée sur la base des orientations fournies par l'AIEA et des références émanant de la Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis. L'autorisation a été approuvée par le Conseil d'administration de l'AFRN, la plus haute instance de décision de l'Autorité, à la suite de l'examen par celle-ci de la demande présentée par la SENE. La délivrance de l'autorisation à la SENE a marqué le coup d'envoi officiel de l'action importante de l'AFRN en tant qu'organisme indépendant de réglementation de la sûreté aux fins du programme électronucléaire des ÉAU.

- 2) Autorisation de la préparation de la construction d'une installation nucléaire, délivrée à la SENE en juillet 2010.

Cette autorisation et l'autorisation de la « sélection d'un site » susmentionnée autorisent la SENE à conduire les activités d'étude et de préparation du site de Barakah, à savoir notamment la mise en place de l'infrastructure du site et la construction des parties de l'installation non liées à la sûreté nucléaire.

- 3) Permis de construire limité, délivré à la SENE en juillet 2010.

Ce permis autorise la fabrication, le montage et l'essai de certains composants qu'il énumère spécifiquement, notamment la cuve, le générateur

de vapeur et les autres composants primaires du réacteur. Il autorise la SENE et son maître d'œuvre, la KEPCO, à fabriquer et monter les structures, systèmes et composants, comme la cuve sous pression du réacteur, le générateur de vapeur, la pompe de refroidissement et les autres composants importants pour la sûreté de la centrale nucléaire. En raison de la longueur des délais d'exécution de ces activités, la SENE a décidé de demander ce permis à ce stade précoce.

Comme l'indique le texte du permis, celui-ci a été délivré aux risques du demandeur et sans préjudice d'une éventuelle décision que l'AFRN prendrait ultérieurement quant à la validité du choix du site, de la conception et de la construction de l'installation nucléaire ou de ses systèmes, structures et composants. Fait important, le permis est valable jusqu'à l'achèvement des travaux de construction de l'installation nucléaire ou jusqu'à ce qu'il soit suspendu ou révoqué par l'AFRN ou restitué par son titulaire avant la fin des travaux.

Par la suite, trois modifications ont été apportées au permis en mars 2011, en mars 2012 et en mai 2012 pour couvrir un certain nombre de travaux de génie civil à effectuer sur le site.

- 4) Permis de construire pour la tranche 1 et la tranche 2 de la centrale nucléaire de Barakah, délivré à la SENE en juillet 2012.

Il convient de noter que pour la délivrance de ce permis de construire, l'AFRN a pris en considération l'ensemble des premiers enseignements tirés de l'accident de Fukushima Daiichi, l'Autorité ayant activement participé aux réunions du Comité des normes de sûreté nucléaire de l'AIEA et des groupes de travail associés organisés pour examiner les répercussions des conclusions tirées de cet accident pour les normes de sûreté de l'AIEA. Il a été procédé à un examen approfondi du modèle du réacteur et des parties de la demande de permis qui concernaient la protection contre les événements externes et l'atténuation des accidents graves, et l'AFRN a demandé au demandeur d'entreprendre une évaluation pour vérifier si les enseignements tirés de l'accident de Fukushima Daiichi avaient été appliqués aux tranches 1 et 2 proposées pour la centrale de Barakah, et de compléter sa demande en conséquence.

- 5) Permis de construire pour la tranche 3 et la tranche 4 de la centrale nucléaire de Barakah et les activités réglementées connexes, délivré à la SENE en juillet 2014.
- 6) Autorisation de la manutention et de l'entreposage de combustible nucléaire non irradié délivrée à la Nawah Energy Company PJSC (Nawah) en décembre 2016.
- 7) Licence d'exploitation de la tranche 1 de la centrale nucléaire de Barakah délivrée à la Nawah, l'exploitant, le 17 février 2020.

La délivrance de la première licence d'exploitation d'une centrale nucléaire aux ÉAU a constitué une avancée importante pour le pays et le produit d'un investissement conséquent de la part du secteur comme de celle de l'organisme de réglementation nucléaire. L'AFRN a procédé à un examen détaillé des 14 000 pages de la documentation soumise par le demandeur, auquel ont été adressées 2 000 demandes de renseignements complémentaires, et plus de 180 inspections ont été conduites avant la délivrance de la licence.

Tous les services de la division des opérations de l'AFRN ont participé à l'examen et à l'évaluation de la demande d'autorisation, avec le concours du service des affaires juridiques, et les résultats de cet examen et de cette évaluation sont consignés dans le rapport d'évaluation de la sûreté (SES) de la demande de licence d'exploitation, qui décrit le cadre, la méthodologie et les conclusions de l'examen et de l'évaluation réglementaires de la demande d'autorisation de l'exploitation de la tranche 1 de la centrale nucléaire de Barakah. Suivant une approche systématique, le SES examine 22 grandes questions (comme la gouvernance d'entreprise, les caractéristiques du site, le réacteur, le contrôle-commande, l'énergie électrique, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, l'analyse des accidents, le programme d'assurance de la qualité, la protection physique, les garanties ou le déclassement). Ce rapport est complété par le rapport sur la conformité de la construction aux prescriptions, qui fournit des informations et des éléments probants selon lesquels la tranche 1 de la centrale nucléaire de Barakah a été construite dans le respect des prescriptions réglementaires, et le rapport « Prêt à fonctionner », qui résume le processus et les éléments probants utilisés pour établir les constatations réglementaires selon lesquelles le demandeur de licence d'exploitation est prêt à fonctionner sur le plan institutionnel.

