LIVRE BLANC

de l'ingénierie du futur



Construisons ensemble l'ingénierie de demain

Une initiative du groupe Cogito





« Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible. »

Antoine de Saint-Exupéry

Au regard des défis environnementaux, sociaux et sociétaux auxquels est confronté notre monde, cette philosophie optimiste doit résolument servir d'étoile polaire. L'ingénierie est un acteur majeur pour contribuer à répondre à ces enjeux et construire le monde de demain.

L'ingénierie est une profession créatrice de richesses avec un chiffre d'affaires de 42,3 milliards d'euros réalisé par 73 000 entreprises qui emploient 312 00 salariés, en France, en 2020 (chiffres Syntec Ingénierie 2020).

L'ingénierie est donc au cœur des besoins et des attentes des entreprises et des décideurs publics. En tant que dirigeant d'Egis, je suis fier que notre Groupe et nos ingénieur.es inventent, construisent et exploitent tous les jours des ouvrages de haute technicité, au service des territoires.

Pour continuer à être un acteur majeur impactant au niveau de la Société, nous devons toujours nous requestionner. L'ingénierie se doit de se transformer, se réinventer grâce au digital, continuer de proposer des solutions innovantes, participer de manière beaucoup plus forte à la neutralité carbone du monde qui nous entoure. C'est ainsi une chance et une opportunité donnée aux acteurs du secteur de l'ingénierie de contribuer à construire un développement durable des territoires, de mieux lutter contre le changement climatique et ainsi participer pleinement aux transitions de demain.

Au-delà de son excellence technique, l'ingénierie Française a toujours été un secteur se caractérisant par sa capacité d'innovation et de créativité. Utiliser l'innovation technologique comme porteuse de progrès et la créativité comme source de développement sont les clés pour construire des solutions qui répondent aux urgences actuelles.

Pour être capable d'inventer ces solutions, il faut d'abord réaliser ce travail d'introspection pour se réinventer soi-même. Ainsi, une des phrases citées lors du World Economic Forum est particulièrement vraie: « in the world, it is not the big fish which eats the small fish, it's the fast fish which eats the slow fish ». C'est l'objet de ce livre blanc qui est d'abord le fruit d'un collectif d'ingénieur.e.s issus de différents métiers, expérience et ancienneté qui se réunissent dans le cadre d'une communauté pour échanger, confronter leurs points de vue, apprendre ensemble et en ressortir des idées qui font et feront bouger les choses. S'interroger, se challenger pour pouvoir innover : c'est le courage et le mérite de ce livre blanc. Parce que les challenges à venir sont autant techniques qu'humains, ce livre blanc aborde ainsi les enjeux technologiques, organisationnels et RH du secteur de l'ingénierie.

Il en ressort une analyse didactique, structurée qui sort des sentiers battus pour ouvrir les débats, et encore plus s'interroger collectivement.

Bonne lecture à vous!



Régis Dumay
Directeur Général Adjoint Egis
Directeur exécutif Business Unit Grands Ouvrages
Eau Environnement Energie

Introduction

15 ans : c'est le temps minimum nécessaire pour évaluer dans la durée un certain nombre de transformations significatives. Cela s'applique également pour l'ingénierie. C'est l'horizon que nous avons choisi pour nous interroger sur ce que pourrait être le **futur de l'ingénierie française**.

Le Syntec définit l'ingénierie au sens large comme la concrétisation d'une idée en un projet. L'ingénierie analyse la faisabilité de l'idée et la conceptualise en fournissant les outils, techniques et méthodes nécessaires pour concrétiser un projet. Elle joue le rôle de chef d'orchestre dans la réalisation de ce dernier, ainsi « de la conception à la réalisation, l'ingénierie **donne vie aux idées nouvelles** en les concrétisant en projets ».

La façon dont est abordée l'ingénierie dans ce livre blanc relève d'une **approche généraliste**. Il est fait mention de l'ingénierie ou de l'ingénieur.e au sens large, plusieurs secteurs sont explorés, englobant les services d'Egis et allant parfois au-delà. Le lecteur pourra donc se retrouver dans le propos, quel que soit son métier ou sa spécialité.

Bien qu'ayant adopté une approche globale, nous nous sommes attachés à livrer des exemples illustrés **au plus proche de nos métiers**, et plus spécifiquement de la Business Unit Grands Ouvrages, Eau, Environnement, Énergie d'Egis. Vous retrouverez donc des cas d'études ou des démarches expérimentales portés par la Business Unit.

Ce livre blanc propose donc plusieurs portraits de l'ingénierie du futur. Dans ce travail prospectif, il n'est pas question de lire l'avenir dans une boule de cristal ou d'être exhaustif, mais bien d'analyser les **tendances** observables, les **émergences**, et d'imaginer certaines des **trajectoires** envisageables pour l'ingénierie de demain.

En présentant différents fragments des futurs possibles de l'ingénierie, nous souhaitons que **le débat et la discussion émergent**. Chaque chapitre propose, de fait, une partie « Controverses » et une partie « Débat » afin que chacun.e puisse s'impliquer dans la réflexion, la compléter, éventuellement proposer d'autres pistes de futurs qui s'ouvrent à nos métiers.

La démarche

Le Livre Blanc de l'ingénierie du futur est une initiative du collectif d'innovation Cogito de la Business Unit Grands Ouvrages, Eau, Environnement, Energie d'Egis.

Cogito a souhaité réaliser un **travail co-construit**, en puisant l'inspiration directement auprès des collaborateurs et collaboratrices de la Business Unit et des acteurs et actrices externes. Grâce à cette approche, le collectif a vu l'opportunité de réaliser un livre blanc engagé et engageant, pour poser les fondations d'une réelle démarche prospective dans la Business Unit.

Le résultat a une **vocation exploratoire**, sans souci d'exhaustivité et sans vision normative. De ce fait :

- Tous les sujets autour de l'ingénierie n'ont pas pu être abordés ;
- · Le collectif ne formule ici aucun scénario ;
- L'ingénierie à l'international n'a pas été explorée, le focus est fait sur l'ingénierie française.

Ce livre blanc cherche plutôt à ouvrir un nouvel espace de débat afin de stimuler les collaborateurs et collaboratrices d'Egis et tous ceux qui s'intéressent à ce sujet. Il espère ainsi tracer des pistes de réflexions, **ouvrir des portes aux imaginaires**, proposer des trajectoires alternatives, parfois provocantes, pour penser l'ingénierie du futur.

Pour mieux réaliser ce travail, Cogito a été challengé par **Futuribles, centre indépendant dédié, depuis plus de cinquante ans, à la prospective**. Son ambition principale est de favoriser la prise en compte des enjeux de long terme dans les décisions et les actions collectives. Les activités de Futuribles sont réalisées dans le cadre de deux structures :

- L'association Futuribles International, propose des analyses sur les grandes transformations de notre société, qu'elle publie et met en débat avec ses membres partenaires (plus de 80 membres : entreprises, associations, collectivités locales, centres de recherche...) ;
- La société Futuribles, accompagne des entreprises, des organisations, des associations et des collectivités dans des démarches de prospective et de stratégie.

Le cabinet a notamment contribué à :

- La revue Futuribles qui paraît tous les deux mois ;
- Le rapport Vigie, un dossier prospectif majeur porté par l'association, publié tous les 2 ans. Le dernier, paru en décembre 2020, porte sur les 16 scénarios de ruptures possibles à horizon 2040-2050;
- En 2020, l'association a porté une réflexion prospective sur les scénarios d'évolution de la crise Covid-19 à horizon fin 2021, poursuivie par des groupes de travail sur leurs implications pour le travail, les territoires en France, et les trajectoires économiques et politiques mondiales à horizon 2025-2035.

Nos ambitions

- Mettre sur le devant de la scène plusieurs sujets d'avenir qui pourront faire le quotidien des collaborateurs et collaboratrices d'Egis, pour inciter les équipes à investir du temps dans leur identification, leur exploration et leur préparation ;
- Donner des exemples concrets au plus proches des métiers qui participent déjà de cette vision prospective ;
- Proposer une vision riche et contrastée de ce que pourrait être l'ingénierie demain, basée sur des contributions variées, à travers des références et des témoignages de plusieurs collaborateurs et collaboratrices;
- **Explorer quatre thèmes**, sélectionnés de façon collective pour leur pertinence dans le cadre de nos métiers et pour leur ancrage dans l'actualité, étudiés dans la littérature et enrichis par de nombreux échanges avec les collaborateurs de la Business Unit et experts externes afin de couvrir un pan important des futurs possibles de l'ingénierie.

Quelques chiffres

- **Plus de 50 participant.e.s** à la rédaction à travers des interviews, écritures et relectures..., faisant de ce livre blanc un réel projet collaboratif;
- **Plus de 80 références citées** et de nombreux expert.e.s internes comme externes consulté.e.s pour enrichir la pertinence technique du livre blanc ;
- × Plus de 70 pages pour 4 thèmes ;
- × Plus de 20 illustrations réalisées en collaboration avec une illustratrice professionnelle.

L'architecture du livre blanc

Dans ce livre blanc, vous pourrez parcourir quatre chapitres dont le contenu est synthétisé à la fin de cette introduction. Chaque chapitre est construit en suivant la même architecture :

- Une première partie sur les tendances actuelles « **Aujourd'hui...** », qu'elles soient constatées de façon lourde et récurrente, aussi bien dans l'environnement global, l'écosystème, que dans le domaine plus précis de l'ingénierie; ou de façon plus sporadique, via des émergences et des signaux faibles;
- Une seconde partie plus prospective « **Et demain ?** », qui explore des pistes non exhaustives sur les possibilités pour l'ingénierie de 2035 ;
- Une « **Boîte à controverses** », qui met en évidence des trajectoires possibles mais risquées, voire non désirables, ou suscitant simplement le débat ;
- Un « **Espace-débat** » où des questions ouvertes sont posées, ayant vocation à générer une réflexion individuelle ou commune, et où l'échange est attendu ;
- Une section « **Pour aller plus loin** » où sont partagés des documents et sources complémentaires sous différents formats, que vous pouvez explorer ;
- Enfin, des prises de paroles de contributeurs du livre blanc se glissent tout au long des chapitres, à travers des éditos, des interviews vidéos, ou encore des « Visions d'experts » venant clôturer chacun d'entre eux. Ces visions d'experts visent à enrichir le livre blanc en donnant un point de vue nouveau, ou en approfondissant un sujet abordé dans le livre. Nous remercions chaleureusement les personnes qui se sont investies dans ce travail collaboratif.

Zoom sur les chapitres

Une ingénierie dans un monde de crises

L'ingénierie de demain sera plongée dans un monde en pleine transformation où les crises systémiques se multiplieront. Soumise à de fortes contraintes, l'ingénierie possède déjà aujourd'hui certaines clés pour répondre à un grand nombre d'enjeux, mais elle devra se transformer plus en profondeur pour relever les multiples défis qui se présenteront à elle durant les quinze prochaines années.

Une ingénierie au service des écosystèmes et des territoires

Les enjeux qui découlent du réchauffement climatique transforment en profondeur les approches collectives de l'environnement et du vivant ainsi que les modes d'organisation des territoires. L'ingénierie de demain devra adapter ses pratiques pour y répondre, elle devra aussi accompagner les évolutions de la société et faire en sorte que ces enjeux soient partagés par l'ensemble des parties prenantes.

• Une ingénierie augmentée par l'usage des nouvelles technologies

Avec le développement des nouvelles technologies et du numérique, le quotidien de l'ingénieur.e de demain sera profondément modifié. Une partie de ses tâches pourra être assurée ou « augmentée » par l'assistance digitale, ce qui en parallèle confrontera l'ingénieur.e à des choix stratégiques et éthiques en termes d'usages de ces technologies. Le secteur de l'ingénierie se confrontera aussi au risque d'être disrupté par de nouveaux entrants.

• Une ingénierie au service de ses ressources humaines

Le rapport au travail évolue en profondeur. La collaboratrice ou le collaborateur de demain n'aura ni les mêmes attentes ni les mêmes pratiques de travail. En parallèle, les besoins de l'ingénierie évoluent et de nouveaux profils devront être recrutés. Qui sera l'ingénieur.e de demain ?

Zoom sur le vocabulaire de la prospective

Selon Gaston Berger, fondateur de la prospective, cette « discipline » est, peut-être davantage qu'un ensemble de méthodes¹, une **attitude d'esprit** face à l'avenir, que la Société française de prospective défini ainsi :

- Voir loin;
- Voir large;
- Analyser en profondeur;
- Prendre des risques ;
- Penser à l'homme.

En revanche, la prospective n'est pas une matrice de matérialité ni une matrice SWOT.

Dans ce livre blanc, Cogito a choisi d'utiliser quelques concepts-clés de la prospective. Ainsi, dans le cadre de cette démarche :

- Sont appelées « **tendances lourdes** », les phénomènes à forte inertie à moyen-long terme, et très structurants pour le sujet étudié. Leur évolution est peu susceptible d'être infléchie. Attention, bien que s'inscrivant dans la continuité, ils peuvent conduire à de réelles situations de rupture d'ici 15 ans, par rapport à notre réalité actuelle ;
- Sont appelées « **émergences** » les phénomènes nouveaux qui peuvent entraîner une inflexion de tendance lourde, une discontinuité, ou la naissance d'une nouvelle tendance. Les émergences peuvent être annoncées par un « signal faible ». Elles sont souvent liées à l'apparition de nouveaux acteurs, au changement de rôle d'un acteur dans le système, à de nouveaux modes de comportements ou de sociabilité, à des découvertes passées inaperçues, etc ;
- Sont appelées « trajectoires », les futurs possibles construits sur la base des tendances lourdes et/
 ou des émergences. Ce ne sont pas des scénarios, mais plutôt des hypothèses prospectives plus ou
 moins probables, qui peuvent coexister ou se succéder.

| Pour toute question, remarque, contribution, ou si vous souhaitez nous faire part de vos retours, | n'hésitez |
|---|-----------|
| pas à nous écrire sur : Communication-BU-GO3E.EGIS@egis.fr. | |

Bonne lecture!

Le groupe Cogito

¹ Damon, Julien. (2005). La pensée de... - Gaston Berger (1896-1960), Informations sociales, (n° 128), p. 95-95. https://www.cairn.info/revue-informations-sociales-2005-8-page-95.htm

Sommaire

| Introduction | 3 |
|---|----|
| Chapitre 1 : En 2035, une ingénierie dans un monde de crises | 9 |
| Chapitre 2 : En 2035, une ingénierie au service des écosystèmes et des territoires | 22 |
| Chapitre 3 : En 2035, une ingénierie augmentée par l'usage des nouvelles technologies | 38 |
| Chapitre 4 : En 2035, une ingénierie au service de ses ressources humaines | 55 |
| Bibliographie | 70 |
| Remerciements | 75 |

Chapitre 1

En 2035 une ingénierie dans un monde de crises



En 2035, une ingénierie dans un monde de crises

L'ingénierie de demain sera plongée dans un monde en pleine transformation où les crises systémiques se multiplieront. Soumise à de fortes contraintes, l'ingénierie possède déjà aujourd'hui certaines clés pour répondre à un grand nombre d'enjeux, mais elle devra se transformer plus en profondeur pour relever les multiples défis qui se présenteront à elle durant les quinze prochaines années.

Aujourd'hui...

Quelles sont les tendances lourdes?

Dans l'environnement global et l'écosystème

De plus en plus de crises de toute nature, systémiques et à toutes les échelles.

L'impact des activités humaines sur l'environnement n'est plus à démontrer, des instances pourtant divergentes telles que le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) ou le World Economic Forum (WEF) s'accordent sur ce point. La destruction de la biodiversité, la pollution, l'émission de gaz à effet de serre (GES) sont autant de facteurs qui participent à une dégradation accélérée de notre planète. Plusieurs tendances lourdes laissent à penser que le nombre de crises de toutes natures (climatiques, d'accès aux ressources mais aussi sanitaires) risque d'augmenter dramatiquement dans les années à venir. Le concept des limites planétaires définit un espace de développement sûr et juste pour l'humanité, fondé actuellement sur neuf processus biophysiques qui, ensemble, régulent la stabilité de la planète. Déjà, l'humanité a dépassé quatre des neuf limites planétaires : la perturbation des cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore, l'érosion de la biodiversité, et le changement climatique². Cette dernière fait l'objet d'un (quasi) consensus international ayant pour indicateur de ne pas dépasser 1,5°C de réchauffement par rapport à l'époque pré-industrielle.

En outre, ces crises seront de plus en plus susceptibles de survenir au même moment, de s'enchaîner ou de s'interconnecter à grande échelle. Elles seront donc multiples et protéiformes. La crise sanitaire de la Covid-19 a montré comment l'apparition d'un virus en Chine pouvait rapidement perturber l'ordre de marche du monde, mettant à l'arrêt la vie économique et sociale dans la quasi-totalité des pays. De même, la hausse du réchauffement climatique³ et la dégradation des écosystèmes perturbent dès aujourd'hui les ressources agricoles et alimentaires de populations entières. C'est l'augmentation de l'intensité des évènements extrêmes qui aura des conséquences sur l'activité humaine. Elles conduiront donc de manière croissante à des crises sociales, économiques, sanitaires ou encore migratoires. Les catastrophes climatiques à elles seules ont déjà provoqué le déplacement de plus de 200 millions de personnes entre 2008 et 2015 et « pourraient provoquer le déplacement d'environ 250 millions de personnes supplémentaires d'ici 2050 »⁴.

Ces crises cumulées exigeront la réorientation massive des budgets nationaux pour accompagner les populations et nécessiteront de multiples innovations de la part des États et des acteurs et actrices de la vie publique pour s'y préparer et y faire face. Cette accélération d'évènements prévisibles implique des affectations de budget sur deux axes : les politiques d'atténuation mais aussi des politiques d'adaptation.

² Les autres limites planétaires : les changements d'utilisation des sols, l'acidification des océans, l'utilisation mondiale de l'eau, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère et l'introduction d'entités nouvelles dans la biosphère.

³ UNEP. (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Emissions%20Gap%20 Report%202021.pdf Le rapport montre que nous sommes sur une trajectoire à +2,7°C, bien supérieure à la limite planétaire admise (+1,5°C).

⁴ UNHCR. (2017). Déplacements liés aux catastrophes et au changement climatique, synthèse du rôle de l'UNHCR. https://www.unhcr.org/fr/5a8d48ff7.pdf

Cela nécessite d'agir en amont de la survenance des crises (adapter l'urbanisme des villes, les bâtiments et les infrastructures) mais aussi prévoir de traiter les conséquences des crises en aval. Cela pourrait avoir des conséquences sur le renchérissement des coûts de la construction, y compris de la partie maîtrise d'œuvre et ingénierie, ainsi que du coût assurantiel.

Voir la vidéo



Une prise en compte de plus en plus marquée du concept de la résilience et stratégies d'adaptation⁵ dans les décisions des organisations publiques et privées.

Le terme de résilience décrit la capacité d'un système, d'une infrastructure, d'une organisation ou d'une population à se préparer, à s'adapter, à se maintenir et à rebondir positivement face à une crise. Il oblige donc à aborder les risques de manière systémique.