La licence d'exploitation de la tranche 2 de la centrale nucléaire de Barakah a été délivrée à la Nawah le 8 mars 2021 en même temps qu'a été apportée une modification de la licence d'exploitation de la tranche 1 de cette centrale. Les licences autorisent la Nawah à exploiter la tranche correspondante de la centrale nucléaire de Barakah pendant 60 ans et à mener les activités réglementaires connexes directement liées à l'exploitation de la tranche concernée¹⁸. La construction des tranches 3 et 4 de la centrale nucléaire de Barakah sera bientôt achevée et l'AFRN examine actuellement la demande d'autorisation d'exploitation de la tranche 3 de la centrale. Outre les licences liées au programme électronucléaire, l'AFRN évalue, examine et délivre un grand nombre de licences pour toutes les autres activités et pratiques mettant en jeu des sources de rayonnements, ainsi que pour l'importation et l'exportation de matières nucléaires

¹⁸ <https://www.fanr.gov.ae/en/rules-regulations/licenses-regulatory-approval>, page consultée le 15 octobre 2021.

et d'articles à double usage. À titre d'exemple, en 2020, l'AFRN a délivré 1 097 licences permettant d'exécuter des activités mettant en jeu des sources de rayonnements, dont 301 nouvelles licences et 304 renouvellements et 469 modifications d'une licence existante. Pour appuyer le traitement et l'évaluation par l'AFRN et l'échange de documents et d'informations entre un demandeur d'autorisation et l'organisme de réglementation, et conformément à l'initiative nationale de gouvernance intelligente, l'AFRN a mis en place une plateforme de demande d'autorisation en ligne, qui permet à un demandeur d'autorisation de fournir toutes les informations requises par l'Autorité, accompagnées de pièces justificatives. Il s'agit d'un système intégré qui reprend toutes les prescriptions réglementaires concernant l'autorisation d'activités et intègre dans un seul portail la sûreté, la sécurité et la non-prolifération. Ce système de demande d'autorisation en ligne est constamment mis à jour pour tenir compte des plus récentes prescriptions élaborées par l'AFRN et permet à cette dernière d'examiner de manière plus rapide et fiable les demandes d'autorisation et les rapports des demandeurs.

14.3.5. Améliorer le cadre juridique des ÉAU

Si l'on se reporte dix ans en arrière, on mesure toute l'importance des progrès accomplis. Les ÉAU ont, presque à partir de zéro, élaboré un cadre juridique complet en matière nucléaire, en se dotant d'une loi nucléaire portant sur la sûreté, la sécurité nucléaire et les garanties, complétée par une législation relative à la responsabilité nucléaire. L'AFRN a été créée en tant qu'organisme de réglementation nucléaire solide et indépendant. Un ensemble complet de règlements à l'appui de l'élaboration du programme électronucléaire, ainsi que de toutes les autres activités mettant en jeu des rayonnements ionisants dans le pays, a été établi et complété par un certain nombre de guides réglementaires. Des centaines de demandes d'autorisation ont été évaluées, notamment des demandes concernant des projets d'importance majeure, comme dans le cas des permis de construire correspondant aux quatre tranches de la centrale nucléaire de Barakah et des licences d'exploitation pour les deux premières tranches de cette centrale. Enfin et surtout, les ÉAU ont rempli avec diligence leurs engagements internationaux et ont mis en place un solide réseau à l'échelon international. Cela n'aurait pas été possible sans un cadre juridique solide, un organisme de réglementation nucléaire dynamique et les grandes compétences des spécialistes à l'œuvre dans le pays.

Il ne faudrait toutefois pas en conclure que le travail est achevé. L'autosatisfaction n'a pas sa place dans le monde du nucléaire, et il convient de tirer les enseignements de l'expérience acquise pendant toutes ces années en matière d'élaboration d'un programme électronucléaire ambitieux et de mise

en œuvre d'un cadre juridique nucléaire. Par ailleurs, des pratiques optimales nouvelles sont constamment recensées, les approches réglementaires ne cessent d'évoluer et de nouvelles technologies sont sans cesse mises au point. Compte tenu de ce qui précède et conformément aux recommandations de l'AIEA, le cadre juridique nucléaire national doit faire l'objet d'un suivi continu.

Dans ce contexte, deux séries différentes de documents doivent être prises en considération. D'un côté, le cadre réglementaire nucléaire doit être constamment actualisé. De fait, il est indispensable de veiller à ce que nos règlements et guides soient à jour et alignés sur les normes internationales les plus récentes, et tirent les enseignements de l'expérience que leur application permet d'acquérir. Comme indiqué précédemment, l'AFRN a mis en place un mécanisme d'examen systématique de l'adéquation des règlements à intervalles périodiques, mais il s'impose également d'observer de près et de suivre les faits nouveaux et progrès constatés dans les autres pays et au sein des organisations internationales qui peuvent nécessiter de déclencher plus tôt un tel examen.

Il importe également de renforcer le processus et les procédures internes couvrant l'élaboration de ce cadre réglementaire. L'AFRN s'emploie à améliorer sans cesse le processus d'élaboration et d'examen des règlements, pour s'assurer que leur rédaction est de grande qualité et que leurs dispositions sont renforcées compte tenu des besoins et circonstances nationaux, de façon que toutes les activités soient conduites d'une manière qui garantisse la meilleure protection des travailleurs, de la population et de l'environnement des ÉAU. Dans ce contexte, le processus d'élaboration et de révision des règlements a été récemment renforcé afin d'améliorer l'implication rapide des services opérationnels de l'AFRN et leur coopération, en organisant une contribution systématique du service des affaires juridiques. Les ÉAU s'efforcent, par l'intermédiaire de leur organisme de réglementation, d'établir un cadre réglementaire souple mais robuste.

D'un autre côté, l'examen régulier de la législation nucléaire est une autre activité très importante à mener. Comme on l'a vu, il ne peut y avoir de programme électronucléaire sans cadre juridique nucléaire solide et durable. Une certaine stabilité était nécessaire pour assurer au programme électronucléaire un lancement et un développement sans problème. Toutefois, il est tout aussi indispensable d'examiner minutieusement la législation nucléaire d'origine, d'en recenser les lacunes, de tirer les enseignements de l'application des dispositions juridiques, de détecter les éventuels problèmes et, enfin, d'établir des plans d'action pour y remédier.

La loi nucléaire a été adoptée en 2009, il y a plus de 12 ans. Plusieurs faits nouveaux se sont produits aux échelons international et national. Les ÉAU ont adhéré à de nouveaux instruments juridiques nucléaires internationaux, le cadre réglementaire national en matière nucléaire a progressé, des enseignements ont été tirés et des recommandations formulées par des missions d'examen

international par des pairs, et l'accident de Fukushima s'est produit. De plus, le monde avait dû faire face au cours des deux années écoulées à une pandémie qui avait contraint le secteur nucléaire et les organismes de réglementation nucléaire à travailler différemment. Des problèmes sont apparus et des solutions ont été élaborées. Les crises mondiales de ce type ont démontré la nécessité de disposer de cadres qui permettent également de réagir rapidement, avec souplesse et de façon innovante à des situations et circonstances imprévues, tout en continuant de réaliser l'objectif fondamental de sûreté, qui consiste à assurer la meilleure protection à la population et à l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Tous ces facteurs doivent être pris en considération et les ÉAU s'emploient actuellement à réexaminer leur législation nucléaire d'origine pour s'assurer qu'elle continue bien d'œuvrer à la réalisation des objectifs que le pays s'est fixés pour les 50 prochaines années.