Face à la multiplication de crises globales et protéiformes, ce concept est donc de plus en plus mobilisé pour mesurer la solidité de l'existant et préparer l'avenir. Par exemple, la Direction des infrastructures de transport du ministère des Transports a souligné dans un récent rapport de 2018, la fragilité de près de 30% des ponts et de 62% des chaussées qui constituent le réseau routier français d'ici à 2037⁶. Leur réfection ou la construction de nouvelles infrastructures exigent donc une meilleure évaluation en amont des contraintes auxquels ces ouvrages pourront être soumis. Plus l'on prend du recul, plus les types d'impacts (ou conséquences) sont larges. Autrement dit, la notion de résilience d'un bâtiment peut être plus facilement décrite, circonscrite, donc est moins couteuse à prévoir que la notion de résilience, attachée à l'objet du bâtiment (par exemple : une usine qui ne pourrait plus fonctionner). Si l'on raisonne au niveau du territoire, la ville ou autres échelles, le spectre à prendre en compte est encore plus large et inclurait la notion d'approvisionnement en alimentation.

De même, les territoires français s'engagent de plus en plus dans des démarches de résilience. Ces démarches permettent de prioriser les investissements publics en abordant simultanément les enjeux de cohésion, d'inclusion et d'égalité des populations et les diverses crises auxquelles ces dernières pourront être soumises.

⁵ Rapport du Sénat. (2019). Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : urgence déclarée. https://www.senat.fr/rap/r18-511/r18-511-syn.pdf

⁶ République Française. (2021, 4 octobre). État du réseau routier national : que disent les rapports d'audit ? Vie publique.fr. https://www.vie-publique.fr/en-bref/38601-etat-du-reseau-routier-national-que-disent-les-rapports-daudit

La démarche de résilience interroge directement l'acte d'ingénierie et notamment son niveau technologique (et donc de complexité sous-tendu) comparativement à des approches dites « *low tech* », considérées comme plus résilientes et/ou durables⁷. Ainsi, la ville de Carcassonne à la suite d'inondations meurtrières, la ville de Paris depuis 2015, le Grand Angoulême autour des enjeux d'alimentation ou encore la Gironde en 2019 ont mis en place des stratégies de résilience spécifiques⁸.



Prévoir l'imprévisible



Le travail de l'ingénieur.e débute par le recensement des besoins et des contraintes. C'est sur ces bases qu'est dimensionnée la conception de nos infrastructures et de nos bâtiments. Devant l'intensification des événements, l'ingénieur.e doit penser le comportement de ses conceptions au-delà des événements dimensionnants. Il doit également prévoir comment remettre en service nos infrastructures après une catastrophe.

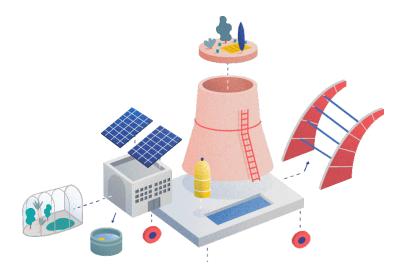
Vincent LALIRE Pilote pôle Expertise Egis

Dans l'ingénierie

Un besoin croissant d'outils d'anticipation et de suivi d'évolution de la crise mais des compétences déjà présentes chez les ingénieur.e.s.

La multiplication et la complexification des crises exigent des ingénieur.e.s d'adapter leurs outils, leurs méthodes et leurs stratégies. En effet, la construction ou la réparation des ouvrages demandent de savoir y intégrer les risques systémiques émergents, ainsi que la notion de résilience, parfois en allant plus loin que les normes et réglementations en vigueur.

Ce besoin se traduit dans le développement de nouveaux concepts dans les parcours de formation des ingénieur.e.s. Ainsi, Laure Flandrin, maîtresse de conférences en sciences sociales à l'École Centrale de Lyon, pousse les ingénieur.e.s à développer une réelle « éthique spécifique », qui s'appuie sur des choix de conception résilients tant dans la partie amont (empêcher la crise, diminuer les risques, se préparer à la crise) qu'aval (encaisser le choc, se remettre de la crise).



⁷ Bibliothèque publique d'information. (2019). Osez les low tech! Pour une innovation sobre et durable Philippe BIHOUIX [Vidéo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=S0ueCd4rlEq

⁸ CERDD. (2021, 18 février). La résilience territoriale : Enjeux et applications. Centre ressource du développement durable. http://www.cerdd. org/Parcours-thematiques/Territoires-durables/Ressources-territoires-durables/La-resilience-territoriale-enjeux-et-applications

Toutefois, les ingénieur.e.s disposent déjà d'un certain nombre d'outils et de données utiles pour faire face aux crises du fait des caractéristiques mêmes de leurs métiers. Parmi ceux-ci, nous pouvons prendre l'exemple de l'utilisation de systèmes de modélisation des infrastructures. Ces outils permettent déjà de sensibiliser au risque, d'anticiper son advenue et de réagir en temps réel en cas de crise. Deux illustrations peuvent être données : la plateforme web **Risk-E** ppropose une cartographie dynamique en temps réel des zones inondables et des dommages qui pourraient être occasionnés, c'est un bon exemple de ce que l'ingénierie a à offrir aux collectivités pour anticiper et gérer le risque (ici d'inondation) de manière optimisée. La ville de Montpellier a bien compris le rôle que peuvent jouer les ingénieur.e.s dans la prise de décisions et l'anticipation face aux crises, en allant plus loin dans leur rôle jusqu'à envisager les conséquences de leurs actions (conception, dimensionnement). Le dispositif **Ville en Alerte** par exemple, permet de modéliser les risques d'inondation sur tout le territoire, pour mieux réagir face aux situations d'inondations. D'autres risques tels que celui de la hausse des températures dans les villes l'été, via la formation d'ilots de chaleur urbains (ICU) peuvent également être **modélisés**, puis gérés via des actions de conception bioclimatiques ou encore via la désartificialisation ou désimperméabilisation des sols en limitant les emprises au sol.

Le développement d'une ingénierie de l'urgence en tant que discipline reconnue.

Évidemment, se préparer à la crise ne suffit pas et les ingénieur.e.s ont déjà été confronté.e.s à de nombreuses situations de crises. Ils et elles ont ainsi appris à déployer des solutions dans l'urgence pour maintenir les services essentiels, assurer la sécurité des lieux et des populations, l'accès des citoyens à leurs logements, à leurs travails etc.

Ces innovations, souvent conçues dans l'urgence, reposent pourtant sur un socle de connaissances techniques exigeant. Afin d'en assurer la fiabilité et d'améliorer la réactivité des ingénieur.e.s, certains cursus de formation en intègrent désormais les fondamentaux. C'est le cas de l'École Supérieure des travaux publics et de son mastère « Urgentiste Bâtiment et Infrastructure » qui lie gestion des risques, questions sanitaires, psychologie sociale et sociologie urbaine. Dans le futur, une offre « Ingénierie sans frontière » pourrait alors se développer ?

Voir la vidéo



Quelles sont les émergences et signaux faibles?

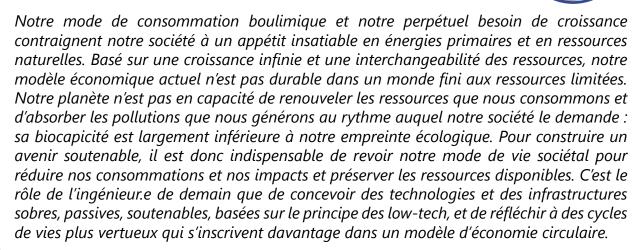
La construction progressive de référentiels communs.

Face à la menace de crises systémiques qui exigent anticipation et adaptation, de nombreux référentiels se précisent aux échelles nationale et internationale. Par exemple, les Objectifs de Développement Durable (ODD) sont une matrice complète de 17 thèmes permettant une approche systémique⁹. La prise en compte des risques peut se faire à différentes échelles, qu'elles soient contraignantes ou volontaires. À l'échelle internationale, les Contributions Nationales Déterminées (NDC)¹⁰ pour réduire les émissions de gaz à effet de serre des États sont à la fois contraignantes et volontaires. Ces contributions reposent sur un cadre commun, partagé lors de la COP21 suite au travail de deux institutions phares que sont le World Ressource Institute (WRI) et le World Business Council on Sustainable Development (WBCSD). Un système de mesure et de *reporting* des émissions de GES, le GHG Protocol, permet de comptabiliser l'ensemble des gaz différents. Ce sont autant de standards qui cherchent à améliorer la prise en compte des risques en amont et la résilience des organisations publiques comme privées face aux crises. Enfin, les labels de compensation carbone n'ont pas la même force de loi, bien que parfois décriés¹¹, ils ont la volonté de séquestrer le carbone émis de façon résiduelle, une fois que l'ensemble des émissions en amont auraient été réduites voire évitées.

Dans ce cadre, l'ingénierie est incitée, voire contrainte, à évaluer l'impact environnemental de ses activités sur l'ensemble de sa chaîne de valeur, pensée non plus en silos mais de façon systémique. Les standards et labels tels que précédemment décrits permettent ce *reporting*. Mais certains labels ne prennent pas en compte les émissions de l'ensemble de la chaîne de valeur (scope 1 et scope 2 uniquement¹²); par ailleurs, les attentes sociales évoluent et insistent sur la prise en compte de dimensions plus quantitatives et non plus seulement sur l'exemple de projets ponctuels.



Une ingénierie de la sobriété



Florent GUIRAL Ingénieur chargé d'études Activité Grands Ouvrages Egis

⁹ Nations Unies. Les objectifs de développement durable. https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/

¹⁰ United Nations Climate Change. Contributions déterminées au niveau national (NDCs) https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/l-accord-de-paris/nationally-determined-contributions-ndcs/contributions-determinees-au-niveau-national-ndcs

¹¹ Maillé, P. (2021). La neutralité carbone est-elle une arnaque ? Usbek et Rica. https://usbeketrica.com/fr/article/la-neutralite-carbone-est-elle-une-arnaque

¹² Barbaux, A. (2021). [Repères] Scope 1, scope 2, scope 3... Ce que recouvre le référentiel des émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre. usinenouvelle.com. https://www.usinenouvelle.com/article/reperes-scope-1-scope-2-scope-3-ce-que-recouvre-le-referentiel-des-emissions-directes-et-indirectes-de-gaz-a-effet-de-serre.N1137699

L'affirmation des approches d'innovations techniques face aux crises.

Pour Isabelle Denervaud, crise économique et innovation ont toujours été très liées : « les transitions (...) constituent aussi le terreau d'innovations et de nouveaux modèles d'affaires parfois inédits ou improbables pour les entreprises »¹³. Cette affirmation, proche de la théorie du darwinisme économique selon laquelle les crises permettent d'éliminer par « sélection naturelle » les entreprises ou secteurs insuffisamment résistants, semble en effet être confirmée par la réalité des crises récentes. Ainsi, selon l'European Institute for Creative Strategies and Innovation, l'investissement dans l'innovation a fortement favorisé la reprise d'activités après des chocs tels que la crise financière de 2008 ou la crise de la Covid-19.

L'ingénierie, dans son développement actuel, participe de ce mouvement vers un toujours-plus technique face aux crises : pensons, par exemple, aux concepts de « ville nouvelle » ou « ville intelligente » (*smart city*) pour répondre à de possibles risques sécuritaires ou environnementaux. La ville « *smart* » résulte d'un ensemble d'approches, dont l'ingénierie, qui se doivent d'être transversales et collaboratives. La technique est alors vue comme un moyen mais pas comme une fin. L'ingénieur.e va s'insérer dans ces dispositifs de planification concertée, il interagira avec les autres disciplines qui font la ville, l'urbanisme, les infrastructures et les ouvrages¹⁴. Au-delà de la *smart city*, une multitude de concepts embrassent les notions de résilience et de mieux vivre en ville, tels que la « ville du quart d'heure » (concept de Carlos Moreno), « *citta slow* » en Italie, mais aussi des *smart city* sécuritaires ou servicielles¹⁵.





Et demain?

Quelles trajectoires possibles pour l'ingénierie en 2035?

Vers une ingénierie omnisciente?

Le développement de systèmes prédictifs de plus en plus complexes, efficaces et capables d'intégrer diverses variables et trajectoires sur temps long est une tendance lourde. Ces modèles pourraient donner à l'ingénierie une capacité d'anticipation des crises inédite. Les bureaux d'étude d'ingénieur.e.s pourraient alors proposer des services de prédiction à leurs clients. Les missions de réhabilitation, de réparation ou de construction d'ouvrages seraient conditionnées aux résultats donnés par les algorithmes autoapprenants, qui évalueraient, en amont, la fiabilité, la résilience, voire même l'assurabilité de toutes les opérations conduites par les ingénieur.e.s pour leurs clients.

¹³ Denervaud, Isabelle, et al. « Les crises, un terreau d'innovation », L'Expansion Management Review, vol. 134, no. 3, 2009, pp. 108-119.

¹⁴ Voir chapitre 1. Ortega, Olivier. (2020) La fabrique de la ville durable. Editions Le Moniteur.

¹⁵ Orsenna, Erik. Gilsoul, Nicolas. (2018) Désir de villes.

Néanmoins, ces systèmes pourraient aussi se confronter aux limites des technologies prédictives. En effet, l'intelligence artificielle n'est à ce jour pas en mesure de prédire des événements qui n'ont jamais eu lieu. Elle est aussi soumise à de nombreux biais propres aux logiques humaines et difficiles à évacuer. D'ici 2035, la multiplication des crises systémiques et multidimensionnelles pourraient occasionner des situations si nouvelles et imprévisibles que les algorithmes ne suffiraient pas à les anticiper. Dans ce contexte, l'agilité, la malléabilité et la capacité d'adaptation resteraient alors les qualités fondamentales des meilleurs cabinets d'ingénierie. Et cela passe par des connaissances multidisciplinaires et une forte capacité à travailler en réseau et savoir penser la complexité¹⁶.

Voir la vidéo



Vers un e ingénieur e spécialiste de la prospective ?

La prospective est une discipline qui s'intéresse aux différents avenirs possibles, en partant d'événements passés et actuels. Elle intègre projections statistiques mais aussi analyses historiques, sociologiques voire anthropologiques pour identifier les tendances lourdes (les phénomènes peu susceptibles d'évoluer), les émergences ou signaux faibles, les ruptures possibles. Elle a ainsi pour ambition non pas de prédire le futur mais d'aider les individus et les organisations à se préparer à la variété de ce qui pourrait advenir.

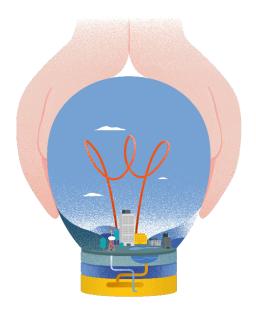
Ainsi, si la technologie (intelligence artificielle, algorithmes prédictifs...) ne permettait pas de tout anticiper, la prospective pourrait-elle aider l'ingénierie à mieux appréhender la diversité des futurs possibles ? Pourrait-elle alors devenir une fonction centrale dans les bureaux d'ingénieur.e.s ?

Vers une ingénierie privilégiant l'adaptation aux risques de crise?

L'ingénierie pourrait choisir de concentrer ses efforts sur le désamorçage de la crise avant même qu'elle n'ait lieu. L'ingénieur.e dans son travail ne doit pas impacter le futur et doit gérer le présent. C'est dans le présent qu'il connait déjà les survenances possibles des crises. Par conséquent dans son travail au présent, il doit intégrer des possibilités de crises futures.

¹⁶ Morin, Edgar. (1990). Introduction à la pensée complexe. Voir également : https://www.lesechos.fr/2014/05/edgar-morin-la-pensee-complexe-aide-a-affronter-lerreur-lillusion-lincertitude-et-le-risque-283834

Le travail d'anticipation réalisé grâce à la prospective pourrait justement permettre de cibler les domaines sur lesquels développer dès aujourd'hui une démarche d'adaptation. La priorité ne serait plus, dans ce cas, de développer la résilience post-crise mais bien de mettre tout en œuvre pour éviter la crise. Les investissements pourraient ainsi être orientés vers des mesures d'adaptation : amélioration de la gestion et du stockage des eaux, digues côtières ou littorales, voire aide publique à l'abandon de certaines zones trop dangereuses et construction de nouveaux quartiers éco-conçus dans des zones plus sûres. L'ensemble de l'économie pourrait s'organiser, dans cette trajectoire, autour de cette notion d'adaptation, y compris en termes assurantiels. Il existe déjà quelques exemples de ce type d'approches à l'international : l'assurance d'actifs naturels du récif mésoaméricain au large du Mexique¹⁷ ou encore l'assurance météorologique pour des agriculteurs au Kenya¹⁸.



¹⁷ Harvey, F. (2021, 29 octobre). Mexico launches pioneering scheme to insure its coral reef. The Guardian. https://www.theguardian.com/environment/2017/jul/20/mexico-launches-pioneering-scheme-to-insure-its-coral-reef

¹⁸ Olodo, E. (2021, 26 février). Kenya: Le gouvernement étendra son programme d'assurance agricole à 4 nouveaux comtés. Agence Ecofin. https://www.agenceecofin.com/agro/2602-85617-kenya-le-gouvernement-etendra-son-programme-d-assurance-agricole-a-4-nouveaux-comtes

BOÎTE À CONTROVERSES

Un avenir low-tech et frugal: l'innovation technique, la seule solution face aux crises?

L'ingénierie est un domaine particulièrement fertile pour élaborer des solutions techniques de rupture. Aujourd'hui, un certain nombre de révolutions annoncées sont, néanmoins, encore au stade expérimental. Mais il est vrai que des techniques de pointes telles que le stockage de données dans l'ADN, la production en laboratoire de nouveaux matériaux, ITER, les technologies de Carbon Capture Storage, ou encore la géoingénierie pourraient bouleverser les approches actuelles des risques existants et à venir, si ces outils devenaient réellement opérationnels.

Toutefois, rien n'assure que l'ensemble de ces technologies pourraient aboutir, ni même qu'elles seraient suffisantes pour gérer les crises voire les enrayer. C'est pourquoi d'autres voix, de plus en plus nombreuses¹9, s'élèvent pour ne pas considérer l'innovation technologique comme unique trajectoire d'évolution pour l'ingénierie. Philippe Bihouix, ingénieur et auteur du livre « L'âge des low-tech : vers une civilisation techniquement soutenable » met ainsi en garde contre le « solutionnisme technologique » qui conditionne la survie du monde et de l'espèce humaine au seul progrès technique. Pour lui comme pour d'autres, il existe des approches alternatives que l'ingénierie aurait tout intérêt à explorer, parmi lesquelles l'usage de solutions minimisant l'énergie requise à la production et à l'usage et n'infligeant pas de coûts cachés à la collectivité ou encore l'inclusion des usagers dans les projets d'experts, pour les encourager à exprimer leurs besoins réels. Certains projets, comme celui du Transport Est-Ouest (TEO) de Saint-Brieuc, adoptent déjà cette approche : « Notre but et de révéler l'espace chantier, de l'ouvrir aux riverains pour qu'ils se l'approprient au lieu de le contourner », déclare Solenne Lesourd, directrice du projet pour Egis et maître d'œuvre du projet.

¹⁹ Pierre Veltz l'économie désirable. Au début davantage portés par des associations (cf le scénario négaWatt) ou mouvements citoyens, la notion de sobriété est de plus en plus présentée comme une solution d'évitement de futures crises, y compris par de nombreux spécialistes intervenant dans différentes disciplines : JM Jancovici, Daniel Cohen, Dominique Bourg.....

Espace-débat : la parole est à vous !