Le renforcement du cadre juridique nucléaire doit reposer sur le concours d'agents expérimentés dans les domaines aussi bien technique que juridique. À cette fin, les ÉAU devaient développer et maintenir les compétences appropriées en matière de droit nucléaire en s'adressant à des juristes disposant des qualifications et de l'expérience nécessaires pour élaborer, réviser et appliquer une législation et des règlements nucléaires. Les ÉAU ont bénéficié de l'appui considérable que leur ont apporté l'AIEA et d'autres organisations internationales, telles que l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, qui organisent des formations intensives réputées à l'intention des spécialistes du droit nucléaire. En outre, l'AFRN s'est activement employée à élaborer un programme sur mesure de formation au droit nucléaire, en collaboration avec un cabinet de conseil juridique réputé, pour offrir à de jeunes diplômés émiriens une formation aux questions de droit nucléaire qui associe cours théoriques et formation sur le tas.

RÉFÉRENCES

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2010), Étapes du développement d'une infrastructure nationale pour l'électronucléaire, n° NG-G-3.1 de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014), General Conference Plenary Record of the Fourth Meeting, GC(57)/OR.4. https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc57or-4_en.pdf, page consultée le 15 octobre 2021.

Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2019), Étapes du développement d'une infrastructure nationale pour l'électronucléaire, n° NG-G-3.1 (Rev. 1) de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA. AIEA, Vienne. Policy of the United Arab Emirates on the Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy (2008) www.fanr.gov.ae/en/Lists/LawOfNuclear/Attachments/2/20100523_nuclear-policy-eng.pdf.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

15. ÉTABLISSEMENT DE L'AUTORITÉ DE SÛRETÉ ET DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES DU ROYAUME DU MAROC : METTRE EN COMMUN LES DONNÉES D'EXPÉRIENCE ET LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS

Khammar Mrabit

Résumé À l'exemple de plusieurs pays, le Royaume du Maroc a, au milieu du XX^e siècle, adopté, dans les domaines médicaux et industriels, des techniques nucléaires qui ont connu un développement plus important et soutenu à la suite de son adhésion à l'AIEA en 1957. Le présent chapitre expose l'évolution de l'infrastructure nucléaire et radiologique du Maroc au cours des 60 dernières années et les perspectives de développement futur de cette infrastructure. Le chapitre décrit les efforts constants menés par les autorités publiques pour mettre à niveau le cadre réglementaire nucléaire et radiologique national conformément aux obligations internationales en matière de sûreté, de sécurité et de garanties. À cet égard, l'Agence marocaine de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques (AMSSNuR) est depuis sa création mue par la volonté et l'ambition de réaliser son idée de devenir, à l'échelle nationale, un organisme de réglementation indépendant, efficace, fiable et transparent, ainsi qu'une entité de premier plan à l'échelle africaine et un acteur majeur sur le plan international. L'expérience marocaine en matière de gouvernance et de gestion de la sûreté et de la sécurité est soulignée, et les enseignements tirés et l'expérience acquise dans ce domaine par l'AMSSNuR sont mis en commun.

Mots clés Techniques nucléaires dans les domaines médicaux et industriels • Infrastructure nucléaire et radiologique • Cadre réglementaire nucléaire et radiologique national • Agence marocaine de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques (AMSSNuR) • Gouvernance et gestion de la sûreté et de la sécurité • Enseignements tirés • Plan stratégique de l'AMSSNuR

15.1. INTRODUCTION

Dans un rapport publié en septembre 2020 par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à l'issue de sa 64^e Conférence générale¹, il était

¹ AIEA 2020a.

indiqué que la technologie nucléaire connaissait un développement considérable au niveau international, en particulier dans les domaines des applications énergétiques, des applications des accélérateurs et des réacteurs de recherche, des technologies des radio-isotopes et des rayonnements, de la santé humaine et des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture. Dans son Rapport d'ensemble sur la sûreté nucléaire 2020², l'AIEA a décrit les tendances observées et les activités menées dans le monde en lien avec ses divers programmes, tout en mettant l'accent sur les progrès et priorités en matière de renforcement de la sûreté nucléaire et radiologique ainsi que de la sûreté du transport et des déchets à l'échelle internationale.

Ces réflexions sont directement liées, entre autres, aux aspects suivants :

- la révision des normes de sûreté et des orientations sur la sécurité de l'AIEA, leur application grâce à la formation théorique et pratique, aux examens par des pairs et aux services consultatifs organisés par l'AIEA à la demande de ses États Membres, ainsi que les enseignements tirés des accidents qui se sont produits à Goiânia et dans les centrales nucléaires de Fukushima Daiichi et de Tchernobyl et d'autres accidents et incidents ;
- l'efficacité et l'application des règlements concernant la préparation et la conduite des interventions d'urgence nucléaire, radiologique ou en matière de transport, de déchets et de sûreté.

Au nombre de ces progrès figure également l'adoption par les États Membres de conventions juridiquement contraignantes et d'instruments non contraignants, tels que les codes de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, la sûreté nucléaire et la sûreté de la gestion du combustible usé, ainsi que sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs.

Dans le domaine de la sécurité nucléaire, un rapport de l'AIEA³ à la 64^e Conférence générale a fait le point sur les activités menées dans ce domaine, les utilisateurs externes de la Base de données sur les incidents et les cas de trafic (ITDB), et les activités passées et prévues des réseaux d'enseignement, de formation et de collaboration.

À cette fin, les États doivent s'engager à renforcer en permanence la sûreté, la sécurité et les garanties, et à mettre en place une structure de gouvernance nucléaire qui tienne compte de leurs interfaces et de leurs spécificités. En outre, l'AIEA doit continuer d'appuyer, à la demande des États Membres, les efforts qu'ils déploient pour établir et maintenir des régimes de sécurité nucléaire efficaces et durables.

² AIEA 2020b.

³ AIEA 2020c.

Dans ce cadre, le présent chapitre retrace l'évolution de l'infrastructure nucléaire et radiologique du Maroc au cours des 60 dernières années, expose les perspectives de développement futur de cette infrastructure et décrit les efforts constants menés par les autorités publiques pour améliorer le cadre réglementaire nucléaire et radiologique national conformément aux obligations internationales en matière de sûreté, de sécurité et de garanties. Il attire l'attention sur l'expérience acquise en matière de gouvernance et de gestion de la sûreté et de la sécurité, et partage les enseignements tirés et l'expérience acquise dans ce domaine par l'Agence marocaine de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques (AMSSNuR).