- × Parmi les trajectoires présentées, lesquelles vous paraissent les plus probables ? Les plus souhaitables ? Pourquoi ?
- × Pensez-vous que l'innovation technologique soit le seul outil à mobiliser par l'ingénierie pour anticiper, se préparer et répondre aux crises à venir ?

Pour aller plus loin

Pour creuser sur les futurs possibles de l'ingénierie dans un monde en crises, voir :

- × Scénario négaWatt 2022, négaWatt, octobre 2021
- × Fresque du climat
- × New York, 2140, Kim Stanley Robinson
- × Ecotopia, Ernest Callenbach
- × Le meilleur des mondes, Aldous Huxley
- × L'arbre-monde, Richard Powers
- × L'anomalie, Hervé le Tellier
- × Ravages, René Barjavel
- × Marcher, Henry David Thoreau
- × Où suis-je, Bruno Latour
- × La république écologique, Dominique Bourg
- × Introduction à la pensée complexe, Edgar Morin
- × D'un monde à l'autre, Nicolas Hulot, Frédéric Lenoir
- × Apocalypse cognitive, Gérald Bronner
- × Accélération, Hartmut Rosa
- × Le climat expliqué à ma fille, Jean Marc Jancovici
- × Le monde est clos et le désir infini, Daniel Cohen
- × Atlas de l'anthropocène, François Gemmene, Aleksandar Rankovic,
- × Comment tout peut s'effondrer, Pablo Servigne, Raphaël Stevens, Patrick Viveret
- × L'économie désirable, Pierre Veltz
- × Désir de villes, Erik Orsenna, Nicolas Gilsoul
- × Fabriquer la ville durable, Olivier Ortega

VISION D'EXPERT

Une ingénierie fonctionnelle et de proximité pour lutter contre les crises et les anticiper



L'affaissement de la biodiversité et l'épuisement des ressources naturelles provoquent des déséquilibres redoutables. Le dérèglement climatique en est une des manifestations les plus perceptible. Mais il n'y a aucune fatalité car nous sommes aussi acteurs du changement. La restauration des équilibres naturels, qui s'inscrit dans le temps long, et l'anticipation des crises seront les principaux défis de l'ingénieur.e responsable.

Jean-Hugues JUILLARD Responsable Activité Eau et Ports Egis

D'une organisation mécanique à une organisation organique

Comme on peut l'observer, l'utilisation actuelle du numérique provoque une standardisation globale des modes de vie et de pensée. Quel que soit le continent, les centres villes modernes se ressemblent de plus en plus, les envies de consommation et les manières de vivre convergent progressivement.

Or, la nature nous apprend que c'est la diversité qui permet l'adaptation aux changements. Les organisations organiques, qui permettent l'agencement et le réagencement des compétences en fonction des contextes d'actions et d'évolutions, apparaissent alors **plus résilientes et moins fragiles** que les organisations strictement mécaniques.

L'outil numérique devra alors être utilisé autrement pour promouvoir la créativité et la diversité. Après 200 ans de rationalisation et de normalisation, il apparaît aujourd'hui nécessaire de pratiquer **l'ingénierie sur mesure** qui s'adapte aux différents contextes environnementaux et non l'inverse.

De la réduction de la vulnérabilité à la réduction de l'aléa naturel

Le **réaménagement des villes** pour rendre les espaces urbains moins vulnérables aux changements à venir sera certainement un des défis à relever dans les prochaines années.

- Attitude 1 : Continuer à développer les zones urbaines sans prise en considération sérieuse de leurs impacts (imperméabilisation, destruction de la biodiversité, concentration démographique, etc...);
- Attitude 2 : Proposer des solutions pour un développement des villes, équilibrées et compatibles avec la biodiversité.

Par exemple, l'approche hydraulicienne développée au XXème siècle pour l'assainissement des villes est devenue en partie archaïque car elle favorisait une croissance urbaine sans rentabilité effective à moyen-long terme et en impactant durablement les milieux naturels récepteurs (nappes, zones humides et masses d'eau superficielles).

De même, la construction d'aménagement de protection (remblais littoraux ou sans lit majeur, digues de protection, enrochements lourds...) pour tenter de réduire l'aléa naturel ne s'avère pratiquement jamais une solution économiquement rentable sur le long terme. En effet les ouvrages qui tentent de réduire les aléas naturels modifient des équilibres souvent complexes et entraînent à moyen ou long terme des désordres très coûteux à réparer. Les générations qui arrivent vont ainsi hériter de centaine de milliers d'infrastructures perturbantes qu'il va falloir progressivement déconstruire.

Ce processus de déconstruction a déjà commencé avec notamment la suppression des barrages, la renaturation des cours d'eau ou la désimperméabilisation.

Les **stratégies d'aménagement intégrées** qui privilégient la réduction de la vulnérabilité sont plus efficaces. De très nombreux retours d'expérience existent déjà, par exemple dans le cadre de la gestion des rejets pluviaux :

- Les baissières écologiques à Seattle (CA);
- Les Green Streets à Portland (USA) ;
- Les ruelles bleues-vertes à Montréal (CA) ;
- Le programme Greater Helsinki Vision 2050 (FIN).

Comme en témoignent les nombreux retours d'expérience, la réduction de la vulnérabilité se traduit par la mise en œuvre de multiples **actions ciblées, simples, souples et sobres**. Ces stratégies de réduction de la vulnérabilité nécessitent une vision globale qui doit prendre en considération les enjeux socio-économiques et culturels locaux. Dans ce contexte, l'ingénieur.e de demain devrait donc se familiariser avec ces notions et sortir de son cadre strictement scientifique.

Une recherche de la rentabilité à long terme

Une ingénierie nouvelle est en train de se mettre en place pour répondre à ces nouvelles stratégies d'aménagement du territoire. Elle doit répondre à des problématiques locales avec des solutions horizontales sur mesure.

L'ingénierie **fonctionnelle et de proximité** permet de penser un développement urbain dans un rapport à la nature qui donne toute sa force à la ville post-carbone qui va devoir se construire dans la première moitié du XXIème siècle. Cette ingénierie se distingue de l'ingénierie de « *process* » qui permet d'accompagner la conception d'infrastructures lourdes et standardisées. L'ingénierie verticale ou en silos qui accompagne encore les grands projets issus de la stratégie historique d'aménagement du territoire (en France : plans rail, routes, programme d'assainissement, etc...)

De notre point de vue cognitif, nous ne pouvons prendre que des décisions à court terme. Avec les crises environnementales à venir, il sera pourtant nécessaire de réfléchir à long terme pour limiter leur impact économique.

Certaines infrastructures constituent des menaces prévisibles. Quand on aménage une route, on augmente le ruissellement qui va aggraver les inondations, on supprime l'infiltration qui va favoriser les sécheresses, on facilite la circulation de véhicules et donc le rejet des gaz à effet de serre, on crée un obstacle à la continuité écologique, on génère des nuisances sonores... Pour connaître la rentabilité réelle de cette route, il faut intégrer sa "dette environnementale" dans l'approche économique du projet. Nous disposons aujourd'hui des outils permettant le calcul de cette dette induite.

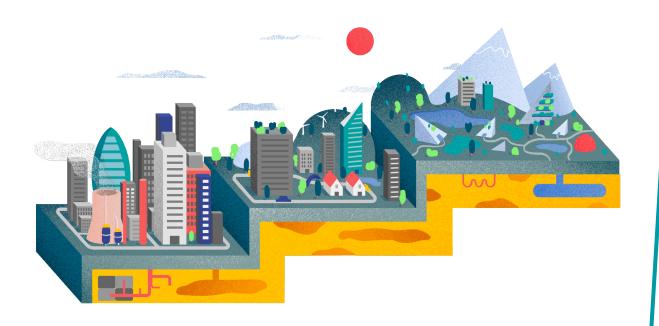
Il existe des **outils de quantification financière du capital naturel** qui permettent de mesurer la rentabilité réelle des aménagements. Il apparaît que les infrastructures structurantes qui perturbent durablement le fonctionnement naturel n'atteignent pas de rentabilité à long terme. A l'inverse, les aménagements ciblés compatibles avec les équilibres naturels apparaissent comme rentables à long terme. Les indicateurs de rentabilité « réelle » vont être exigés par les financeurs et les assureurs qui veulent avoir des garantis pour leur retour sur investissement.

Enfin, cette approche responsable de l'ingénierie des infrastructures permet d'attirer les jeunes talents qui ont une conscience aiguë de l'urgence climatique et environnementale.



Chapitre 2

En 2035 une ingénierie au service des écosystèmes et des territoires



En 2035, une ingénierie au service des écosystèmes et des territoires

Les enjeux qui découlent du réchauffement climatique transforment en profondeur les approches collectives de l'environnement et du vivant ainsi que les modes d'organisation des territoires. L'ingénierie de demain devra adapter ses pratiques pour y répondre, elle devra aussi accompagner les évolutions de la société et faire en sorte que ces enjeux (liés au réchauffement climatique, aux pertes de biodiversité, à l'épuisement des ressources...) soient partagés par l'ensemble des parties prenantes et notamment qu'ils soient prescrits dans les cahiers des charges (de conception, de construction, d'exploitation). L'ingénierie gagnera à être proactive et à se saisir de ces problématiques sans attendre que ses donneurs d'ordre ne les lui imposent. Il y aura assurément matière à se différencier.

Aujourd'hui...

Quelles sont les tendances lourdes ?

▶ Dans l'environnement global et l'écosystème

La dégradation des écosystèmes menace de plus en plus la qualité de vie des citoyens.

Le réchauffement planétaire causé, entre autres, par des émissions de gaz à effet de serre trop importantes, accroît la pression sur les ressources naturelles ainsi que sur la biodiversité. On notera que c'est l'activité humaine et non le réchauffement climatique directement qui est la cause des pertes de biodiversité. Catastrophes climatiques et prolifération d'espèces invasives détruisent ou remplacent les organismes endogènes. L'acidification des océans et la montée du niveau de la mer (dus aux effets du réchauffement climatique) couplées à la surpêche (due à l'activité humaine) accélèrent la perturbation de l'écosystème marin, source d'alimentation pour des quantités considérables de population. À cela s'ajoutent le développement rapide des villes et l'artificialisation des sols qui en découle, ainsi que le recours toujours prégnant à l'agriculture intensive et à l'élevage.

Pour la première fois, et c'est un fait majeur, le GIEC-et l'IPBES (l'équivalent du GIEC pour la biodiversité - plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) ont publié un rapport commun en juin 2021 qui souligne que la perte de biodiversité et le changement climatique doivent être traités ensemble. C'est la seule solution pour atteindre les ambitions climatiques et environnementales mondiales²⁰. Le rapport montre aussi la complexité et l'équilibre à trouver entre les politiques climatiques et les incidences sur le milieu naturel, sont visées des cultures géantes pour les biocarburants, des barrages ou certaines plantations de forêts²¹.

Ces phénomènes se sont nettement accélérés ces dernières années et semblent difficilement réversibles d'ici à 2035, comme en témoigne le dernier rapport du GIEC. Or ils ont et auront tous des conséquences néfastes sur la qualité de vie des populations, et ce, partout dans le monde.

²⁰ Laurent, E. (2021, 18 août). Eloi Laurent : « Le rapport du GIEC ouvre un chemin d'espoir pour l'humanité au milieu du chaos climatique ». Le Monde.fr. https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/08/18/eloi-laurent-le-rapport-du-giec-ouvre-un-chemin-d-espoir-pour-l-humanite-au-milieu-du-chaos-climatique_6091686_3232.html

²¹ Richir, C. (2021, 10 juin). Climat: certaines mesures contre le réchauffement mettent en danger la biodiversité, alertent le Giec et l'IPBES. La Croix. https://www.la-croix.com/Climat-certaines-mesures-contre-rechauffement-mettent-danger-biodiversite-alertent-Giec-IIPBES-2021-06-10-1201160449

Pour ne prendre qu'un exemple, la Central Intelligence Agency (CIA) s'alarme dans son dernier rapport « *Global Trend 2040* », sur l'extension géographique de maladies graves affectant l'humain telles que le paludisme, la malaria, la dengue ou le choléra. Ce déplacement des espèces vectorielles, et donc des virus eux-mêmes, est une conséquence directe du bouleversement des écosystèmes.

Les zoonoses (maladies ou infections qui se transmettent des animaux vertébrés à l'homme, et vice versa)²² telles que nous en avons connu (grippe aviaire, et covid-19) sont les conséquences de l'activité humaine, qui empiète de plus en plus sur les territoires des animaux, créant ainsi des zones de contact et de transmissions de maladies via des chaînes intermédiaires que peuvent être les animaux domestiques.

Mais la dégradation des écosystèmes n'influe pas seulement sur le risque épidémique. Le cycle de l'eau est aussi fortement perturbé par le dérèglement climatique, entre sécheresses extrêmes et inondations à répétition, voire submersions côtières en fonction des territoires. La transformation en profondeur des écosystèmes et de la biodiversité menace donc la sécurité alimentaire et sanitaire mondiale. Le recul des traits côtiers par submersions côtières modifie et réduit les terres agricoles qui, devenant salées, deviennent impropres à l'agriculture ou au maraîchage, entrainant la perte de rendement agricole. La dégradation des différents écosystèmes est un phénomène complexe aux conséquences systémiques. La déforestation a des conséquences sur la biodiversité locale et endémique qui ne peuvent être résolues par des programmes de compensation. Le caractère systémique des enjeux est présenté de façon interactive sur le site du World Economic Forum.



Pour une ingénierie de l'essentiel



Ce qui me paraît essentiel dans les quinze prochaines années, c'est de réussir à bifurquer de sociétés qui détruisent le vivant, humain et non-humain, vers des sociétés qui soutiennent le vivant. Cela implique plusieurs changements de paradigme : en finir avec la prétendue supériorité de l'Homme et de ses technologies sur la grande toile de la vie, passer du linéaire au circulaire dans nos raisonnements et nos modes de vie, préférer l'épanouissement à la croissance, penser coopération plutôt que compétition. L'ingénierie de l'essentiel est celle qui saura, avec lucidité, éthique et humilité, inspirer et accompagner les parties prenantes vers des territoires qui soutiennent le vivant.

Olivier LEDRU Responsable Innovation Ville Durable Egis

Des contraintes croissantes qui pèsent sur tous les secteurs d'activité.

Face à ces enjeux, groupes d'expert.e.s, organisations non-gouvernementales et société civile se mobilisent pour que soit mis en place un certain nombre d'indicateurs permettant de mesurer mais surtout de limiter l'impact de l'être humain et de ses activités sur l'environnement.

Le principal indicateur dans la lutte contre le dérèglement climatique mesure les quantités de GES émis dans l'atmosphère. L'indicateur d'émission de CO2 s'exprime en kg de CO2. L'indicateur CO2e indique qu'il additionne plusieurs GES et que la somme retranscrite est un « équivalent CO2 » (CO2e). Notons qu'on parle quelquefois de « carbone » par simplification de langage mais que le gaz à effet de serre que l'on mesure est le CO2.²³ Maîtriser le « budget carbone » mondial devient, de fait, un objectif majeur de la lutte

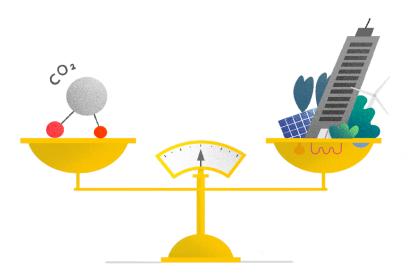
²² Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Les zoonoses, ces maladies transmissibles entre l'homme et l'animal. https://agriculture.gouv. fr/les-zoonoses-ces-maladies-transmissibles-entre-lhomme-et-lanimal

²³ 1 kg de carbone (C) = 3,664 kg de dioxyde de carbone (CO2). Source : Gobal Carbon Project

contre le réchauffement climatique, comme en témoignent les jalons successifs fixés par les COP²⁴. Depuis que les COP existent (sommet de la terre de Rio en 1998), les prises de conscience augmentent, mais finalement les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter d'année en année. Toutefois une avancée majeure a été obtenue lors de la COP21 de Paris en 2015. C'est seulement à partir de ce moment que, sous l'égide des Nations Unies, les états se sont engagés, à l'unanimité et de façon juridiquement contraignante, à maintenir le réchauffement climatique sous 2° - de préférence à 1,5° - d'ici à 2100. Cette décision importante de l'Accord de Paris sur le climat en 2015 a fixé des étapes au niveau mondial pour agir contre le réchauffement climatique²⁵.

Les pays doivent décrire leurs stratégies de lutte contre le dérèglement climatique et s'engager dans une trajectoire de décarbonation. Ce sont les Contributions Déterminées au niveau National (NDC en anglais) dans lesquelles ils indiquent les trajectoires qu'ils s'engagent à suivre pour les différents secteurs économiques émetteurs de CO2.

Cet impératif s'exprime concrètement dans différents secteurs économiques qui doivent contrôler plus strictement leur mix énergétique. Mais pas seulement. En effet, contrôler le mix énergétique revient à s'attaquer à un objectif intermédiaire, et non pas à l'objectif final ou complet que sont les émissions de CO2. On peut réduire son impact en travaillant sur le mix énergétique, sur l'efficacité énergétique, comme sur la sobriété. Pour l'ingénierie la question revient à travailler à la réduction de l'intensité carbone par unité construite, que ce soit un m2 ou un usage mais aussi dans son accompagnement de la MOA. L'ingénierie peut aussi proposer des solutions de réduction de l'impact global d'un ouvrage, d'un bâtiment, d'une infrastructure, au travers du dimensionnement optimisé afin de limiter la quantité de matériaux utilisés, ou d'une conception optimisée visant à réduire les quantités de m2 pour le même usage.



Le domaine de l'ingénierie est, en particulier, scruté de près (un exemple récent est l'autorité environnementale qui remet en question le projet d'un nouveau terminal à l'aéroport de Roissy Charles de Gaulle à Paris, du fait d'une évaluation environnementale incomplète)²⁶. Le secteur du bâtiment représente à lui seul 36% de la demande en énergie finale mondiale. Il émet 37% des gaz à effet de serre liés à l'énergie dans le monde.²⁷ De ce fait, les entreprises du secteur de l'ingénierie développent des méthodes et outils afin d'analyser le plus finement possible les émissions de gaz à effet de serre induites

24

²⁴ Une COP est une grande conférence internationale sur le climat qui réunit les États engagés depuis 1992 par la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). COP signifie "Conference of parties", les "parties" étant les signataires de la Convention (195 pays + l'Union européenne). L'objectif est de faire le point sur l'application de la Convention et négocier les nouveaux engagements. Source : APC Paris

²⁵ Gouvernement. (2017, 21 juillet). Les étapes de la mise en oeuvre de l'Accord de Paris. Gouvernement.fr. https://www.gouvernement.fr/partage/les-etapes-de-la-mise-en-oeuvre-de-l-accord-de-paris

²⁶ Miquel, J. R. (2020, 10 juillet). L'Autorité environnementale remet en question le projet de nouveau terminal à Roissy. Libération. https://www.liberation.fr/france/2020/07/10/l-autorite-environnementale-remet-en-question-le-projet-de-nouveau-terminal-a-roissy_1793841/

²⁷ Nations Unies. (2021, 22 octobre). Baisse des émissions du secteur du bâtiment à cause de Covid-19, mais. ONU Info. https://news.un.org/fr/story/2021/10/1106692

par les projets : des outils comme Eva Carbone, ou encore **Variways** primé par l'IDDRIM, permettent d'éco-comparer les variantes d'émissions et l'impact carbone des projets. Outre ces attentes, voire ces contraintes de plus en plus fortes, exprimées par les parties prenantes des entreprises ou imposées par les États, les acteurs économiques sont aussi confrontés à une contrainte physique simple : les réserves énergétiques fossiles disponibles sur Terre sont limitées.

Si les énergies dites renouvelables (EnR) sont mobilisées de manière croissante et si la France s'organise toujours autour d'un parc nucléaire dense, l'enjeu de l'approvisionnement énergétique sera néanmoins central dans les années à venir. Mais il ne faut pas confondre énergie et électricité. Pour la France, l'électricité ne représente que 25% de l'énergie finale consommée (total à 1600 TWh), le reste étant composé d'énergies fossiles et d'EnR hors électricité, chaleur, déchets. Les combustibles fossiles satisfont aujourd'hui une consommation finale de plus de 930 TWh par an, contre 430 TWh pour l'électricité. Par ailleurs notons que sur les 25% de l'énergie finale consommée sous forme d'électricité, le nucléaire représente une part de 70%. Soit « seulement » environ 17% de l'énergie totale consommée. On voit bien dans ce cas la part relative du nucléaire dans les enjeux à venir et que la densité du parc nucléaire n'est pas suffisante et les centrales trop vieilles. Même s'il est prévu que la part de l'électricité augmente d'ici 2050, la consommation d'énergie consommée de la France devrait passer de 1600 TWh à 930 TWh selon la SNBC (Stratégie nationale bas carbone). Ce n'est pas encore aligné avec le paquet « fitfor55 » de l'Europe, puisque la France est restée à -40%.

La croissance de la population mondiale pourrait occasionner une hausse de plus de 70% de la demande en énergie en 30 ans dans les pays en voie de développement, selon l'Energy Information Administration. La question de minimiser la consommation électrique deviendra donc de plus en plus prégnante, quoi qu'il arrive. A l'échelle internationale, dans un monde plus nombreux et avec des niveaux de vie en hausse pour nombre de pays en voie de développement, le problème majeur à résoudre sera de produire de l'énergie décarbonée, tout en sortant des fossiles et en modérant les consommations. Le monde entier ne pourra vivre au niveau d'un américain ou d'un européen. Il faudra alors agir sur deux leviers : réduire les besoins en amont, puis y répondre de façon décarbonée (produire de l'électricité décarbonée, transformer des consommations de fossiles en électricité – c'est le cas de la mobilité – quand c'est possible...). Les individus et les entreprises évoluent ainsi dans un monde toujours plus contraint, par la régulation ou par les limites physiques, tous secteurs confondus.

Voir la vidéo

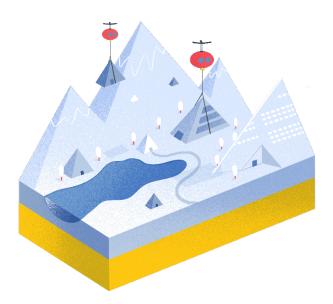


Les concepts de ville écologique, d'économie circulaire, d'écoconception prennent de l'ampleur dans une tentative d'harmoniser vie urbaine et vie du territoire.

Parmi les phénomènes qui participent à la dégradation de notre environnement, la croissance des villes est centrale puisque l'urbanisation à marche forcée détruit les écosystèmes, artificialise les sols, favorise la pollution etc. Pourtant, cette croissance semble inexorable. A l'inverse le phénomène de rurbanisation ou périurbanisation, plus ancien, a aussi eu des conséquences sur les écosystèmes et l'artificialisation des sols. Notamment en éloignant les zones d'habitation des zones d'activités, multipliant en cela les besoins d'infrastructure et de mobilité. En 2010, la Terre abritait 32 agglomérations de plus de 10 millions d'habitants, soit 9,4% de la population mondiale²8. En 2050, selon l'ONU, 2,5 milliards de personnes en plus pourraient vivre en ville. Deux tiers de la population mondiale occuperaient alors une zone urbaine²9. Après le temps de la périurbanisation est venu le temps de la métropolisation. Depuis la crise de la Covid-19 et les confinements pas toujours bien vécus dans les métropoles, un signal faible vers les villes moyennes et les campagnes semble se dessiner, notamment en France. Il est bien sûr trop tôt pour savoir si cela sera une tendance de fond ou seulement une réaction, épiphénomène accentué par le mimétisme des comportements de notre époque.

Outre les impacts délétères qu'une telle extension des métropoles entraînerait, de nombreux enjeux conjoints s'y additionnent et notamment la question de l'alimentation. Cette révolution structurelle a été entamée par plusieurs métropoles en France et à l'étranger depuis quelques années déjà. Shanghai et l'île de Chongming ont, par exemple, mis en œuvre un programme d'alimentation pour la population locale reposant sur les fermes les plus proches dès le début de la crise sanitaire³⁰. Plus globalement, la tendance est bien à la multiplication d'initiatives pour résoudre ces enjeux environnementaux, écologiques et alimentaires : circuits courts, ventes directes, Association pour le maintien d'une agriculture paysanne (AMAP), agriculture urbaine, permaculture, micro-maraîchage ou encore aquaponie fleurissent sur les territoires pour chercher à rétablir un lien équilibré entre producteurs et consommateurs, tout en réduisant les externalités négatives sur l'environnement.

De même les concepts d'économie et d'urbanisme circulaire se popularisent pour repenser l'usage des biens et des espaces, dans des logiques plus respectueuses de l'existant et moins consommatrices en nouvelles ressources.



²⁸ Chatel, Cathy. Moriconi-Ebrard, François. (2018). Les 32 plus grandes agglomérations du monde : comment l'urbanisation repousse-t-elle ses limites ?. Confins.

²⁹ ONU. (2018, 16 mai). 2,5 milliards de personnes de plus habiteront dans les villes d'ici 2050 | ONU DAES | Nations Unies Département des affaires économiques et sociales. Nations Unies. https://www.un.org/development/desa/fr/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html

³⁰ Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). How sustainable green urban farms support the local food system in response to COVID-19 | Food for the cities programme. FOA. https://www.fao.org/in-action/food-for-cities-programme/news/detail/en/c/1364173/

Quelles sont les émergences et signaux faibles?

La législation évolue vers la prise en compte progressive de la biodiversité dans les études d'impact dans de nombreux secteurs.

Les obligations réglementaires exigeant des études d'impact sur l'environnement avant la réalisation de grands projets d'infrastructures, se renforcent. De nouvelles législations sont aussi formalisées pour que les équilibres naturels et les écosystèmes soient mieux pris en compte dans l'ingénierie et la construction. Toutefois, ces évolutions juridiques restent encore tâtonnantes. Elles pourraient être consolidées et plus strictement appliquées dans les années à venir, notamment dans le domaine du bâtiment. Pour une meilleure prise en compte du thème de la biodiversité, il faut pouvoir proposer un ou plusieurs indicateurs, simples et compréhensibles pour être aisément partagés, comme les kg de CO2 pour les émissions de gaz à effet de serre. D'après l'IPBES, l'artificialisation des sols et l'étalement urbain sont une des causes principales de l'extinction de masse que nous vivons.31 D'autant plus que 1/4 de la biodiversité mondiale se trouve dans les sols.³² Souvent méconnus mais pourtant essentiels les sols sont des écosystèmes complexes qui jouent un rôle vital dans le système Terre : alimentation, régulation des flux de carbone et du cycle de l'eau, lutte contre le dérèglement climatique... Leurs fonctionnements sont aujourd'hui grandement altérés par les activités humaines, au point qu'ils sont désormais au cœur du dépassement de toutes les limites planétaires. Mais le plus important est que d'ici 2050, il faudrait laisser dans le sol près de 60 % du pétrole et du méthane fossile déjà découvert. Concernant le charbon, c'est 90% de la réserve mondiale qui est priée de rester sous terre si l'on veut avoir une chance sur deux de limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C.

Zoom sur le secteur du bâtiment

Le secteur du bâtiment est donc un acteur majeur dans la préservation et la restauration de la biodiversité.

Via ses impacts:

- il participe à l'artificialisation des sols ;
- · consomme des ressources naturelles ;
- émet une grande quantité de gaz à effet de serre.

Mais il peut également permettre sa préservation et sa restauration par :

- l'intégration de la nature en ville, les liens avec l'écosystème et les continuités écologiques ;
- l'utilisation de solutions fondées sur la nature (végétalisation des enveloppes) ;
- l'utilisation raisonnée du foncier (rénovation plutôt que constructions neuves) ;
- l'accueil d'espèces via des gîtes, nichoirs, hôtels à insectes, etc.

De plus, le bâtiment gagne à s'inspirer du vivant pour une conception et un fonctionnement amélioré. Des démonstrateurs existent sous l'appellation d'architecture organique et aussi via des recherches sur l'architecture biomimétique. Enfin, il y a un lien fort entre le bien-être des usagers du bâtiment et l'intégration de la biodiversité au sein de celui-ci.

La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et du paysage, la loi énergie climat, la loi antigaspi pour une économie circulaire et la loi portant la lutte contre le dérèglement climatique et le renforcement de la résilience face à ses effets, marquent la trajectoire à suivre pour relever ce défi.

³¹ Ministère de la Transition écologique. (2021, 11 mai). Bâtiment et Biodiversité. https://www.ecologie.gouv.fr/batiment-et-biodiversite#exposant1

³² CERDD. (2021, 17 juin). Les limites planétaires, un socle pour repenser nos modèles de société. Centre ressource du développement durable. http://www.cerdd.org/Parcours-thematiques/Territoires-durables/Ressources-territoires-durables/Les-limites-planetaires-un-socle-pour-repenser-nos-modeles-de-societe

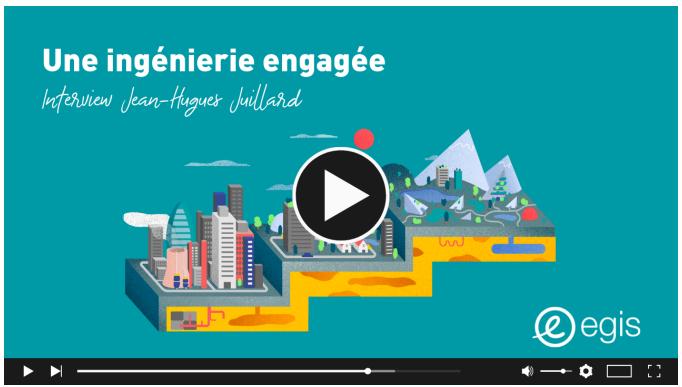
Les projets de construction commencent à s'inscrire dans les dynamiques locales spécifiques à chaque territoire.

Jusque dans les années 2000, les grandes infrastructures déployées sur les territoires se font au détriment de ces derniers et les modifient en profondeur. Le barrage Hoover, aux États-Unis, qui a entraîné la création du Lac Mead, n'en est qu'un exemple. Plus récemment, l'importance d'apprécier les spécificités d'un territoire et d'adapter les constructions qui y sont réalisées tend à s'affirmer comme principe-clé de tout grand projet d'infrastructure. Le **Canal Seine Nord Europe** en est un bon exemple : le canal permettra de relier les bassins de la Seine et de l'Oise et le report modal du fret routier vers le fret fluvial, assurant une décongestion de l'autoroute A1 et une diminution importante des émissions de CO2. Cette nouvelle logique exige de comprendre l'écosystème sur lequel des transformations pourraient être opérées et d'en mesurer les conséquences autant écologiques qu'économiques ou sociales.

Les enjeux reliant infrastructures et territoires étaient vus encore récemment sous le seul prisme économique. Dérèglement climatique et extinction de masse de la biodiversité ont ajouté la prise en compte des enjeux du vivant, et notamment des sols comme évoqué précédemment (source : Rapport IPBES 2021). Apparait en filigrane une limitation (encore au stade de signal faible) de la possibilité de création d'espaces construits (infrastructures et bâtiments). C'est l'enjeu ZAN : Zéro Artificialisation Nette, qui est un objectif à 2050 fixé par la loi climat et résilience. Elle demande d'abord aux territoires de baisser de 50%, d'ici à la fin de la décennie, le rythme d'artificialisation et de consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers.

Néanmoins, les oppositions citoyennes traduites, notamment, par la constitution de ZAD (Zones à Défendre) en France depuis les années 2010, témoignent du chemin qu'il reste à parcourir pour mettre en adéquation les objectifs d'aménagements territoriaux avec les attentes des usagers et le respect de l'environnement local. L'expression ZAD est un néologisme militant détourné de ZAD (Zone d'Aménagement Différé) qui est un outil de préemption conçu pour des opérations d'aménagement à long terme. C'est là que s'opposent les visées économiques du territoire et les enjeux de biodiversité sur la notion de long terme. Que faut-il, maintenant et pour le futur : le développement économique et/ou la préservation d'espaces naturels ? L'ingénieur.e sera, de plus en plus, au milieu du jeu. Il saura répondre, sur son domaine de compétences, aux enjeux et conséquences de l'objet pour lequel il réalise la conception. Mais il devra aussi dépasser ce cadre et interagir avec des parties prenantes dont la raison d'être n'est pas de discuter de l'optimisation d'un objet (infrastructure, ouvrage, bâtiment...) mais d'en questionner tout simplement le besoin.

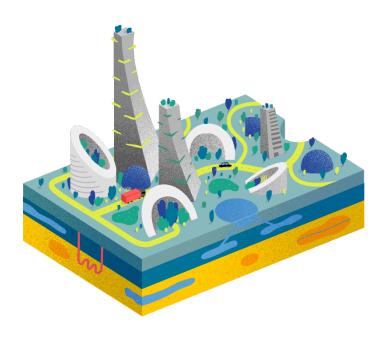
Voir la vidéo



La gestion des crises est laissée de plus en plus aux experts.

À rebours des tendances à la valorisation d'approches plus systémiques, collaboratives et intégratives décrites ci-dessus, la parole de l'expert comme seule garantie valable lors d'une prise de décision cruciale peut s'imposer dans les débats publics.

Cette gouvernance par l'expertise lorsqu'elle est poussée à l'extrême, observable, par exemple, au début de la crise sanitaire Covid-19, crispe les débats et mobilise les individus, les habitants ou les citoyens contre des projets ou des choix rendus ainsi complexes et inaccessibles.



Et demain?

Quelles trajectoires possibles pour l'ingénierie?

Vers une ingénierie des experts?

La tendance actuelle est à la valorisation de la parole de l'expert comme aide à la prise de décision, en particulier en temps de crise. Comme indiqué dans le premier chapitre, les crises sont, de fait, appelées à se multiplier et à se complexifier d'ici 2035.

L'ingénieur.e, formé.e à y répondre, pourrait donc rester dans sa bulle d'expertise et orienter les prises de décision de ses clients voire de l'État, grâce à son prisme scientifique et technique. Dans cette trajectoire, les acteurs publics ou privés pourraient même chercher à développer un cadre de mobilisation des experts grâce, par exemple, à une plateforme numérique recensant les talents disponibles, afin d'allouer à chaque situation les meilleures ressources humaines.

Mais, dans cette hypothèse, le rôle et la place du citoyen risqueraient d'être négligés et d'exacerber les oppositions au sein de la population contre des décisions venues « d'en haut », avec pourtant de forts impacts locaux.

Pour enrayer ce phénomène, de nouveaux procédés consultatifs plus adaptés à la mobilisation des individus lors des temps de préfiguration des projets, pourraient voir le jour. Les bureaux d'ingénieur.e.s interpelleraient, dans ce cadre, les citoyens dès les premières phases de conception pour mieux les impliquer dans l'élaboration ou la réfection des infrastructures. Attention, il ne s'agit pas de positionner l'ingénieur.e en tant que juge et partie, fixant lui-même le cadre et interpellant le citoyen. L'ingénieur.e gardera son statut d'expert mais sera amené à avoir plus d'interactions avec les parties prenantes et les citoyens. Mais en dernier ressort, il s'agira bien du décisionnaire final qui devra trancher et prendre position.

29





Un.e ingénieur.e ouvert sur le monde pour découvrir les solutions de demain

Outre ses compétences propres (expertise écologique, biomimétisme, solutions fondées sur la nature), l'ingénieur.e qui travaille sur le vivant doit être « perméable » et aller chercher les autres spécialités/expertises, apprendre à s'imprégner des autres disciplines, sans toutefois en devenir le spécialiste. La transdisciplinarité, comme celle pratiquée depuis plusieurs années entre biodiversité/architecture/paysage/conception technique/projet/technologies, a déjà permis de mettre en place des solutions, de la plus simple à la plus complexe, et ça continue, avec plus d'envie!

Hippolyte POUCHELLE Ingénieur écologue Activité Environnement Egis

Vers une ingénierie contrainte « by design »?

Aujourd'hui, les tentatives de régulations des activités humaines se multiplient pour réduire leurs impacts sur l'environnement, diminuer leurs consommations de ressources, mais aussi pour les rendre plus respectueuses des territoires et des écosystèmes dans lesquels elles se déroulent. Ce phénomène illustré, entre autres, par l'objectif neutralité carbone que s'est fixé l'Union Européenne, est et sera de plus en plus structurant pour tous les secteurs économiques dans les quinze prochaines années. Ainsi est-il possible d'imaginer une trajectoire dans laquelle l'ingénierie serait fortement contrainte d'ici 2035, et ce, à plusieurs échelles ?

D'abord, l'ingénierie composerait avec de nouvelles tensions sur les matières premières, y compris sur l'énergie disponible. Chaque projet mis en œuvre prendrait en compte des coûts croissants liés à l'approvisionnement difficile, parfois impossible, en ressources.

Ensuite, l'ingénierie pourrait, dans ce contexte, être soumise à des régulations de plus en plus rigoureuses. Ces régulations, nationales ou internationales, assureraient, en effet, que chaque nouveau projet, tout secteur d'activité confondu, respecte une grille de critères financiers mais aussi extra-financiers, tels que la préservation de la biodiversité ou, pourquoi pas, le respect du bien-être des populations locales. De telles révolutions juridiques pourraient s'inscrire dans un mouvement plus global d'évolution des modèles de valeur économique, dans lesquels la croissance ne se mesurerait plus seulement à l'aune du PIB. Au niveau de l'entreprise, on peut penser qu'une nouvelle comptabilité³³ visant à prendre en compte les externalités causées par l'activité de l'entreprise conduisent à une accélération vers des modèles plus vertueux de construction. C'est le cas de la comptabilité en triple capital, ou modèle CARE (Comprehensive Accounting in Respect of Ecology)³⁴.

Dans un tel scénario, le métier même d'ingénieur.e pourrait alors être profondément bouleversé. Les contraintes à la conception de nouvelles infrastructures seraient si lourdes que le réemploi et la réfection d'infrastructures existantes seraient privilégiées sur la production de nouveaux ouvrages. Dans certains cas, les ingénieur.e.s pourraient même être récompensé.e.s s'ils et elles trouvent une solution évitant de construire du neuf, tout en répondant au besoin exprimé³⁵. Les bureaux d'ingénierie évolueraient donc d'un modèle classique d'études et de projets vers un modèle d'exploitation et de maintenance, avec une métamorphose en profondeur de leur modèle économique associé.