15.2. ÉVOLUTION DES APPLICATIONS NUCLÉAIRES AU MAROC

À l'exemple de plusieurs pays, le Royaume du Maroc a, au milieu du XX^e siècle, adopté, dans les domaines médicaux et industriels, des techniques nucléaires qui ont connu un développement plus important et soutenu à la suite de son adhésion à l'AIEA en 1957. Dans ce cadre, le Maroc a progressivement lancé de nouveaux programmes dans différents secteurs socioéconomiques, en particulier ceux de la santé, de l'industrie, des activités extractives, de l'agriculture, de l'enseignement supérieur et de la recherche. En l'état actuel des choses, la situation dans ces secteurs peut être décrite comme suit :

- La médecine (radiologie, médecine nucléaire, radiothérapie, etc.) représente plus de 80 % des installations et activités faisant appel à des sources de rayonnements ionisants. Ainsi le domaine de la santé fait-il état de plus de 7 000 appareils de radiologie, de plus de 300 scanners, de 40 accélérateurs d'électrons utilisés dans le cadre de traitements et de 24 centres de médecine nucléaire. Ces chiffres sont appelés à augmenter du fait de la construction de nouveaux centres régionaux et du développement de l'assurance maladie obligatoire.
- Les radiopharmaceutiques sont produits à l'aide de deux cyclotrons installés à Bouznika et Bosker. Ces installations sont gérées par des entreprises privées qui fournissent aux centres de médecine nucléaire des produits radioactifs à des fins radiodiagnostiques, en particulier le fluor 18. Le Centre national de l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires (CNESTEN) produit d'autres radioéléments, comme l'iode 131, à l'aide du réacteur de recherche TRIGA Mark II. Par ailleurs, le CNESTEN gère l'importation et la distribution régulières de plusieurs radioéléments utilisés par les centres de médecine nucléaire, ce qui donne lieu à une importante activité de transport de matières radioactives à l'échelon national.

- Le secteur industriel comporte plusieurs installations et activités utilisant des sources de rayonnements ionisants (SRI), notamment pour des processus tels que le contrôle de la production de sucre, de ciment ou de papier, le raffinage du pétrole, les activités extractives et la métallurgie. Plus de dix entreprises fournissent des services techniques dans le domaine de la radiographie industrielle utilisant des SRI ; la plus importante est le Laboratoire public d'essais et d'études (LPEE), qui fournit des services pour les travaux de génie civil tels que la construction de bâtiments et les chantiers routiers et industriels.
- En ce qui concerne l'agriculture, les études agronomiques sont conduites par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), l'Institut agronomique et vétérinaire (IAV) Hassan II et les offices régionaux de mise en valeur agricole (ORMVA). Dans son centre régional de Tanger, l'INRA exploite un irradiateur semi-industriel qui utilise une source au cobalt 60 de très haute activité, et l'Institut gère des laboratoires spécialisés dans la recherche agronomique et la dosimétrie. Dans le domaine vétérinaire, outre l'IAV Hassan II, qui assure des activités d'enseignement, de formation et de recherche, une douzaine de centres régionaux publics et privés utilisent des appareils de radiologie à des fins de médecine vétérinaire. L'Office national de sécurité sanitaire des produits alimentaires (ONSSA) envisage de construire une installation d'irradiation à Agadir qui utilisera des sources au cobalt 60 pour stériliser des ravageurs.
- Dans les domaines du transport et des contrôles aux frontières, une dizaine d'entreprises s'occupent du transport de matières radioactives, disposent de véhicules spécialisés et sont habilitées à cet effet. Aux frontières, les ports et aéroports sont équipés de scanners pour le contrôle des marchandises et pour la sécurité. En ce qui concerne le trafic portuaire et aéroportuaire, plusieurs organismes de sécurité et de contrôle, comme la Gendarmerie royale, la police et la douane, gèrent les aspects liés à la sûreté et à la sécurité.
- La recherche et la formation sont assurées principalement par le CNESTEN, qui dispose depuis 2009 d'un réacteur de recherche nucléaire de 2 MW au Centre d'études nucléaires de la Maâmora (CENM). Le CENM comprend d'autres installations et activités qui utilisent des SRI à des fins de production de radiopharmaceutiques, de gestion des déchets radioactifs générés au niveau national, d'applications industrielles et environnementales, de recherche, d'étalonnage des équipements de radioprotection, de transport et de formation. De leur côté, les universités possèdent des laboratoires qui utilisent les SRI pour la recherche, l'étalonnage des appareils de mesure, la formation et l'enseignement dans les domaines de la physique, de la métrologie, de la médecine, de la géologie, etc.

- En ce qui concerne la gestion des déchets radioactifs, la loi portant création du CNESTEN a désigné celui-ci comme organisation nationale chargée de la gestion centralisée des déchets radioactifs générés par l'ensemble des utilisateurs médicaux, industriels et autres. Il dispose des installations et équipements nécessaires pour le traitement des déchets radioactifs ainsi que leur conditionnement et leur entreposage. En coopération avec le CNESTEN, l'AMSSNuR a élaboré une politique et stratégie nationales de sûreté de la gestion des déchets radioactifs et établit régulièrement le rapport national requis par la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs.
- Dans le domaine de l'électronucléaire, le Ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement (MEME) a créé en 2009 le Comité de réflexion sur l'électronucléaire et le dessalement de l'eau de mer par la voie nucléaire (CRED) et l'a chargé d'étudier les conditions d'introduction de l'électronucléaire au Maroc conformément aux directives et recommandations de l'AIEA. Dans ce contexte, le Maroc a accueilli en 2015 une mission d'examen intégré de l'infrastructure nucléaire (INIR) de l'AIEA, qui a débouché sur une quinzaine de recommandations et observations, dont un grand nombre ont trait au cadre législatif et réglementaire, à la sûreté nucléaire et à la radioprotection.
- La préparation en vue de situations d'urgence nucléaire ou radiologique et la gestion de ces situations conformément aux normes de sûreté de l'AIEA ont conduit à appliquer des règlements spécifiques et à mettre sur pied une organisation regroupant toutes les parties prenantes, telles que les Ministères de l'intérieur et de la défense, la Direction générale de la protection civile (DGPC), la Gendarmerie royale et la Direction générale de la sûreté nationale (DGSN).