³³ Chaire Comptabilité Ecologique. (2021, 23 mars). Références scientifiques - Axe organisation. https://www.chaire-comptabilite-ecologique.fr/ References-scientifiques-Axe-organisation

³⁴ AgroParisTech. (2019, 24 juin). Quelles comptabilités pour articuler gestion écologique de l'entreprise et des écosystèmes ? http://www2. agroparistech.fr/podcast/Quelles-comptabilites-pour-articuler-gestion-ecologique-de-l-entreprise-et-des.html

³⁵ Voir Jugaad, La science de la frugalité

Dans le cas où de nouveaux bâtiments ou de nouvelles infrastructures devraient être produits néanmoins, les ingénieur.e.s auraient pour mot d'ordre de les co-construire en pleine adéquation avec leurs territoires d'implantation, en suivant un lourd cahier des charges. Pour ce faire, en complément de la mission d'AMO, les bureaux d'ingénierie pourraient mobiliser leurs clients, les associations locales et les usagers dans la confection même du projet, afin de s'assurer que toutes les parties prenantes soient entendues. Ils et elles pourraient aussi repenser les techniques de fabrication et de production, par exemple en ayant recours à des producteurs locaux pour les matières premières, en utilisant des matériaux type bois-terre-paille ou biosourcés, ou encore en améliorant le recyclage et le réemploi des déchets sur le chantier grâce à des partenariats sur place.

La question non résolue est de savoir où se situera l'ingénieur.e. En amont, pourrait-il influer sur le cahier des charges du MOA ? Ou bien aura-t-il « seulement » l'objectif de répondre à un cahier des charges ? Si tel est le cas, se pose la question de son autonomie et donc de la gouvernance des projets : nous sommes dans un secteur où le droit fixe précisément les rôles dans l'acte de construire. Si son rôle est élargi, cela s'opèrera dans un cadre défini où on peut imaginer qu'il serait à la tête de groupements interdisciplinaires s'il est capable de faire travailler ensemble des experts de diverses spécialités. Cela nécessitera alors qu'il maitrise la multidisciplinarité, en sortant de son propre domaine d'expertise.

Les ingénieur.e.s chercheraient, par ailleurs, à diversifier les usages possibles de la nouvelle infrastructure, avec une attention particulière pour la faune et la flore locales. Par exemple, un nouveau pont pourrait aussi servir d'abri pour des cultures hydroponiques et pour des espèces endogènes. Les ingénieur.e.s seraient en outre appelé.e.s à maximiser l'efficacité énergétique de ces nouvelles infrastructures, voire à en faire des zones de capture d'énergie renouvelable. Ils et elles auraient, enfin, à penser leur existence sur le temps long, par exemple, en en faisant des puits de carbone.

Ainsi, l'ingénierie pourrait, dans cette trajectoire, adopter une démarche « permacole » : à la manière de la permaculture, le critère ultime pour valider tout projet serait celui de préserver ou créer des écosystèmes respectueux de la biodiversité. Une telle évolution supposerait de repenser les liens entre les ingénieur.e.s, les populations locales, et d'autres professions utiles à la bonne compréhension des milieux naturels, sociaux et économiques dans lesquels ces projets prendraient place, dans le cadre d'une gouvernance renouvelée.

Voir la vidéo



Vers une ingénierie biomimétique?

Si l'ingénierie s'oriente de plus en plus vers une meilleure prise en compte et un plus grand respect des écosystèmes, elle pourrait aller plus loin encore, en développant et en appliquant à grande échelle des solutions biomimétiques.

Différentes normes (ISO TC 266 – ISO 18458) existent concernant la notion de biomimétisme et connexes :

- La bio-inspiration : approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques ;
- La **biomimétique** : coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation, dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution ;
- La **bionique** : discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques ;
- Le **biomimétisme** : philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique).

Ces concepts appliqués au domaine de l'ingénierie, peuvent être illustrés par de nombreux exemples, notamment la *start-up* Planctonid qui s'est spécialisée dans le traitement des eaux tertiaires via des microalques. Le béton autoréparant utilisé comprend une bactérie qui contribue à régénérer le matériau.

Demain, les bureaux d'ingénierie pourraient donc axer leurs stratégies d'innovation sur l'approche biomimétique et chercher à mimer, dans chacun de leur projet, les mécanismes naturels préexistants. Prenant les systèmes biologiques comme modèle, cela imposerait aux ingénieur.e.s. de développer de nouvelles compétences sur l'étude des systèmes naturels et de leurs liens avec le processus d'innovation.

Cette approche rencontre néanmoins plusieurs limites : en tant qu'objet en constante mutation, le vivant reste difficile à répliquer. Par ailleurs, les conséquences du changement climatique perturbent en profondeur les écosystèmes et exigent leur adaptation constante et accélérée.



BOÎTE À CONTROVERSES

La fin des ingénieur.e.s-créateurs?

Et si demain il n'était plus possible de produire ou de construire du neuf, du fait de régulations trop strictes, ou d'un accès de plus en plus complexe et coûteux aux matières premières ? À quoi ressemblerait le métier d'ingénieur.e ?

A l'inverse, pensons-nous que les défis à relever étant si larges, imbriqués et complexes que ce seront les ingénieur.e.s créateurs qui seront les mieux armés pour développer une approche à la fois systématique et innovante ?

Modifier la nature : pari risqué ou lubie ?

Dans son dernier rapport Vigie (2020), l'association Futuribles International propose un scénario de rupture à horizon 2050 dans lequel les solutions de géoingénierie seraient très largement utilisées pour faire face aux conséquences dramatiques du réchauffement climatique.

La géoingénierie est une branche des sciences de l'ingénieur qui postule que l'humain pourrait être en mesure d'enrayer le changement climatique et ses conséquences grâce à des outils techniques. L'insémination par ions d'argent des nuages pour provoquer des pluies artificielles, l'empaquetage des glaciers pour en diminuer la fonte, la construction de parasols géants pour réfléchir les rayons du soleil ou de digues pour casser la montée des mers, en sont quelques exemples.

Au regard de la rapidité des transformations et de la multiplication des crises occasionnées par le changement climatique, ces solutions sont envisagées pour atténuer leurs impacts et garantir la sécurité physique, alimentaire et sanitaire des populations concernées. Pour autant, elles se heurtent toujours aujourd'hui à deux grandes incertitudes, et ce, malgré plusieurs expérimentations déjà en cours. D'une part, rien n'assure la fiabilité de ces différentes innovations. Chacune d'entre elles pourrait au mieux échouer, au pire provoquer des effets-rebonds bien pire que les phénomènes qu'elles cherchaient à endiguer. D'autre part, ces techniques et technologies ne feraient que traiter les symptômes du changement climatique et non ses causes. Par exemple, la première usine au monde de captage du CO2 dans l'air vient d'être lancée en Islande. Elle aura une capacité de 4000 tonnes de CO2 captées par an, c'est la plus grande au monde. Mais 4000 tonnes, c'est l'empreinte carbone annuelle de 400 français. Il semble que nous ne sommes pas à l'échelle... A elles seules, ces techniques et technologies ne permettraient donc pas de répondre de manière efficace aux enjeux que posent le réchauffement planétaire, mais aussi la pollution, l'artificialisation des sols ou encore l'agriculture intensive...

Espace-débat : la parole est à vous !

- × Parmi les trajectoires présentées, lesquelles vous paraissent les plus probables ? Les plus souhaitables ? Pourquoi ?
- × Pensez-vous qu'il soit souhaitable de mieux intégrer les citoyens dans les prises de décisions du secteur de l'ingénierie ? Si oui, comment ?
- × L'ingénierie doit-elle et peut-elle imiter la nature ? Dominer la nature ?
- × Que pensez-vous de la géoingénierie?

Pour aller plus loin

Pour creuser sur les futurs possibles de l'ingénierie respectueuse des écosystèmes et des territoires, voir :

- × World Energy Outlook, AIE, 2021
- × Transition(s) 2050: 5 choisir maintenant agir pour le climat, ADEME, novembre 2021
- **Colloque Interacadémique Science et architecture : L'urgence**, Académie des Sciences, décembre 2021
- ➤ Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, RTE, avril 2021
- × Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector, AIE, 2021
- Considérations sur l'électronucléaire actuel et futur, Académie des Sciences, 2021
- X Chapitre « En 2050, écologie de synthèse et géo-ingénierie comme réponses aux dégradations des écosystèmes », in *Rapport Vigie 2020*, Futuribles International, décembre 2020
- Biocène, Comment le vivant a coconstruit la Terre, Paul Mathis, 2021
- × Le droit du sol. Etienne Davodeau

VISION D'EXPERT

Cheminer vers l'essentiel

66

Ce qui me paraît essentiel dans les quinze prochaines années, c'est de réussir à bifurquer de sociétés qui détruisent le vivant, humain et non-humain, vers des sociétés qui soutiennent le vivant. Le chemin que nous pourrions appeler « vers l'essentiel » s'annonce aussi ardu que passionnant. Il vient remettre en question nos modes de pensée et d'action. Je propose ici quelques « conseils de voyage » pour aider à bifurquer puis avancer.

Olivier LEDRU Responsable Innovation Ville Durable Egis

Prendre conscience que nos sociétés détruisent le vivant

Le début du chapitre 2 rappelle les tendances lourdes à l'œuvre : dégradation des écosystèmes, augmentation des contraintes, besoin de revoir en profondeur la ville et l'urbanisation. Ces tendances lourdes débouchent toutes, tôt ou tard, sur la souffrance et la destruction du vivant, humain et non-humain. Certains scientifiques parlent même d'une **sixième extinction de masse**, la précédente étant la fin des dinosaures..., d'autres parlent d'effondrement. Après deux siècles de développements et de progrès tous azimuts, concomitants avec l'émergence de la société de croissance industrielle, l'espèce humaine arrive à un tournant ; elle est elle-même menacée de disparition. Quelle direction prendre ? Je fais partie de celles et ceux qui pensent qu'il existe une voie du milieu, entre d'un côté l'effondrement et de l'autre la poursuite de la société de croissance industrielle. Quels sont les ingrédients d'une possible bifurcation vers cette voie du milieu que je propose de nommer « cheminer vers l'essentiel » ?

La **prise de conscience** que nos sociétés détruisent le vivant est un préalable indispensable. Celle-ci peut se produire à plusieurs niveaux, rationnel, émotionnel, individuel, collectif. Au niveau rationnel par exemple, les informations produites par les scientifiques depuis plusieurs décennies (rappelons que le rapport Meadows, The limits to growth, date de 1972) sont édifiantes et peuvent générer une puissante prise de conscience, mais cela nécessite un effort d'appropriation. La prise de conscience peut aussi se produire au niveau émotionnel, de manière plus ou moins brutale, selon ce qui se produit en nous (stress, éco-anxiété, maladie, burn-out...) et autour de nous (événements et catastrophes climatiques, sanitaires, économiques, sociaux, familiaux... jusque dans nos projets d'ingénierie et de conseil). Parfois, plusieurs niveaux entrent en résonnance, par exemple le rationnel avec l'émotionnel, ou l'individuel avec le collectif, rendant la prise de conscience encore plus évidente.

En outre, le lien avec le territoire a un rôle à jouer. Je citerai l'exemple de Biovallée dans la vallée de la Drôme en France. Dans les années 1980, la rivière Drôme est utilisée comme égout et décharge publique. Elle est interdite à la baignade. La rivière et tout son écosystème vivant sont en train de mourir. Une prise de conscience collective émerge que si la rivière meurt, sous l'effet des activités humaines, c'est tout le territoire qui lui aussi se meurt. Les intercommunalités et acteurs de Biovallée s'organisent dès 1987 pour lancer des contrats de rivières et le premier SAGE (Schéma d'Aménagement et Gestion des Eaux) de France. Les décharges sont fermées, le seul barrage sur la rivière est détruit, des dizaines de stations d'épuration sont créées, les berges s'entretiennent, l'agriculture raisonne ses prélèvements, les carrières illégales sont stoppées. En vingt ans, un cours d'eau très dégradé devient une rivière naturelle, libre et propre. La biodiversité gagne du terrain, les poissons remontent, la loutre revient, le tourisme nature se développe. Cette démarche concertée de gestion à long terme reçoit en 2005, en Australie, le premier prix mondial pour la gestion de l'eau, le River Prize, devançant 450 candidats de 35 pays.

Bifurquer vers des sociétés qui soutiennent le vivant

Une forme de clarté émerge avec la prise de conscience : il y a **nécessité de bifurquer**. Ce constat est valable à toutes les échelles, de l'individu jusqu'aux territoires et organisations ainsi que sur certains des projets où nous intervenons en tant qu'ingénieriste ou consultant. Bifurquer, oui, mais concrètement,

dans quelle direction ? et par où commencer ? Nous connaissons toutes et tous la difficulté à répondre à ces questions. Nous avons chacune et chacun des exemples de changements plus ou moins radicaux, transitions, transformations, qui appellent parfois des renoncements, qui génèrent des oppositions et qui sans cesse mettent en lumière des contradictions entre nos actes et la direction que nous souhaitons prendre. Le « chemin vers l'essentiel » est tout sauf rectiligne, linéaire et bien balisé.

Je voudrais ici proposer quatre « conseils de voyage » pour s'engager et avancer sur ce chemin, pour trouver **ce qui fait le plus de sens**. Issus de mes propres expériences, ces quatre « conseils » sont liés les uns aux autres, comme différents angles de vue d'un même message, d'une même éthique. Ils peuvent se traduire par des intentions concrètes au quotidien et aussi par l'émergence de vocations à plus long terme. On peut choisir de faire de premiers pas avec l'un puis poursuivre avec un autre, en fonction de ce qui fait le plus de sens à un moment donné.

- 1. Soutenir le vivant. Soutenir le vivant vient en réponse aux destructions évoquées précédemment. Dans nos actions au quotidien comme dans nos projets à plus long terme, l'important est d'appréhender la « toile du vivant » dans son ensemble. Structure fragile, elle est composée de tous les êtres vivants, humains et non-humains, dans une invitation à dépasser la séparation entre l'Homme et la nature et en finir avec la prétendue supériorité de l'Homme et de ses technologies. Je préfère parler de vivant plutôt que d'environnement car cette notion est souvent restreinte -à tortaux milieux non-humains. Comme piste d'approfondissement sur la notion de vivant, je recommande les travaux des philosophes James Lovelock et Bruno Latour sur l'hypothèse Gaïa.
- 2. Prendre soin des relations. Les relations sont tous les fils qui font tenir la grande toile du vivant. Il s'agit des relations aux autres, humains et non-humains, et aussi de la relation à soi, car cette toile se déploie aussi à l'intérieur de chacune et chacun d'entre nous. Relation à soi, à l'intérieur, et relation aux autres, à l'extérieur, interagissent comme en miroir. Rappelons-nous l'invitation de Gandhi: « Sois le changement que tu veux voir advenir dans le monde ». Dans nos vies, où ressentons-nous le besoin et le désir de mettre davantage de soin dans nos relations ? Et à l'échelle globale, le changement climatique ne nous invite-t-il pas à bifurquer d'un monde dominé par la compétition vers un monde dominé par la coopération ?
- 3. Développer sa capacité d'attention. Travailler sur cette capacité n'est que la suite logique de la prise de conscience évoquée plus haut. Selon Otto Scharmer, fondateur de la théorie U : « Le pouvoir de l'attention est le vrai super pouvoir de notre époque. L'attention, alignée sur l'intention, peut faire bouger des montagnes. » L'attention se développe dans deux directions principales : i) le système, c'est-à-dire l'ensemble des parties prenantes, y compris soi-même, dans un mouvement d'inclusion et ii) les informations observées, en prenant en compte des informations des registres rationnel, « la tête », émotionnel, « le cœur » et physiologique, « le corps ». Le biomimétisme et la comptabilité triple capital sont deux exemples concrets, bien que fort différents, qui élargissent tous deux nos champs de vision.
- **4. Passer du linéaire au circulaire**. La logique qui sous-tend la société de croissance industrielle est linéaire, sans considération d'aucune contrainte, ni sur la finitude des ressources, ni sur les pollutions engendrées. L'économiste Kate Raworth l'explique très bien dans sa théorie du Doughnut. Or, les processus vivants sont cycliques : cycle de l'eau, cycle des saisons, cycle de la forêt... Inviter la circularité dans nos modes de pensée et d'action contribue directement à nous rapprocher du vivant. A l'échelle des territoires, je recommande la lecture du manifeste pour un urbanisme circulaire de Sylvain Grisot. Aux détracteurs qui objecteraient le risque de « tourner en rond », Kate Raworth répond que « ce sont les limites qui nous permettent de libérer notre potentiel et notre créativité! » Quand les cercles évoluent en spirales, quand la notion d'épanouissement remplace celle de la croissance sans limites...

J'espère que les lectrices et les lecteurs de ces quelques conseils auront trouvé de l'inspiration pour avancer, des résonnances avec d'autres passages du livre blanc, des ressources pour approfondir, des élans pour passer à l'action, dans leur quotidien comme dans les projets auxquels elles et ils contribuent. Quelles que soient les orientations prises, je leur souhaite de cheminer avec humilité, confiance et douceur.

VISION D'EXPERT

Chapitre 3

En 2035 une ingénierie augmentée par l'usage des nouvelles technologies



En 2035, une ingénierie augmentée par l'usage des nouvelles technologies

Avec le développement des nouvelles technologies et du numérique, le quotidien de l'ingénieur.e de demain sera profondément modifié. Une partie de ses tâches pourra être assurée ou « augmentée » par l'assistance digitale, ce qui en parallèle confrontera l'ingénieur.e à des choix stratégiques et éthiques en termes d'usages de ces technologies. Le secteur de l'ingénierie se confrontera aussi au risque d'être disrupté par de nouveaux entrants issus du monde du digital et notamment les « players » de la donnée.

Aujourd'hui...

Quelles sont les tendances lourdes?

Dans l'environnement global et l'écosystème

Une multiplication du nombre d'objets connectés.

Le nombre d'objets connectés est en constante augmentation. Depuis leur commercialisation dans les années 1970, la quantité des seuls ordinateurs personnels ne cesse de croître. À ces machines s'ajoutent les smartphones mis en vente dès les années 90, puis les objets connectés du quotidien (montres, balances, ampoules, prises, fours, frigos...) et les technologies intelligentes utilisées dans les villes (feux de signalisation, vidéosurveillances, capteurs...) dès 2010 et enfin, plus récemment, la promesse apportée par la 5G, d'une connexion rapide et sans heurt permettant l'avènement de l'industrie 4.0 ou 4ème ère de la révolution industrielle.

Cette accélération est sans équivoque : il y avait un milliard d'objets connectés dans le monde en 2010, chiffre qui devrait passer à 50 milliards en 2025 et à 100 milliards en 2030³⁶.



Des données de plus en plus nombreuses et de plus en plus ouvertes.

Cette multiplication du nombre d'objets connectés a pour corollaire la production croissante de données. Mais elle n'est pas le seul phénomène qui explique l'explosion du nombre de données produites.

³⁶ Télécom SudParis. (2021, 27 septembre). Objets connectés : 50 milliards d'émetteurs de CO2 ? Institut Polytechnique de Paris. Consultable à l'adresse https://www.telecom-sudparis.eu/actualite/objets-connectes-50-milliards-demetteurs-de-co2/

Comme l'indique la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés), « le développement des nouvelles technologies, d'internet et des réseaux sociaux ces vingt dernières années a entraîné la production de données numériques de plus en plus nombreuses: textes, photos, vidéos, etc. Le gigantesque volume de données numériques produites, combiné aux capacités sans cesse accrues de stockage et des outils d'analyse en temps réel de plus en plus sophistiqués offre aujourd'hui des possibilités inégalées d'exploitation des informations ».