15.3. ÉVOLUTION DU CADRE RÉGLEMENTAIRE NATIONAL DE LA SÛRETÉ ET DE LA SÉCURITÉ NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES

Depuis qu'il est devenu membre de l'AIEA, en 1957, le Royaume du Maroc s'est engagé à mettre en œuvre les normes de sûreté et les orientations de sécurité ultérieures de l'Agence. C'est ainsi que les techniques nucléaires et radiologiques ont été promues d'une manière sûre, sécurisée et pacifique.

Dans cette optique, le Maroc a adopté en 1971 la loi n° 005-71⁴ relative à la protection contre les rayonnements ionisants et ses décrets d'application, afin de

⁴ Bulletin officiel 1971, p. 1204.

fixer les principes généraux de protection contre le risque lié aux SRI dans toutes les installations et dans le cadre de toutes les activités, depuis la conception et la construction jusqu'à la mise en service, à l'utilisation et au déclassé, y compris en ce qui concerne l'installation de réacteur de recherche nucléaire du pays. Cette installation a été agréée en vertu de décrets communs pris par les Ministères de l'énergie et de la santé, responsables de la sûreté nucléaire et de la radioprotection jusqu'en octobre 2016.

En adoptant en 2014 une nouvelle loi, la loi n° 142-12⁵, sur la sûreté et la sécurité nucléaires et radiologiques et la création de l'AMSSNuR, le Maroc a franchi une étape importante vers le renforcement de son cadre réglementaire, conformément aux normes de sûreté et aux orientations sur la sécurité nucléaire de l'AIEA. Cette loi s'appuie sur la législation type de l'AIEA pour l'intégration de la sûreté, de la sécurité et des garanties (le « concept SSG »).

La création de l'AMSSNuR en tant qu'organisme de réglementation unique visait à réglementer la sûreté et la sécurité nucléaires et radiologiques et les garanties nucléaires, et à séparer les activités de promotion des activités de contrôle réglementaire. Au niveau international, le Royaume du Maroc a signé et ratifié tous les traités et conventions internationaux sur la sûreté et la sécurité nucléaires, le dernier en date étant la Convention sur la sûreté nucléaire en mai 2019.

15.4. RÔLE ET RÉALISATIONS DE L'AMSSNuR

L'AMSSNuR est un établissement public de nature stratégique dont la mission consiste à faire en sorte que la sûreté et la sécurité nucléaires et radiologiques ainsi que les activités et installations mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants soient conformes aux dispositions de la loi n° 142-12 et des règlements connexes, qui sont elles-mêmes compatibles avec les instruments internationaux, normes de sûreté et orientations sur la sécurité nucléaire pertinents. L'Agence a pour fonctions principales de réglementer, d'examiner et d'évaluer, d'autoriser, d'inspecter et de sanctionner, ainsi que d'informer le public sur les questions de sûreté et de sécurité tout en protégeant les informations sensibles et confidentielles, de fournir un appui à l'État sur des questions pertinentes et de promouvoir la coopération régionale et internationale.

À la suite de la création de l'AMSSNuR par la loi n° 142-12, Sa Majesté le Roi Mohammed VI m'a nommé en 2016 comme premier Directeur général pour édifier cette institution stratégique et en faire un organisme de réglementation

⁵ Bulletin officiel 2014, p. 4090 à 4113.

indépendant, efficace, fiable et transparent aux niveaux national, régional et international.

15.4.1. Modèle de gouvernance et de gestion de l'AMSSNuR

Sur la base d'une solide expérience professionnelle de plus de 30 ans acquise en matière de sûreté et de sécurité à l'AIEA, j'ai présenté la vision à long terme, le plan stratégique 2017-2021 et la feuille de route correspondante, ainsi que les mécanismes de gouvernance et de gestion qui ont été adoptés lors de la première réunion du Conseil d'administration, tenue en octobre 2016 sous la présidence du Chef du Gouvernement marocain.

15.4.2. Vision à long terme

L'AMSSNuR est depuis sa création mue par la volonté et l'ambition de réaliser son idée de devenir, à l'échelle nationale, un organisme de réglementation indépendant, efficace, fiable et transparent, ainsi qu'une entité de premier plan à l'échelle africaine et un acteur majeur sur le plan international.

15.4.3. Objectifs stratégiques pour 2017-2021

Compte tenu de l'environnement national et international qui existait au moment de sa création, l'AMSSNuR a arrêté ses stratégies et ses objectifs pour 2017-2021, à savoir :

- a) améliorer le cadre réglementaire national de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques ;
- b) élever le niveau de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques dans toutes les installations et activités mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants ;
- c) établir et mettre en œuvre le système national de sécurité nucléaire et le plan national d'intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique ;
- d) élaborer une politique de communication transparente et fiable en matière de sûreté et de sécurité ;
- e) mettre en place et entretenir des capacités humaines et organisationnelles ;
- f) enrichir et renforcer la coopération régionale et internationale ;
- g) suivre l'expérience acquise dans les domaines de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques.

Dans sa feuille de route, conformément à la loi n° 142-12 et aux meilleures pratiques nationales et internationales, l'AMSSNuR rend compte régulièrement chaque année, ce depuis cinq ans, au Conseil d'administration, présidé par le Chef du Gouvernement marocain, et procède à des auto-évaluations qui lui permettent d'améliorer constamment la sûreté et la sécurité sur le plan national et de contribuer à les renforcer aux niveaux régional et international. Par ailleurs, l'AMSSNuR a planifié, à partir de 2021, des examens par des pairs, notamment des missions du Service intégré d'examen de la réglementation (IRRS) et des missions d'examen de la préparation aux situations d'urgence (EPREV) de l'AIEA, qui ont été reportées à 2022, ainsi que d'autres examens par des pairs de l'AIEA, tels que ceux du Service consultatif international sur la protection physique (IPPAS) et du Service consultatif international sur les SNCC (ISSAS).

15.4.4. Adoption des Principes liés aux pratiques de bonne gouvernance

Pour atteindre ses objectifs et réaliser ses ambitions stratégiques, l'AMSSNuR a adopté les Principes du Code marocain de pratiques de bonne gouvernance pour les entreprises et établissements publics (EEP), qui ont permis de créer en 2018 le Comité d'audit et le Comité scientifique. L'Agence a également appliqué les décisions prises par son Conseil d'administration lors de ses réunions annuelles, ainsi que celles de son autorité de surveillance et du Ministère de l'économie et des finances, décisions dont l'objectif est de promouvoir la responsabilité, la qualité des prestations et la transparence.

15.4.5. Élaboration du système intégré de gestion

En se fondant sur les recommandations de l'AIEA, l'AMSSNuR a entrepris d'élaborer et de mettre en place son système intégré de gestion (SIG) qui couvre ses fonctions réglementaires ainsi que les éléments relatifs au développement de ses ressources humaines, financières et autres ressources de qualité et à ses aspects organisationnels. Le SIG a été conçu et mis en place dans le cadre de la coopération avec l'Union européenne et a bénéficié du retour d'information de plusieurs organismes de réglementation européens. De ce fait, on peut considérer le SIG de l'AMSSNuR comme conforme aux prescriptions réglementaires nationales en vigueur pour ce qui est de la sûreté, de la sécurité, des garanties et de la gouvernance, et aux normes internationales en matière de qualité, de protection de l'environnement, de protection de la santé et d'informations sur la santé, et de systèmes de sécurité. Les objectifs du SIG contribuent à ancrer à l'AMSSNuR la culture de la sûreté et de la sécurité et les capacités de direction en la matière et, ce faisant, à maintenir un niveau élevé de sûreté et de sécurité dans les installations et dans le cadre d'activités mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants au Maroc.

15.5. PRINCIPALES RÉALISATIONS PAR DOMAINE STRATÉGIQUE

La présente section met en évidence les principales réalisations du plan stratégique pour 2017-2021 par axe stratégique. Elle met également en vedette les enseignements tirés et l'expérience acquise par l'Agence marocaine, ainsi que l'impact de ses activités sur l'amélioration de la sûreté et de la sécurité en vue d'en faire part à tous les organismes apparentés.

15.5.1. Mise à niveau du cadre réglementaire national en matière de sûreté, de sécurité et de garanties

Conformément à ses fonctions principales en matière d'élaboration d'une réglementation nationale, l'AMSSNuR a mis en œuvre à partir de 2017 une stratégie de mise à niveau du cadre réglementaire en matière de sûreté, de sécurité et de garanties, tâche qui est l'une des obligations prioritaires découlant de la loi n° 142-12 et des orientations stratégiques adoptées par son Conseil d'administration.

À la fin du plan quinquennal 2017-2021, l'AMSSNuR a été en mesure d'élaborer et de soumettre au Chef du Gouvernement 56 projets de texte réglementaire dont dépendait l'application de la loi n° 142-12 et couvrant tous les aspects de la sûreté, de la sécurité et des garanties (voir la figure 15.1). Ces résultats sont l'aboutissement des consultations menées auprès de toutes les parties prenantes nationales représentées au sein d'un comité national composé de plus de 30 membres. Ces consultations avaient été organisées pour mettre à niveau le cadre réglementaire en matière de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques établi en 2017 sur la base d'une politique et d'une stratégie claires adoptées et mises en œuvre par tous les membres du comité.

15.5.2. Renforcement de la sûreté et de la sécurité au niveau national

Dans l'exercice de ses fonctions réglementaires liées à l'examen et à l'évaluation de la sûreté et de la sécurité et au contrôle réglementaire, l'AMSSNuR a mis en œuvre un plan de renforcement de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques dans toutes les installations et activités mettant en jeu des SRI. Au cours de la période 2017-2021, ces activités ont débouché sur les résultats suivants :

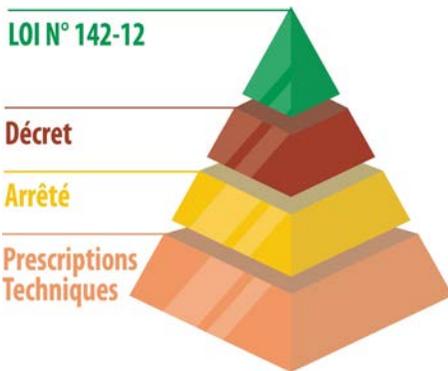
- la délivrance de plus de 4 650 autorisations ;
- l'inspection de plus de 2 540 activités et installations ;
- la conduite de six inspections réglementaires du réacteur de recherche du CNESTEN ;
- l'établissement du registre national des SRI.

Ces résultats ont été obtenus dans le cadre d'une approche participative et graduée adoptée par l'AMSSNuR avec toutes les parties prenantes. Entre autres facteurs, ils ont largement contribué à l'amélioration des cultures de sûreté et de sécurité.

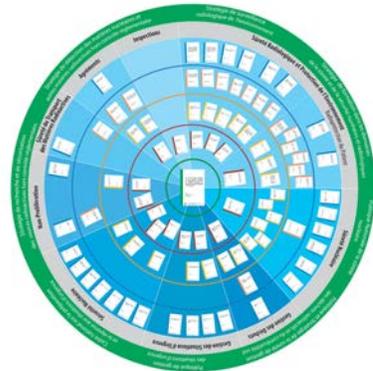
15.5.3. Appui aux autorités gouvernementales

En ce qui concerne l'appui aux autorités gouvernementales, en particulier l'aide à fournir à l'État pour mettre en place le système national de sécurité nucléaire et élaborer le plan national d'intervention en cas d'urgence radiologique, l'AMSSNuR a pu mettre pleinement en œuvre son plan stratégique pour 2017-2021. En particulier, à la fin de la période couverte par ce plan, elle a été en mesure, agissant en étroite coopération avec les départements et autorités compétents, de mettre en œuvre ce qui suit :

- le système national de sécurité nucléaire ;
- le Plan intégré d'appui en matière de sécurité nucléaire ;
- la stratégie nationale de détection en matière de sécurité nucléaire ;
- le plan de sécurisation des sources radioactives ;
- une contribution effective à la mise en œuvre de l'Initiative mondiale de lutte contre le terrorisme nucléaire ;
- l'application des dispositions du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires ;
- le plan national d'intervention en cas d'urgence radiologique.



Pyramide des textes réglementaires nationaux appliquant la loi n° 142-12.



Structure arborescente des textes appliquant la loi n° 142-12.

Fig. 15.1 Hiérarchie des textes réglementaires. Source : Bulletin officiel 2014.

En outre, l'AMSSNuR aide et conseille l'État pour ce qui est d'honorer les engagements découlant des conventions et traités ratifiés par le Maroc (désignation des points de contact, élaboration et présentation à l'AIEA des rapports nationaux, participation à des conférences d'examen et analyse des conventions).