Ainsi, la sphère globale des données (SGD) créée par l'humanité était estimée en 2018 à trente-trois mille milliards de milliards de caractères (« octets »). Selon les estimations publiées dans le *Digital Economy Compass 2019* de Statista, le volume annuel de données numériques créées à l'échelle mondiale a été multiplié par plus de vingt au cours de la dernière décennie. Si l'on suit cette tendance, les données devraient continuer à augmenter à un rythme exponentiel et pourraient être multipliées par 40 d'ici 2035.

Une grande partie de ces données reste aujourd'hui à la main des organisations privées, notamment par les entreprises qui les collectent et les exploitent. Elles ne sont pas rendues publiques. D'autres sont protégées par les institutions qui les administrent, notamment lorsqu'elles sont sensibles. Néanmoins, dès la fin des années 90, la question d'ouvrir certains jeux de données a été posée, dans une logique d'intérêt général.

Au cours de la dernière décennie, un certain nombre d'initiatives, en France en particulier, sont venues confirmer l'intérêt des acteurs privés comme publics, de participer à cette mise à disposition de données jusqu'alors confidentielles. Ainsi, en 2011, le portail data.gouv.fr est lancé et permet d'accéder à certaines ressources de l'administration française. En 2015, la charte internationale sur l'Open Data est signée par dix-sept pays lors du Sommet de Mexico et place la question de l'ouverture des données au cœur d'un agenda politique partagé par les États signataires (The International Open Data Charter). Plus récemment, des entreprises ont suivi ce mouvement, comme EDF qui a ouvert sa plateforme *Open Data* en 2020.





L'intelligence artificielle s'affirme comme la condition d'interprétation du Big Data.

La quantité de données créées oblige à développer des compétences de collecte, de stockage et d'analyse technique. La science de la donnée est, de fait, devenue un enjeu primordial du développement des entreprises au cours de la dernière décennie.

Certaines entreprises ont su rapidement maximiser leurs usages des données, comme Google, mais aussi Airbnb qui a créé sa propre *Data University* ou Amazon qui a investi massivement dans l'Intelligence Artificielle. Ces entreprises ont participé, ce faisant, à la croissance du phénomène *big data*, en mettant au point des technologies pour collecter, stocker et décrypter ces masses de données cumulées. À l'inverse, plusieurs acteurs sont encore très en retard. Actuellement les entreprises utiliseraient, en moyenne, moins de 20% de toutes leurs données internes (source : International Data Corp). Or, ce sont précisément les nouvelles techniques d'intelligence artificielle qui devraient leur permettre d'utiliser les 80% restants³⁷.

Si l'intelligence artificielle s'impose comme le meilleur outil pour donner sens et valeur aux jeux de données collectées, elle n'exempte pas, néanmoins de problématiques éthiques cruciales (risques de discrimination, régulation des prises de décision par l'IA...), auxquelles les entreprises qui utilisent ou souhaitent utiliser de tels algorithmes sont de plus en plus confrontées. Les algorithmes sont toujours programmés par l'Homme et il faut toujours se demander ce qu'apportent en plus les schémas et arborescences que l'on veut créer et systématiser afin de faire parler les grands nombres³⁸.

Voir la vidéo



Des capacités d'échanges de plus en plus rapides.

À la fois cause et conséquence de la multiplication du nombre d'objets connectés et de la croissance du nombre de données produites, la qualité des réseaux et des plateformes d'échanges de données a, elle aussi, fortement évolué au cours des vingt dernières années. Non seulement les infrastructures techniques, nécessaires au transfert de données, se sont nettement améliorées tant en termes d'architecture, que de coûts et de performance. Mais en outre, les espaces de stockage et de partage des données se sont transformés et diversifiés. Le *cloud* et les espaces partagés ont ainsi remplacé les disques durs physiques. Ces évolutions permettent donc d'échanger des données à des rythmes toujours plus effrénés, avec de fortes conséquences, notamment, sur les modalités d'organisation du travail et de management des équipes.

³⁷ L'Usine Digitale. (2019, 11 avril). Data et IA: la moitié des entreprises exploite moins de 25% de la donnée collectée et analysée. usine-digitale.fr. https://www.usine-digitale.fr/article/data-et-ia-la-moitie-des-entreprises-exploite-moins-de-25-de-la-donnee-collectee-et-analysee. N756829

³⁸ Chironi, S. (2021, août 18). Aurélie Jean et Rebecca Gisler. France Inter. https://www.franceinter.fr/emissions/un-monde-nouveau/un-monde-nouveau-du-mercredi-18-aout-2021





Le collaboratif au service de la performance

Une ingénierie collaborative permet de mieux partager les informations et de mieux les maîtriser. Une fois que l'on arrive à connecter les données entre elles, il est alors possible de faciliter la vérification, d'accélérer la validation, d'automatiser des tâches faites auparavant manuellement et d'en tirer de nouveaux usages. Cela doit se faire en lien avec les métiers qui connaissent les processus et les méthodes de travail. La performance de l'ingénierie en est alors augmentée, ce qui nous permet d'être plus compétitif sur le marché.

Guillaume MONTANDON Responsable Ingénierie Numérique Egis

Dans l'ingénierie

Les nouvelles technologies, particulièrement de modélisation, deviennent de plus en plus incontournables pour le secteur.

Par ses activités et ses modalités de travail, le secteur de l'ingénierie cherche à exploiter les opportunités qu'offrent les nouvelles technologies. Les ingénieur.e.s, grâce à leur formation, disposent, en outre, d'atouts indéniables pour en maximiser les bénéfices.

Ainsi, pour ne prendre qu'un exemple, l'ingénierie a su très vite s'appuyer sur les outils de modélisation virtuelle, aussi connus sous le nom de « jumeau numérique », pour améliorer ses pratiques de construction. L'évolution de la modélisation en BIM (Building Information Modelling) est tout à fait illustrative des impacts qu'ont eu les progrès successifs des nouvelles technologies sur le secteur de l'ingénierie. La possibilité, aujourd'hui, d'agréger toujours plus de jeux de données, de les représenter sous plusieurs dimensions, de les partager largement, ou encore de les actualiser en temps réel, témoigne du rôle crucial que peuvent jouer les nouvelles technologies dans le quotidien de l'ingénieur.e.

La puissance de l'IA sera contributrice à la collecte organisée des données, pour l'ingénierie il s'agira essentiellement de gérer une masse de données liée à la conception des ouvrages, de façon à toujours plus affiner la prise en compte de multiples facteurs liés à la sécurité, l'impact environnemental, l'accessibilité...



Zoom sur : la modélisation en BIM, de la 2D (une simple carte) à la 7D

- Le BIM 3D permet de modéliser trois dimensions géométriques, pour donner « corps » à la carte (de l'infrastructure, du bâtiment, de l'ouvrage à réaliser...);
- Le BIM 4D ajoute une donnée « temps » aux trois dimensions géométriques qui permet, par exemple, de leur associer un planning de construction ;
- Le BIM 5D permet d'additionner la donnée « coût », pour obtenir un aperçu de la situation financière d'un projet, à un moment T ;
- Le BIM 6D intègre toute la dimension développement durable ou éco-conception du projet, par exemple, les analyses énergétiques ;
- Le BIM 7D, enfin, lie l'ensemble des éléments du projet aux problématiques de durée de vie du bâtiment.

Voir la vidéo



Quelles sont les émergences et signaux faibles?

Dans l'environnement global et l'écosystème

Le *cloud* s'affirme progressivement comme solution de stockage de données et entraîne des transformations dans les façons de travailler. Mais de nouvelles technologies révolutionnaires émergent.

Le stockage de la donnée numérique a profondément évolué, depuis le premier disque dur en 1956, jusqu'à la démocratisation du *cloud* de nos jours.

Le *cloud* est un terme générique qui décrit très largement l'ensemble des solutions techniques qui permettent d'accéder à des services à distance, via Internet. Pour Jean-Paul Alibert, président de T-Systems France, « jusqu'à 60% des organisations auront recours à l'offre de service gérée dans le *cloud* par un fournisseur externe d'ici 2022 ».

Une telle révolution a de profonds impacts sur les pratiques au travail, y compris dans le secteur de l'ingénierie. Les échanges entre collaboratrices et collaborateurs peuvent se faire en direct sur des maquettes numériques, y compris à distance. Les bureaux d'études et toute la chaîne de valeur (depuis les ingénieur.e.s jusqu'au chantier) peuvent se connecter instantanément sur les mêmes plans. Des perspectives d'innovation en termes de systèmes intelligents connectés via le *cloud* se profilent.

Mais outre les enjeux stratégiques d'organisation du travail, de sécurisation des données, d'indépendance et d'autonomie de l'entreprise que de telles évolutions posent, le mot *cloud* ne doit pas masquer la réalité physique du stockage des données.

Ainsi, si les données ne sont plus stockées chez le client du *cloud*, elles sont bien conservées ailleurs. En 2018, il fallait 33 000 datacenters pour héberger l'ensemble des données produites à l'échelle mondiale. « En 2040, il en faudra entre cinq à trente millions de fois plus » alerte François Kepès, chercheur et membre du groupe de travail « ADN: lire, écrire, stocker l'information » de l'Académie des technologies. Il souligne qu'à moins de changer de paradigme, en 2040, 1/1000 des terres émergées de la planète seront couvertes par ces datacenters terriblement énergivores.

Il apparaît donc urgent de développer de nouvelles solutions d'hébergement mais aussi de tri pour diminuer le nombre de données conservées. Parmi les pistes en cours d'exploration, le stockage sur l'ADN pourrait révolutionner les pratiques actuelles. Étudiée sérieusement depuis les années 2010, cette solution se heurte encore à des problématiques de coût et de fiabilité. Elle reste, néanmoins, une des meilleures alternatives au *cloud*, puisque l'ADN aurait une densité de stockage un million de fois plus élevée que celle d'un disque dur et n'aurait besoin, pour être conservé, que d'un tube à essai³⁹...



Les progrès dans les sciences cognitives permettent de déployer de nouvelles expériences en réalité virtuelle ou augmentée.

En parallèle de l'amélioration des capacités de modélisation décrite précédemment, les technologies de réalité augmentée et virtuelle bénéficient des progrès des sciences cognitives pour gagner en performance. De moins en moins coûteuses, ces technologies peuvent être utilisées pour dématérialiser les expériences des usagers (citoyens, clients, professionnel.le.s...) et ainsi permettre le développement de nouveaux services. Dans le cas de l'ingénierie, par exemple, la réalité virtuelle pourrait permettre aux clients ou aux futurs usagers de l'ouvrage de le « visiter », de le visualiser dans son environnement, et d'en évaluer les points forts, les points faibles, les marges d'amélioration.

³⁹ Tanneur, I. (2021, 24 mai). L'ADN sera-t -il l'avenir du stockage de données ? The Conversation. https://theconversation.com/ladn-sera-t-il-lavenir-du-stockage-de-donnees-159387



Dans l'ingénierie

Les métiers de la conception, de la réalisation des travaux et de l'exploitation commencent progressivement à intégrer les objets connectés. En parallèle, les attentes augmentent en matière de recours à ces nouvelles technologies.

Les possibilités qu'offrent les objets connectés (ou l'internet des objets) poussent les bureaux d'ingénierie à en explorer les applications concrètes dans leur domaine d'activité.

Ainsi, l'internet des objets apporte de nouvelles opportunités de simulation, de prédiction du fonctionnement des ouvrages, mais aussi de traitement en temps réel et à distance d'une multitude d'informations les concernant, une fois ces derniers réalisés. À moyen terme, l'extension de la connectique à de nouveaux champs jusqu'alors inexplorés (nanotechnologies et biotechnologies connectées, ou encore capteurs biodégradables) ouvre des perspectives d'innovation sans précédent pour l'ingénierie.



Une prise en compte récente des carences en compétences pour opérer ces nouvelles technologies.

La multiplication du nombre d'objets connectés, l'augmentation croissante des jeux de données, les besoins techniques en termes de gestion de ces données ou encore le développement de nouvelles techniques de modélisation confrontent le secteur de l'ingénierie à ses carences en termes de ressources humaines. Les ingénieur.e.s sont encore trop peu formé.e.s à ces technologies⁴⁰.

Dans les prochaines années, les écoles et bureaux d'ingénierie auront donc à relever un réel défi de formation et de mise en adéquation des compétences des (futurs) professionnel.le.s aux technologies actuelles et à venir.

Voir la vidéo



Et demain?

Quelles trajectoires possibles pour l'ingénierie?

Vers une ingénierie de la donnée sur-connectée ?

Si les évolutions de la connectique, du nombre d'objets connectés et des progrès de la réalité virtuelle se poursuivent selon les tendances actuelles, il est possible d'envisager, à horizon 2035, une révolution en profondeur des modalités de travail de l'ingénieur.e.

Ainsi, dans cette trajectoire, la technologie 6G serait largement accessible et ouvrirait des possibilités sans précédent de connexion entre personnes et objets. L'entremêlement entre monde physique et monde virtuel serait particulièrement abouti, permettant de coupler hologrammes, doubles numériques et espace physique.

⁴⁰ République Française. (2015). Les besoins et l'offre de formation aux métiers du numérique. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/offre-formation-numerique.pdf

Concrètement, un chantier sur une infrastructure pourrait être visité, voire opéré à distance. Les plans de maintenance pourraient être organisés de manière collaborative via Internet, l'optimisation des usages des infrastructures orchestrée, elle aussi, à distance. Le jumeau numérique s'imposerait définitivement comme outil principal d'interactions avec les parties prenantes. Les usagers finaux, voire les citoyens concernés, eux-mêmes, par le projet, pourraient interagir avec cette modélisation numérique, y compris sous un format ludique (ou *gamifié*), nourrissant ainsi la conception de l'ouvrage de leurs retours d'expérience et de leurs ressentis et permettant au bureau d'ingénierie de l'adapter encore plus finement à leurs besoins et à leurs attentes.

De nouvelles technologies de connexion permettraient de collecter des informations de plus en plus fines sur le terrain (biotechnologies connectées, par exemple). Ajoutés à cela, les délais d'interactions entre objets étant de plus en plus courts, les modèles de calculs seraient plus puissants, permettant de nouvelles applications pour la conception, la réalisation, et le suivi des projets.

Mais de telles évolutions exigeraient de détenir les compétences et les outils pour stocker et traiter les données. Pourrait alors émerger une « économie de la puissance de calcul », dans le cadre de laquelle certaines entreprises loueraient leurs machines et leurs talents pour réaliser les opérations de plus petites firmes.

De fait, ce futur plus connecté exigerait d'améliorer encore plus les stratégies de sécurisation des données. Certaines technologies de protection comme la blockchain pourraient ainsi devenir incontournables. Quelques acteurs pourraient commencer à expérimenter le stockage sur ADN de leurs données « froides », c'est-à-dire leurs archives, pour éviter d'avoir recours aux *clouds* d'acteurs étrangers.

En parallèle, de nouvelles problématiques autour des questions sanitaires, y compris dans le cadre de politiques de santé au travail, pourraient se cristalliser autour de la multiplication des antennes et donc des ondes électromagnétiques.





Du réel au virtuel, du virtuel au réel, une expérience apprenante ?

La transition numérique est en marche au sein de nos organisations y compris chez nos clients. En tant qu'ingénieriste, en quoi le digital nous permet-il d'être plus performant et pertinent au regard de l'acte de construire (en réel ou virtuel)? De belles perspectives s'ouvrent à nous en termes de développement de nouveaux services et de nouvelles compétences, basé sur une ingénierie de l'expérience dématérialisée, centré sur l'usage et une approche collaborative renforcée. Êtes-vous prêts ?

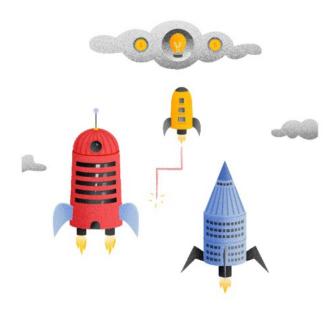
Véronique REMANDE Expert BIM Activité Nucléaire, Responsable Projets numériques Egis

Vers une ingénierie plateformisée ?

La production massive de données pourrait nourrir des stratégies d'open data dans le secteur de l'ingénierie, avec pour ambition de mieux impliquer les usagers finaux des infrastructures ou des ouvrages dans leur conception.

Dans cette trajectoire, des plateformes numériques collaboratives pourraient ainsi être structurées par les bureaux d'ingénierie dans une logique similaire au crowdsourcing. Dans certains cas sensibles, de telles démarches pourraient s'avérer nécessaires afin de valider la mise en œuvre d'un projet et pour éviter les oppositions citoyennes trop importantes (voir chapitre précédent).

Plus globalement, de telles plateformes collaboratives seraient aussi utiles pour assurer la relation avec l'ensemble des parties prenantes de la chaîne de valeur d'un projet d'infrastructures. Mais une telle évolution exigerait d'être en capacité d'assurer la bonne ergonomie et la stabilité de ces plateformes.



BOÎTE À CONTROVERSES

Et si l'ingénierie se heurtait aux limites du tout-technologique?

La multiplication des objets connectés et des données ou encore les progrès de la connectique sont autant d'évolutions tendancielles, mais rien n'assure que le futur s'inscrira dans la tendance actuelle.

En effet, un certain nombre d'obstacles identifiables dès à présent laissent à penser que d'autres trajectoires sont envisageables en termes de disponibilités et d'efficacité de ces divers outils. Déjà en 2018, l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) rappelle que la rapidité et l'ampleur du développement de l'Internet des objets au cours des quinze prochaines années, dépendront très largement de la rapidité de déploiement des infrastructures et de la baisse des coûts des équipements.

Or l'accessibilité de certaines technologies (détenues seulement par certaines entreprises étrangères) voire de certaines ressources rares, pourrait être compromise dans les années à venir, en Europe en particulier, pour des raisons géopolitiques ou environnementales, freinant considérablement le déploiement des objets connectés et des révolutions qui leur sont associées.

Par ailleurs, si ces technologies venaient effectivement à être déployées, le volume de données qu'elles produiraient serait tel qu'il pourrait être difficile pour les entreprises elles-mêmes de les utiliser et de les stocker efficacement. Intel prévoit ainsi, par exemple, que les véhicules sans conducteurs (et donc connectés) pourraient produire jusqu'à 4000 Go de données par jour, soit l'équivalent de l'utilisation de données mobiles de près de 50 000 personnes selon la moyenne actuelle de l'OCDE⁴¹. Sans parler du coût environnemental d'une telle production (rappelons toutefois que le secteur des nouvelles technologies représente déjà à lui seul entre 6 et 10% de la consommation mondiale d'électricité). Quel intérêt pour les entreprises d'agréger autant de données, si elles ne parviennent pas à les rentabiliser ?

À cela s'ajoutent les possibles mouvements de contestation sociale au développement du tout-technologique, autour des enjeux d'anonymat et de sécurité des données. Tous ces phénomènes pourraient avoir de forts impacts sur l'ingénierie. Les bureaux d'ingénierie qui auraient trop tablé sur ces révolutions technologiques pourraient-ils se retrouver dans une situation critique si cette trajectoire venait à se réaliser ?