15.5.4. Information et communication

Étant donné l'obligation d'informer le public quant à la situation en matière de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques au niveau national et de communiquer avec toutes les parties prenantes, l'AMSSNuR a élaboré une politique et une stratégie reposant sur le recensement des parties prenantes et a structuré une communication interne et institutionnelle ainsi qu'une communication avec les médias, avec des organisations n'appartenant pas aux médias et avec les réseaux sociaux. La stratégie de communication couvre également la dimension internationale et le suivi des situations d'urgence nucléaire ou radiologique.

En ce qui concerne les réalisations dans ce domaine, l'AMSSNuR dispose actuellement d'un répertoire, d'outils et d'une expérience basés sur ce qui suit :

- le site web de l'Agence et ses comptes sur les réseaux sociaux ;
- des rapports d'activité annuels, des brochures et des dépliants ;
- des réunions régionales avec des professionnels et d'autres conférences et séminaires;
- une couverture médiatique (plus de 1 000 interventions dans les médias), des dossiers destinés aux médias et des conférences de presse.

Il s'agit, grâce à la politique d'information et de communication, d'améliorer la transparence et la fiabilité de l'information.

15.5.5. Développement et maintien des capacités humaines et organisationnelles

L'AMSSNuR sait qu'il importe, comme l'ont recommandé l'AIEA et le Réseau mondial de sûreté et de sécurité nucléaires (GNSSN), de développer et de maintenir des capacités en matière de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques aux niveaux interne et national, en particulier les quatre piliers que sont, respectivement, les ressources humaines, la formation théorique et pratique à la sûreté et à la sécurité, la gestion des connaissances et la mise en place de partenariats. Elle a adopté un plan spécifique pour chaque pilier.

En ce qui concerne la mise en valeur des ressources humaines, les effectifs de l'AMSSNuR sont passés d'une personne en 2016 à 84 personnes en 2021, une importance primordiale étant accordée à l'égalité des genres, les employés étant à 48 % des femmes et 43 % des postes de direction étant occupés par des femmes. Sont également prioritaires le renforcement des compétences et la formation permanente, l'Agence ayant, au cours de la période considérée, assuré environ 2 300 jours, soit une moyenne de sept semaines, de formation par personne.

Au niveau national, l'AMSSNuR a formulé une stratégie de formation théorique et pratique en sûreté et sécurité nucléaires et radiologiques, qui a permis de recenser plus de 13 000 personnes devant acquérir une formation ou une qualification au niveau national et plus de 300 personnes devant le faire au niveau africain.

En ce qui concerne les postes de responsabilité, l'Agence a défini une stratégie pour la conception et la mise en place de son SIG en élaborant un manuel, un schéma de processus et des fiches de processus et de procédure portant sur les macroprocessus consacrés aux opérations, à la gouvernance et à l'appui (22 fiches de processus, 36 procédures et 19 sous-procédures ont été élaborées) (voir la figure 15.2).

Dans le cadre de son approche graduée, l'AMSSNuR a entrepris en 2020 d'exécuter trois processus opérationnels pilotes (autorisation, règlements et garanties nucléaires) et prévoit de mener à bien les travaux de recherche en matière d'essais, de mise en œuvre et d'amélioration d'ici à la fin de 2022 avant d'actualiser sa documentation.

En sus des processus et des procédures, le SIG de l'Agence vise à promouvoir et à développer une culture de la sûreté et de la sécurité et les capacités de direction en la matière aussi bien en interne que parmi les exploitants

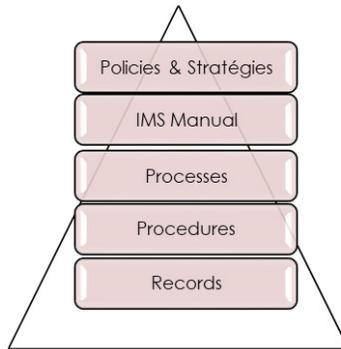


Fig. 15.2 Hiérarchie des documents du SIG. Source : AMSSNuR.

du secteur. À cette fin, l'Agence a élaboré plusieurs politiques et stratégies administratives et nationales. Celles-ci concernent :

- le contrôle radiologique de l'environnement ;
- la sûreté de la gestion des déchets radioactifs et des sources radioactives retirées du service ;
- la sûreté nucléaire ;
- la détection des matières nucléaires et des autres sources radioactives non soumises à un contrôle réglementaire ;
- la préparation et la conduite des interventions en cas d'urgence nucléaire ou radiologique (PCISUNR) ;
- la formation en sûreté et sécurité nucléaires et radiologiques.

Il convient également de noter qu'en relevant le défi majeur de l'intégration de ces différentes politiques et stratégies dans un système de gestion unique, on pourra assurer un niveau de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques encore plus élevé.

Parallèlement à son SIG, l'AMSSNuR a mis en place une série de systèmes d'information dédiés à :

- la numérisation des activités opérationnelles liées à la délivrance d'autorisations, à la réglementation, aux inspections, aux garanties, aux sanctions et aux situations d'urgence nucléaire et radiologique ;
- la gestion des ressources humaines ;
- la gestion budgétaire et financière.

15.5.6. Instauration et renforcement de la coopération régionale et internationale

À la fin de son plan stratégique pour 2017-2021, l'AMSSNuR a pu constituer et renforcer son réseau de partenariat national et international en signant :

- dix accords de coopération avec les départements et autorités publiques compétents qui participent de manière directe ou indirecte aux activités liées à la sûreté et à la sécurité nucléaires et radiologiques ;
- huit accords de coopération avec les organismes apparentés de l'Allemagne, du Canada, de la Chine, de l'Espagne, des États-Unis d'Amérique, de la Fédération de Russie, de la France et de la Hongrie ;
- quatre accords de coopération avec les organismes apparentés du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, de la Mauritanie et du Rwanda ;

- un projet quinquennal de coopération avec l'Union européenne, d'un montant de 2 millions d'euros ;
- deux contrats de coopération triangulaire AIEA-AFRA-Pays africain passés avec la Côte d'Ivoire et la Mauritanie, respectivement.