La réalité virtuelle, le futur de l'ingénierie?

Et si demain, la réalité virtuelle devenait un axe fondamental du quotidien de l'ingénieur.e?

Les propriétés de cette technologie pourraient permettre, en effet, de mieux visualiser les propositions du bureau d'ingénierie. Elle favoriserait l'immersion des clients, voire des usagers finaux, dans le projet et ainsi permettrait de mieux comprendre leurs besoins et leurs attentes.

La réalité virtuelle pourrait-elle alors fluidifier les échanges entre les différentes parties prenantes ? Pourrait-elle ouvrir sur de nouvelles expériences avant même que l'ouvrage ne soit réalisé en mobilisant les cinq sens de l'utilisateur ? Pourrait-elle, enfin, dans les cas les plus extrêmes, remplacer la réalisation matérielle de certains bâtiments ? Si demain, les

⁴¹ OCDE. (2018). Technologies transformatrices et emplois de l'avenir. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/offre-formation-numerique.pdf

bibliothèques et cinémas virtuels fleurissaient, les impacts sur les métiers de l'ingénierie seraient probablement retentissants...

L'ingénierie traditionnelle détrônée par de nouveaux entrants?

Jean-Philippe Couturier, entrepreneur et professeur à HEC, spécialiste des nouveaux modèles économiques du numérique, rappelle comment quelques « organisations exponentielles » ont façonné l'économie mondiale en moins de dix ans. Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft (les GAFAM), mais aussi plus récemment leurs homologues chinois Baidu, Alibaba, Tencent ou encore Xiaomi (les BATX) ont su étendre leur emprise sur de nombreux secteurs d'activité, grâce à leur modèle basé non pas sur la propriété mais sur la gestion des données et de l'information. Ces entreprises ont bouleversé en profondeur plusieurs activités instituées de longue date, comme la grande distribution ou les médias. Pourraient-elles en faire de même avec l'ingénierie ?

La tentative avortée de Google de réaliser le projet « *Smart City* » de Toronto ne s'est pas heurtée à un manque de compétences techniques mais à une forte opposition citoyenne. Reste que l'entreprise aurait pu, grâce à ses experts en connectivité et à sa maîtrise des données, surmonter son manque d'expérience dans la gestion des projets de construction et jouer à Toronto le rôle d'un bureau d'ingénierie.

Outre l'impact des stratégies de ces mastodontes du numérique sur le secteur, le marché de l'ingénierie pourrait aussi évoluer sous l'influence de nouvelles *start-ups*. Si les coûts d'entrée restent élevés, plusieurs exemples dans d'autres domaines réputés « intouchables » prouvent que les entreprises traditionnelles d'ingénierie pourraient, elles aussi, dans les années à venir, se trouver confrontées à de nouveaux entrants, inconnus jusqu'alors. Ainsi, l'irruption de Space X dans l'aérospatial ou de la *start-up* UPower Technology dans le nucléaire (qui développe de petits réacteurs modulaires) contraignent de vieux marchés à se restructurer brutalement et rapidement. Et ces *start-ups* peuvent parfois bénéficier du soutien de grands fonds d'investissement tel que Vision Fund qui, début 2018 a injecté 285 millions de dollars dans la *start-up* Katerra, une jeune firme qui souhaitait « disrupter » l'industrie de la construction. Là encore, la *start-up* a finalement échoué.

Toutefois, l'hypothèse d'une compétition de plus en plus rude à l'avenir pour les bureaux d'ingénierie traditionnels pour remporter des marchés n'est pas à exclure. Les anciens cabinets d'ingénierie bénéficieront toujours de leurs références historiques, gages de fiabilité auprès de leurs clients. Mais si le numérique continue à étendre son emprise sur tous les domaines d'activité, les cabinets traditionnels devront très certainement repenser leurs processus, leurs outils et leurs services pour ne pas être dépassés.

De fait, il est aussi possible d'envisager que l'ensemble de la chaîne de valeur cherche à intégrer de plus en plus les compétences en ingénierie à chaque étape de conception, construction et usage d'un ouvrage. Ainsi, par exemple, les opérateurs spécialisés dans les jumeaux numériques pourraient se rapprocher directement des clients gestionnaires d'actifs, et supplanter les ingénieries classiques, aujourd'hui trop focalisées sur la conception et la construction d'ouvrages neufs. De même, les exploitants, constructeurs ou spécialistes du BTP pourraient souhaiter se doter de compétences en ingénierie intégrée directement à leurs activités pour les ancrer dans les réalités du terrain.

Une ingénierie sans humain?

Pour de nombreux secteurs, les progrès en matière de collecte et de traitement de données s'accompagnent d'une automatisation des tâches les plus répétitives. Selon la *start-up* française Boostr, la robotique et l'intelligence artificielle, qui s'appuient, entre autres, sur cette maîtrise des données, pourraient participer à l'automatisation de 61% des compétences acquises par les Français. Après avoir cartographié 13 000 compétences et 3112 métiers, Boostr indique, dans cette même étude, que les ingénieur.e.s pourraient voir leurs activités automatisées à hauteur de 53%⁴².

Une telle révolution obligerait une refonte en profondeur des stratégies de formation et de recrutement des ingénieur.e.s mais aussi de l'organisation même du travail au sein des bureaux d'ingénierie.

Cette trajectoire pourrait conduire à une profonde dichotomie au sein des équipes, entre, d'un côté, une hyperspécialisation de certains profils techniques, et, de l'autre, des profils aux capacités de synthèse, de pilotage voire détenteurs de *soft skills* tels que la créativité, l'originalité ou l'esprit d'initiative.

⁴² Arène, V. (2020, 28 septembre). Les ingénieurs pourraient voir leur métier automatisé à hauteur de 53%. Le Monde Informatique. https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-les-ingenieurs-pourraient-voir-leur-metier-automatise-a-hauteur-de-53-80512.html

Espace-débat : la parole est à vous !

- × Parmi les trajectoires présentées, lesquelles vous paraissent les plus probables ? Les plus souhaitables ? Pourquoi ?
- × Idéalement, les cabinets d'ingénierie traditionnels devraient-ils se concentrer sur la maîtrise de certaines technologies, ou au contraire diversifier leurs compétences pour s'adapter aux évolutions de leur environnement ?
- ➤ Pensez-vous que de nouveaux entrants du monde numérique (GAFAM, *start-ups...*) puissent révolutionner le secteur de l'ingénierie ?
- X Sur quelles compétences les cabinets d'ingénierie devraient-ils axer leurs recrutements, leurs formations internes ?

Pour aller plus loin

Pour creuser sur les futurs possibles du numérique et des infrastructures de télécommunication, voir :

- **Futurs numériques, quelles trajectoires ?**, Rapport d'Orientation Stratégique du Cigref, octobre 2021
- × Le Cloud européen, scénarios à horizon 2027-2030, KPMG, avril 2021
- × Technology foresight exercise, EDA, 2021
- X Les Robots dans l'industrie : saisir l'opportunité, Fondation de l'Académie des technologies, 2020
- **✗** Optima 2121, Thierry Schwab, roman de science-fiction

VISION D'EXPERT

L'interopérabilité clé du succès de l'ingénierie de demain

66

Imaginez devoir utiliser trois téléphones portables en raison des différentes technologies proposées par les opérateurs ou bien d'être dans l'obligation de changer de train au passage des frontières car les largeurs des rails sont différentes entre pays. C'est ce qui serait arrivé si ces industries n'avaient pas travaillé sur l'interopérabilité de leurs systèmes. Et c'est malheureusement la situation dans laquelle se trouve l'ingénierie qui n'a pas su travailler à des normalisations suffisamment abouties pour répondre à ce besoin d'interopérabilité. A l'heure du BIM, du jumeau numérique et des nouvelles technologies, nous devons continuer à nous mobiliser pour atteindre cet objectif indispensable.

Lionel FABRE Directeur du Déploiement Numérique Egis

Commençons avec un peu d'histoire

Pour bien comprendre où nous en sommes aujourd'hui, il est intéressant de se rappeler d'où nous venons. Jusqu'à la fin des années 1980, l'ensemble des processus de conception étaient réalisés sur des planches à dessin avec des crayons à papier et des « Rotring ». Cette façon de travailler était la seule à disposition, elle était fastidieuse et consommatrice de temps.

À cette époque, nous étions très loin de parler d'interopérabilité mais plutôt de **productivité**, ce qui a certainement été une des raisons de l'apparition des logiciels de DAO/CAO.

Il a fallu attendre le début des années 1990 pour que les programmes de DAO comme Autocad commencent à s'imposer dans les bureaux d'ingénierie du monde entier et la fin des années 1990 pour les logiciels de CAO comme Revit ou Archicad.

L'arrivée de ces nouvelles solutions a permis d'introduire une évolution majeure dans le quotidien des ingénieur.e.s et architectes qui se sont vus assistés d'une solution leur permettant de façon simple de supprimer, modifier, déplacer des éléments qui jusqu'à ce moment-là nécessitait l'utilisation d'une « lame de rasoir ». Mais bien plus encore, cette évolution a permis d'introduire la capacité d'apporter des modifications rapides et efficaces à la conception sans avoir à recommencer l'ensemble du projet.

C'est tout naturellement à cette période que le besoin de faciliter les échanges d'informations au travers de **l'interopérabilité des systèmes** est apparu entre les différentes applications utilisées et que le BIM a fait son apparition. Il est dit que l'expression « building information model », aurait d'abord été employée par Charles M. Eastman et que Phil Bernstein, alors conseiller chez Autodesk fût le premier à utiliser le mot BIM pour « building information modelling ».

Pour pallier ce manque d'interopérabilité, le standard IFC est né à cette période, à l'initiative de l'IAI (International Alliance for Interoperability), renommée depuis building SMART qui associait des entreprises du secteur de la construction et des éditeurs de logiciels. En Janvier 1997, sortait la version 1.0 de l'IFC. Et plus récemment est arrivé le format BCF (BIM Collaborative format) qui a pour objectif de suivre les conflits basés sur des vues de modèles attachés à des objets et qui à ce jour n'est toujours pas normalisé.

L'interopérabilité dans l'ingénierie de demain est une des clés du succès

« L'interopérabilité est la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont intégralement connues, à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs, et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre. » (source : Wikipédia)

25 ans après la prise de conscience des différents acteurs sur ce **besoin fondamental de développer une interopérabilité** et les premières versions du standard IFC, le chemin reste encore long avant de pouvoir conclure que cette définition est vérifiée dans l'ingénierie de la construction, comme elle l'est déjà dans d'autres industries (aéronautique, automobile...).

Comment se fait-il qu'après autant de temps, nous n'en soyons encore qu'à ce faible niveau d'interopérabilité malgré la volonté affichée des différents acteurs qui s'impliquent dans la normalisation ?

Les raisons de ce retard sont multiples, mais il n'est pas déraisonnable de dire qu'il est principalement dû à la **résistance forte** des éditeurs de logiciels conventionnels qui ont souhaité depuis longtemps conserver leurs formats propriétaires pour s'assurer de la dépendance des utilisateurs à ces formats.

Finalement, c'est un retournement de situation, car les éditeurs qui ont poussé le BIM à travers leurs solutions et cela pour développer plus de business, ont dû se rendre à l'évidence, la pression du marché leur a fait revoir leurs positions pour se repositionner en tant que partie prenante des différents groupes internationaux de normalisation (Building Smart International, Open Design Alliance, pour ne citer qu'eux).

L'interopérabilité, la mobilisation doit continuer

Le développement du numérique entraîne une **transformation en profondeur** de l'ingénierie, et par conséquent des ingénieur.e.s de demain. Les nouvelles technologies qui sont mises à disposition (l'intelligence artificielle, le jumeaux numériques, la réalité virtuelle ou augmentée, ou bien toutes les autres nouvelles technologies) vont permettre de réinventer les méthodes de travail, créer de nouveaux usages et proposer des services plus respectueux des nouvelles attentes.

Pour alimenter et interconnecter toutes ces briques technologiques, une donnée de qualité doit être mise à disposition et **une continuité est indispensable** pour assurer l'unicité et la cohérence de cette donnée qui représente une valeur stratégique (à protéger) pour l'ingénierie.

Par conséquent, il est évident que pour atteindre ces objectifs de continuité numérique, l'interopérabilité doit être au cœur des ingrédients qui permettront d'assurer la réussite de notre transformation.

Le succès de l'ingénierie de demain passera donc inévitablement par une **interopérabilité naturelle des données** à travers les outils et les plateformes d'échanges, le tout encadré par la **normalisation** qui ne se limitera pas à l'IFC mais à l'ensemble des formats ouverts et standards d'échanges. Et pour cela, il est indispensable que l'ensemble des parties prenantes de l'ingénierie reste mobilisé sur cet objectif qui nous permettra de conserver notre indépendance vis-à-vis des acteurs du numérique.



Chapitre 4

En 2035 une ingénierie au service de ses ressources humaines



En 2035, une ingénierie au service de ses ressources humaines

Le rapport au travail évolue en profondeur. La collaboratrice ou le collaborateur de demain n'aura ni les mêmes attentes ni les mêmes pratiques de travail. En parallèle, les besoins de l'ingénierie évolueront et de nouveaux profils devront être recrutés. Qui sera l'ingénieur.e de demain, que cherchera-t-il au sein de l'entreprise et qu'attendra cette dernière de sa collaboratrice ou de son collaborateur?

Aujourd'hui...

Quelles sont les tendances lourdes?

La vie personnelle et la vie professionnelle sont de plus en plus liées.

Le développement des outils de travail mobiles (ordinateurs, smartphones) ainsi que l'utilisation d'espaces de stockage et de collaboration en ligne participent d'un entremêlement croissant entre vie professionnelle et vie privée.

Pour un grand nombre d'activités, les professionnel.le.s sont en effet de plus en plus en mesure d'effectuer leurs missions depuis chez eux, en déplacement, dans un café, un tiers-lieu... Cette tendance a été fortement accentuée par la crise de la Covid-19, le premier confinement en mars 2020 ayant contraint 20% des actifs français à télétravailler à temps plein⁴³. Elle devrait se poursuivre dans les années à venir, même si le 100% télétravail restera très marginal.

Pourtant, elle soulève encore de nombreuses questions, notamment d'ordre managérial (gérer les équipes à distance), mais aussi d'ordre psychique (assurer un bon équilibre entre vie privée et travail).



⁴³ Franceinfo. (2020, 9 avril). Confinement : le télétravail explose mais 45% des actifs français ne travaillent plus, selon un sondage. https://www.francetvinfo.fr/sante/maladie/coronavirus/confinement-le-teletravail-explose-mais-45-des-actifs-français-ne-travaillent-plus_3905921.html _ _

Des demandes de libertés croissantes.

L'immixtion de la vie professionnelle et de la vie personnelle s'accompagne d'attentes de plus en plus fortes d'une plus grande liberté, exprimées par les collaboratrices et les collaborateurs. Ces attentes se traduisent par la lutte contre le présentéisme, la flexibilisation des horaires de travail, mais aussi l'exigence d'échanger de manière plus horizontale avec sa hiérarchie et de pouvoir organiser ses missions à sa guise⁴⁴.

Voir la vidéo



Des valeurs au travail de plus en plus importantes et une quête de sens dans les parcours professionnels.

Les tendances lourdes à l'individualisation chez les jeunes générations se retrouvent aussi dans les évolutions du rapport des personnes au travail. Pour Charles Dehelly, président de la Fondation Arts et Métiers, « les collaborateurs ne sont plus conditionnés par les valeurs de respect du collectif ou de l'autorité, mais mettent plutôt en avant leurs désirs personnels. Ce qui ne veut pas dire qu'ils ne veulent pas travailler : si le travail correspond à leurs envies, ils peuvent tout à fait travailler douze heures par jour comme on le voit dans certaines *start-ups* » (source : *Livre Blanc. Se former aux métiers de demain.* Arts et Métiers ; Neoma Business School).

Mais à ce phénomène s'ajoute aussi une recomposition des pratiques d'engagement au sein de la population active, qui cherche de plus en plus, pour une partie en tout cas, à harmoniser valeurs, convictions personnelles et emploi. Ainsi, la 6e édition du *Millenial Survey* conduit par Deloitte dans 29 pays sur 8000 jeunes gens notait que 2 sur 3 ne veulent pas d'un poste dans une entreprise dont ils ne partagent pas les valeurs. Parmi ces valeurs, on retrouve, sans surprise, le respect de l'environnement, de la parité femmes-hommes, le sens du collectif ou encore la solidarité⁴⁵.

⁴⁴ Vairet, F., Marriault, C., Simon-Rainaud, M., Lemarchand, J., & Lefrançois, H. (2021, 30 juin). Ce que le futur du travail ne sera pas. Les Echos Start. https://start.lesechos.fr/travailler-mieux/flexibilite-au-travail/ce-que-le-futur-du-travail-ne-sera-pas-1327366

⁴⁵ Donas, C. (2021, 29 avril). Les salariés affirment le besoin de valeurs fortes en entreprise. Les Echos. https://www.lesechos.fr/thema/teletravail/les-salaries-affirment-le-besoin-de-valeurs-fortes-en-entreprise-1311085

En outre, les plus jeunes sont aussi de plus en plus attirés par de petites structures (29% des jeunes aimeraient travailler dans une entreprise de taille intermédiaire et 24% dans une petite ou moyenne entreprise selon un sondage OpinionWays pour Deloitte) et plus globalement par les organismes dans lesquels il leur est possible de conduire des projets personnels en parallèle, grâce à un temps partiel dans une association, via l'intrapreneuriat (« la création de nouvelles entreprises à l'intérieur d'une firme existante, mais aussi d'autres activités et orientations innovatrices, telles que les développement de nouveaux produits, services, technologies, techniques administratives, stratégies et postures compétitives », Antoncic et Hisrich, 2001) ou la création de *start-ups* dans l'entreprise. De fait, selon le même sondage, 67% des étudiants sont plus attirés par les entreprises laissant la possibilité à ses salarié.e.s de développer de nouveaux projets innovants en interne.

Les travailleurs changent de plus en plus souvent de métier et d'entreprises.

L'époque où l'on quittait son premier emploi à l'âge de la retraite est révolue. Le Forum Economique Mondial (World Economic Forum) évalue que les enfants entrant à l'école maternelle en 2021 changeront de métier près de neuf fois au cours de leur vie professionnelle.

Toutefois, tous les individus ne sont pas égaux face à cette plus grande mobilité professionnelle. Pour certains, elle résulte bien d'une évolution de leurs mentalités et de leurs attentes, d'une plus grande facilité à naviguer d'une entreprise à l'autre, notamment grâce à des formations plus versatiles et aux réseaux-sociaux, d'un accès à l'international au cours des études. Mais pour d'autres, cette mobilité accrue est en réalité le résultat d'une forte précarisation sociale et économique.

Quoi qu'il en soit, ces évolutions posent de nouveaux défis aux entreprises en termes d'attractivité, de recrutement et de rétention des talents.



Quelles sont les émergences et signaux faibles?

Dans l'environnement global et l'écosystème

Les compétences des professionnel.le.s deviennent obsolètes de plus en plus rapidement.

La diversification des besoins en compétences est aussi le résultat d'un autre phénomène structurant pour les professionnel.le.s : l'obsolescence de plus en plus rapide des compétences, comme en témoigne Henri Metzger, directeur des offres *Learning & Development Corporate* chez OpenClassrooms.