Par ailleurs, l'AMSSNuR a, dans le cadre de la mise en œuvre de sa stratégie de coopération :

- organisé, entre 2017 et 2020, plus de 100 événements de portée nationale, régionale ou internationale ;
- contribué à former plus de 2 000 personnes, soit plus de 10 000 journées ;
- mobilisé plus de 100 semaines d'expert pour l'ensemble des activités de l'Agence liées à la sûreté et à la sécurité ;
- accueilli plus de 20 boursiers africains qui ont contribué à renforcer ses activités de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques ;
- renforcé sa capacité d'inspection et de contrôle des installations et activités mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants au niveau national.

En outre, le programme de coopération de l'AMSSNuR est marqué par les rapports étroits entretenus avec l'AIEA, qui demeure son principal partenaire international, en particulier au travers de :

- a) la reconnaissance de l'AMSSNuR par l'AIEA en tant que :
 - centre régional de renforcement des capacités dans le domaine de la préparation et de la gestion des interventions d'urgence radiologique ;
 - premier centre collaborateur de l'AIEA en Afrique pour le renforcement des capacités en matière de sécurité nucléaire.
- b) la présidence de réseaux de coopération :
 - Forum des organismes de réglementation nucléaire en Afrique (FNRBA) ;
 - Réseau mondial de sûreté et de sécurité nucléaires (GNSSN) ;
 - Réseau international de formation théorique et pratique à la préparation et à la conduite des interventions d'urgence (iNET-EPR).

15.5.7. Surveillance internationale

En suivant les faits nouveaux au niveau international et grâce à l'échange de données d'expérience avec les autres pays dans les domaines de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques, l'AMSSNuR :

- apporte sa contribution aux réunions des parties contractantes aux instruments internationaux pertinents ;
- établit, en consultation avec les parties prenantes nationales, les rapports nationaux qu'exigent les instruments internationaux et les présente à leurs organes de coordination (Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, Convention sur la sûreté nucléaire, Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire, Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique, etc.).

Ce suivi a pour objectif d'obtenir l'adhésion au régime international de la sûreté et de la sécurité nucléaires et radiologiques et le respect de ses dispositions, et d'agir dans le cadre des organes directeurs des conventions internationales et de leurs commissions.

15.6. CONCLUSION

En mettant en œuvre son plan stratégique pour 2017-2021, l'AMSSNuR a pu :

- consolider le régime national de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques, renforcer les processus d'ouverture, de transparence et d'amélioration continue que le Maroc a fait siens dans ce domaine et, par là, accroître sa crédibilité au niveau international et améliorer son positionnement au niveau régional ;
- renforcer ses compétences et développer les capacités nationales en matière de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques, notamment en menant des activités de sensibilisation des parties prenantes nationales et de communication en toute transparence avec la communauté internationale ;
- appuyer le développement d'une culture de sûreté et de sécurité et de capacités de direction en la matière aux niveaux national et régional, tout en confirmant son dynamisme et son rôle moteur ; veiller à ce que l'organisme de réglementation soit dynamique et mène les activités technologiques et scientifiques pertinentes ;

- promouvoir la coopération et les partenariats aux niveaux régional et international ;
- être à l'origine d'évaluations menées par l'AIEA, en particulier les missions IRRS et EPREV, prévues pour 2022 ;
- contribuer à promouvoir et à améliorer constamment les activités de sûreté et de sécurité grâce aux réseaux de connaissances, à la formation théorique et pratique et au partage de données d'expérience et d'enseignements tirés de cette expérience.

Toutes ces réalisations témoignent de l'engagement permanent de l'AMSSNuR en tant qu'organisme de réglementation dynamique et spécialiste des activités de réglementation liées à la sûreté et à la sécurité nucléaires et radiologiques aux niveaux national, régional et international. L'AMSSNuR est prête et disposée à partager ses données d'expérience et à renforcer sa collaboration avec les organismes qui lui sont apparentés et ses partenaires concernés. À l'avenir, l'AMSSNuR entend resserrer encore ses liens de coopération avec ses partenaires régionaux et internationaux en vue d'améliorer constamment la sûreté et la sécurité à l'échelle régionale et mondiale.

RÉFÉRENCES

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020a), Rapport d'ensemble sur la technologie nucléaire 2020, GC(64)/INF/2.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020b), Rapport d'ensemble sur la sûreté nucléaire 2020, GC(64)/INF/3.
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2020c), Rapport sur la sécurité nucléaire 2020, GOV/2020/31-GC(64)/6.
- Bulletin officiel (1971), Loi n° 005-71 du 12 octobre 1971 relative à la protection contre les rayonnements ionisants. *In* : El Fekkak M. (éd.) Répertoire de la législation du travail (1994). Librairie Al Wahda Al Arabia, Casablanca (Maroc), p. 717.
- Bulletin officiel (2014), Loi n° 142-12 du 22 août 2014 relative à la sûreté et à la sécurité nucléaires et radiologiques et à la création de l'Agence marocaine de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques. <https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/SERIAL/93657/109579/F930113526/MAR-93657.pdf>, page consultée le 15 octobre 2021.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs/éditeurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de son Conseil des gouverneurs ou des pays qu'ils représentent.

Droit nucléaire :

le débat mondial

Ce livre retrace le parcours du droit nucléaire : ses origines, son évolution, sa situation actuelle et son avenir. En tant que discipline, ce corpus juridique hautement spécialisé nous permet de bénéficier des applications vitales de la science et de la technologie nucléaires, qui permettent de diagnostiquer le cancer ou encore de prévenir et d'atténuer les effets du changement climatique. Cet ouvrage vise à donner aux lecteurs un aperçu de l'avenir du droit, de la science et de la technologie nucléaires. Il vise à susciter une réflexion et un débat sur la façon dont nous pouvons profiter au mieux des bienfaits de la science et de la technologie nucléaires tout en minimisant les risques inhérents. Ce recueil d'essais présente un aperçu complet du point de vue des disciplines mais aussi de la géographie. L'ouvrage s'adresse aux représentants de gouvernements – notamment les responsables de la réglementation, les décideurs et les législateurs – ainsi qu'aux représentants des organisations internationales et des professionnels du droit et de l'assurance. Il intéressera tous ceux qui souhaitent mieux comprendre le rôle du droit dans l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique de la technologie nucléaire dans le monde.

Les contributions à cet ouvrage sont rédigées par des experts de premier plan, dont le Directeur général de l'AIEA, et traitent des quatre branches du droit nucléaire – sûreté, sécurité, garanties et responsabilité nucléaire – ainsi que de l'interaction du droit nucléaire avec d'autres domaines du droit national et international.