Cette obsolescence se vérifie en particulier dans les domaines techniques. L'Observatoire des métiers du futur estime dans son rapport *Bâtir le futur des métiers* (2018) que les compétences techniques ont, aujourd'hui des durées de vie de deux à cinq ans, là où elles restaient pertinentes sur près de vingt ans dans les années 1970-80. Le développement rapide des nouvelles technologies rend difficile l'adaptation des programmes d'enseignement. L'OCDE estime ainsi que 6 adultes sur 10 manquent de compétences informatiques basiques.

Avec l'émergence des problématiques de cyber-sécurité, l'apparition des crypto-monnaies ou encore les nouveaux enjeux posés par la dégradation de l'environnement, d'autres compétences sont nécessaires et encore trop faiblement acquises par les futur.e.s ingénieur.e.s.

En conséquence, de nombreux secteurs économiques devront faire face, dans les années à venir, à de fortes pénuries de compétences selon le Forum Économique Mondial, en particulier dans les secteurs des technologies de l'information et des communications, des services financiers, de la santé ou encore des mines et métaux. À cela s'ajoute l'impact de l'automatisation, qui pourrait modifier en profondeur le contenu même des tâches accomplies par les professionnel.le.s dans de nombreux domaines. D'autres secteurs seront, en revanche, plus préservés, comme celui des transports et de la mobilité ou du soin.



L'ingénieur.e du futur multi-compétences techniques



Les futurs proches et possibles de l'ingénierie peuvent prendre des chemins nous laissant une sensation de vertige, particulièrement si l'on se projette dans un monde ultra connecté et dématérialisé. Quelles connexions entre les hommes et femmes qui font l'ingénierie, et les objets, ouvrages et villes qu'ils conçoivent et opèrent, si ceux-ci sont ultra connectés dans un environnement technologique qui va de plus en plus vite? Au sein d'une activité spécialisée d'instrumentation & monitoring des ouvrages et des sites, nous devrons en effet adapter notre approche d'ingénieur.e: savoir s'arrêter, faire un pas de côté, continuer à essayer de comprendre, être ingénieux. In fine, l'ingénieur.e du futur multi-compétences techniques, devra avant tout se sentir concerné.e et impliqué.e par le futur de notre environnement et y saupoudrer un peu d'humanisme!

Olivier GAY Responsable Activité Grands Ouvrages et Géotechnique Egis

De potentiels conflits intergénérationnels sont de plus en plus anticipés au sein des entreprises.

L'obsolescence de plus en plus rapide des anciennes compétences corrélée à l'arrivée de jeunes professionnel.le.s aux attentes et aux exigences nouvelles pourraient créer de fortes tensions entre générations au sein des entreprises et nécessiteraient alors de repenser les politiques RH pour s'assurer d'une bonne coopération entre les différents profils.

De nouvelles modalités d'apprentissages professionnels se structurent au sein et en dehors des entreprises.

Il est encore communément admis que le principal vecteur d'apprentissage après les études est l'emploi lui-même. Dominique Turcq, président de Boostzone Institute, rappelle ainsi que l'articulation une fois en poste entre l'apprentissage formel (temps de formation effectif) et l'apprentissage informel (temps où l'apprenant se forme par la pratique) peut être théorisé par la règle des 70/20/10 : 10% des acquis sont appris au cours de formations formelles, puis sont renforcés pour 20% au travers d'échanges avec son entourage et ses collègues et sont définitivement ancrés pour 70% grâce à la pratique et aux expériences concrètes dans son métier⁴⁶.

Pourtant, la valorisation de savoirs acquis hors entreprise progresse. En témoigne le phénomène des recrutements « boomerangs », c'est-à-dire la réembauche de collaborateurs ou collaboratrices déjà employé.e.s par l'entreprise par le passé. Selon une étude américaine, *The Corporate Culture and*

⁴⁶ Turcq, Dominique. (2019.) Travailler à l'ère post-digitale: à quoi ressemblera le travail en 2030 ?

Boomerang Employee Study, en date de 2019, cette pratique serait en pleine expansion : 76% des RH interrogées y déclarent être plus enclines à accepter la candidature d'un.e ancien.ne salarié.e que par le passé, 15% des employé.e.s sont déjà revenus vers leur ancien employeur et 40% envisagent de le faire⁴⁷.

Si de telles pratiques restent encore de l'ordre du signal faible en France, elles pourraient se généraliser, du fait de tensions accrues sur le marché du travail, d'un assouplissement des politiques RH, et d'une reconnaissance de la valeur ajoutée à reprendre dans ses équipes un collaborateur ou une collaboratrice qui se sera formé.e et aura acquis en compétences et en expérience ailleurs.

Voir la vidéo



Le principe de coopétition prend progressivement de l'ampleur dans la structuration de liens collaboratifs dans le travail.

La popularisation des réseaux-sociaux et le développement des plateformes collaboratives ont permis l'émergence de la coopétition. La coopétition est un principe d'échanges et d'entraide ponctuels entre différents acteurs économiques, qui, par ailleurs, sont habituellement des concurrents. Ainsi, si certains projets restent confidentiels, d'autres peuvent être de plus en plus ouverts à des réseaux de pairs et de collaborations élargies.

Le concept de marque personnelle pourrait structurer de plus en plus les parcours professionnels des individus.

Pour Béatrice Cuvelier, la marque personnelle, ou *personal branding*, est un principe de management de l'image, similaire à celui adopté par les entreprises, mais adapté à l'échelle individuelle. Là encore, les réseaux sociaux qui se structurent autour de la mise en récit de l'histoire personnelle des usagers et valorisent des modèles économiques entièrement axés sur la promotion de soi (via les influenceurs) ont participé au développement de ce nouveau phénomène dans le monde professionnel. À l'avenir, les individus pourraient avoir de plus en plus à se présenter et à se « vendre » en insistant sur leurs qualités propres, au-delà de leurs études et de leur carrière, pour être recrutés.

⁴⁷ What is a Boomerang Employee? BambooHR. https://www.bamboohr.com/hr-glossary/boomerang-employee/

Dans l'ingénierie

Un besoin croissant de profils interdisciplinaires et très spécifiques dans le monde de l'ingénierie.

Comme évoqué dans les chapitres 2 et 3, les projets d'ingénierie exigent et exigeront, de plus en plus, d'être portés par des professionnel.le.s aux compétences interdisciplinaires. En effet, le besoin d'une meilleure prise en compte et intégration des dimensions sociales, environnementales, politiques, techniques, technologiques (notamment du fait de l'extension croissante du numérique) et financières demande aux ingénieur.e.s de collaborer, a minima, avec des profils très variés, voire d'être eux-mêmes polyvalents.

Cette diversité des attentes, déjà présente pour les projets d'envergure à échelle européenne par exemple, devient aussi de plus en plus prégnante pour les projets à échelle locale. Face à ces évolutions, certaines formations se sont déjà adaptées, comme celles proposées par le Centre Michel Serres qui propose une approche multiculturelle des problématiques complexes.

À l'avenir, ce besoin d'interdisciplinarité pourrait favoriser les ingénieur.e.s ayant suivi des parcours pluriels, mêlant, par exemple, technique, commerce, sciences sociales ou encore marketing. Là encore, la multiplication des double-diplômes, en particulier entre écoles d'ingénieur.e et Instituts d'Études Politiques, témoigne de l'évolution des besoins sur le marché du travail.

En parallèle de ces compétences acquises au cours de leurs formations, les ingénieur.e.s pourraient aussi avoir à valoriser de plus en plus leurs *soft skills*. Les *soft skills* sont des « savoir-être » plutôt que des savoir-faire. Le Forum Économique Mondial en identifie dix comme étant les plus recherchés par les entreprises : la pensée critique, la créativité, la coordination avec les autres, la résolution de problèmes complexes, l'intelligence émotionnelle, la capacité à gérer une équipe, la capacité de jugement et la prise de décision, la négociation, la flexibilité cognitive et l'orientation résultats. Du fait des évolutions des modalités de travail (notamment avec la généralisation du télétravail), des exigences croissantes des équipes de voir reconnaître leurs besoins singuliers, mais aussi parce que l'automatisation de certaines tâches pourrait exiger, en parallèle, plus de créativité et d'humanité, ces *soft skills* pourraient s'ériger en qualités incontournables des professionnel.le.s de l'ingénierie.

Enfin, la diversification des profils dans l'ingénierie s'exprime aussi dans la féminisation des métiers de l'ingénieur.e. Si elle semble avoir atteint un palier à 30%, cette féminisation pourrait croître dans les années à venir, sous l'influence des jeunes générations. Ainsi, le secteur de l'assainissement et de la dépollution de l'eau compte, par exemple, 55% de femmes parmi les salarié.e.s de moins de 30 ans contre 13% chez les 45-64 ans (source : conférence mars 2021 « Féminisation de nos métiers : comment repérer et déconstruire les stéréotypes ? » - Groupe SETEC).





Et demain?

Quelles trajectoires possibles pour l'ingénierie?

Vers une ingénierie hors des murs et sans contraintes ?

Si la tendance actuelle à la disparition des frontières de temps et d'espace entre le monde du travail et la vie privée se poursuivait, les sociétés d'ingénierie demain auraient à repenser en profondeur leur organisation et leur management.

Ainsi, les collaboratrices et collaborateurs pourraient n'être présent.e.s que très ponctuellement au bureau, privilégiant majoritairement les espaces de *coworking*, le télétravail à la maison ou de nouveaux formats de partage des bâtiments avec d'autres entreprises.

Ces nouvelles pratiques bénéficieraient du développement du numérique et de la réalité virtuelle, permettant de simuler la proximité du présentiel et de collaborer agréablement même à distance.

Les entreprises, elles, choisiraient dans cette trajectoire de renoncer à leurs bureaux pour minimiser les coûts ou au contraire de conserver des espaces collectifs mais en les enrichissant, peut-être, d'expériences ludiques ou agréables, pour attirer de nouveaux employé.e.s.

À l'évacuation de la contrainte physique pourrait s'ajouter la disparition de la contrainte temporelle. En 2035, les professionnel.le.s, quel que soit leur rang dans la hiérarchie, pourraient avoir une maîtrise partielle voire totale de leur temps de travail. Leur efficacité serait alors mesurée aux objectifs atteints plutôt qu'au temps effectif par tâche.

De telles évolutions supposeraient une reconfiguration des pratiques de management. Les managers seraient choisis pour leur *soft skills*, leur capacité à accompagner, à mobiliser, à soutenir et à maintenir le lien avec leurs équipes, même en ne les voyant que ponctuellement.



Vers une ingénierie qui réinvente le lien entre l'ingénieur.e, les parties prenantes et le client final ?

L'automatisation des tâches les plus répétitives dans les dix années à venir pourrait conduire les bureaux d'ingénierie à développer de nouvelles méthodes de travail avec leurs parties prenantes et de nouveaux services pour leurs clients afin d'apporter une réelle valeur ajoutée.

Ainsi, grâce, par exemple, aux plateformes collaboratives, les ingénieur.e.s pourraient structurer, dans cette trajectoire, de nouveaux liens avec les différents acteurs de leur chaîne de valeur, y compris, ponctuellement, avec leurs concurrents sur un modèle de coopétition. L'objectif serait alors d'aboutir collectivement à des solutions innovantes en divisant les risques mais en partageant les bénéfices au prorata de l'implication de chacun.e. Un tel modèle impliquerait, toutefois, de repenser les politiques de management de l'innovation, notamment en matière de dépôts de brevets. Il pousserait les acteurs vers l'open innovation.

En parallèle, les bureaux d'ingénierie pourraient chercher à impliquer plus largement les usagers finaux dans la conception des projets, en utilisant, par exemple, ces mêmes plateformes. Cette intégration des utilisateurs au stade même de la création de projet pourrait permettre à l'ingénieur.e de proposer plus rapidement des solutions viables, avec la possibilité de les améliorer au fil de l'eau.

L'ensemble de ces transformations exigerait donc des ingénieur.e.s de développer fortement leurs qualités d'écoute, d'empathie, de communication et de diplomatie.

Voir la vidéo



Vers une ingénierie composée de professionnel.le.s aux profils hybrides tant en termes de compétences que de statuts ?

D'ici 2035, les cabinets d'ingénierie et les ingénieur.es eux-mêmes pourraient connaître une profonde évolution de leurs modalités d'organisation et de travail, du fait des évolutions technologiques et des défis sociaux, environnementaux et économiques à venir.

Ainsi, pour répondre aux nouvelles attentes de la part des jeunes professionnel.le.s, mais aussi pour faire face à leurs propres besoins variés et fluctuants en termes de profils et de volume de main d'œuvre, les bureaux d'ingénierie pourraient progressivement se transformer en « hub » ou plateforme au sein de laquelle seul.e.s quelques employé.e.s à haute expertise ou à des postes de management seraient embauché.e.s sous un format traditionnel de CDI à temps plein. Les autres bénéficieraient de statuts spéciaux, soit dans le cadre de démarches intrapreneuriales, soit sous format proche du *freelancing*. Parmi ces derniers, une partie pourrait avoir pour habitude de cumuler les emplois et ferait alors bénéficier le cabinet d'ingénierie de leurs compétences acquises grâce à cette grande diversité d'expériences. D'ailleurs, les bureaux d'ingénierie pourraient avoir recours de temps à autre à des individus aux profils atypiques, pour des besoins ponctuels tels qu'un éthicien des technologies, un vérificateur de biais algorithmiques ou un.e ingénieur.e en matériaux intelligents.

Toutefois certains pourraient mal vivre cette grande fluctuation de l'emploi, voire se trouver en situation de précarité. Face à cela, certains cabinets d'ingénierie pourraient donc choisir, à l'inverse, de refuser le modèle de *hub*, et de constituer des systèmes de solidarité inter-équipes ainsi que de formation professionnelle continue afin de garantir un poste stable à leurs employé.e.s, en leur permettant de se réorienter constamment vers les secteurs les plus porteurs au sein de l'entreprise.

Quel que soit le modèle retenu, les entreprises d'ingénierie auront nécessairement à consolider leur capacité à être agiles au regard de la rapidité des transformations qui bouleversent les modèles sociaux et économiques.

Voir la vidéo



Vers une ingénierie qui modifie ses méthodes de recrutement?

La pénurie de talents connue actuellement pourrait s'aggraver dans les années à venir. En 2035, les bureaux d'ingénierie pourraient se trouver en situation critique.

Dans cette trajectoire, l'ingénieur.e doté des compétences attendues par l'entreprise serait en position dominante pour négocier son poste, ses missions et son salaire. La rareté de certains profils pourrait alors conduire les bureaux d'ingénierie à façonner des offres d'emploi à la demande, en les personnalisant pour chacun.e des employé.e.s qu'elle chercherait à recruter. Les structures-mères pourraient même avoir à cumuler les offres avantageuses pour convaincre les individus les plus demandés de les rejoindre (meilleure couverture sociale, offre de loisirs, congés parentalité étendus, etc.).

Les ingénieur.e.s, de leur côté, devraient, dans cette hypothèse, soigner de plus en plus leur marque personnelle, pour s'assurer de leur bonne visibilité sur cette nouvelle marketplace des talents. Des « superstars » de l'ingénierie pourraient même émerger, notamment si l'ensemble de ce nouveau schéma de recrutement s'appuie aussi sur un système de notation des professionnel.le.s.

Cette trajectoire d'ici 2035 n'exclut pas, toutefois, la possibilité de voir certains bureaux d'ingénierie privilégier le micro-travail à bas coût, en divisant les tâches le plus possible et en les confiant à des prestataires externes.



Des esprits créatifs et résilients



C'est scientifiquement prouvé, le bonheur dope notre créativité! N'est-ce pas une qualité précieuse chez un.e ingénieur.e? Nous n'assurons pas qu'une mission technique. Pour relever les défis de demain, sociétaux, climatiques et techniques, nous devons être innovants. Pour cela, nous devons nourrir notre créativité, savoir réinventer nos métiers, nos modes de faire et nos formes de collaboration. Cela passe par une organisation du travail plus libre, flexible et collaborative qui amène plus de souplesse, de sérénité et un meilleur équilibre de vie. Ces évolutions conduisent à plus d'implication, d'initiatives et d'imagination. Pour répondre aux enjeux de demain, nous devons savoir nous réinventer et être acteur du changement.

Pierre SPILL Chef de projet pôle Management de projet Egis

Vers une ingénierie qui réinvente le sens de sa profession ?

La quête d'un travail qui a du sens semble être une tendance lourde au sein de la population active française, en particulier chez les plus jeunes.

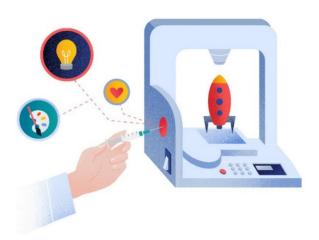
D'ici 2035, la nouvelle génération d'ingénieur.e.s pourrait ainsi souhaiter ne travailler que pour une entreprise à mission (« la qualité de société à mission permet à une entreprise de déclarer sa raison d'être à travers plusieurs objectifs sociaux et environnementaux », Ministère de l'économie, des finances et de la relance), dans laquelle il lui serait possible d'exprimer ses propres valeurs et de les défendre avec fierté dans sa vie professionnelle comme privée. Les entreprises dont les valeurs ne seraient pas claires ou qui ne les traduiraient pas en actions concrètes peineraient alors de plus en plus à recruter.

Dans cette perspective, le développement des réseaux-sociaux et de l'hyper-connectivité rendraient, par ailleurs, de plus en plus difficile le « *greenwashing* » (« utilisation fallacieuse d'arguments faisant état de bonnes pratiques écologiques dans des opérations de marketing ou de communication », Larousse) et plus largement « *le value-washing* » (« une forme de déclarations floues (et souvent dénuées de sens) que

les entreprises font lorsqu'elles décrivent leur travail de création de valeur, ce phénomène est plus courant pour la création de valeur sociétale et environnementale », Gautam Mahajan). Les salarié.e.s, vigilant.e.s sur les activités de leurs employeurs, seraient rapidement informé.e.s en cas de manquement de l'entreprise à ses engagements. Ils et elles pourraient ainsi jouer le rôle de garde-fous et de lanceurs d'alerte, et lutter contre les dérives de leur propre employeur, voire contester les règles instituées lorsqu'elles leur paraitront trop absurdes, inutiles ou dommageables.

Les entreprises, en retour, pourraient avoir à établir des postes spécifiques de « gestion de la marqueemployeur », pour les préserver de tout faux pas et gérer les crises.

Plus globalement, certains ingénieur.e.s pourraient jouer un plus grand rôle à l'avenir dans les débats publics concernant les nouvelles technologies et leurs usages ou encore la gestion de la crise environnementale. En démontrant leur neutralité et en défendant certaines valeurs morales (comme le bien-être collectif), ces ingénieur.e.s « éclairé.e.s » orienteraient les prises de décision sur ces sujets controversés, en nourrissant les discussions de leurs connaissances scientifiques et techniques, mesurables et rationnelles. Un tel rôle nécessiterait, toutefois, un lien de confiance solide entre ces ingénieur.e.s et la société civile et les obligeraient donc à garantir leur fiabilité tout en luttant contre la propagation des *fake news*. Une situation de crise dans laquelle la parole d'un.e ingénieur.e aurait permis d'éviter le pire pourrait participer à établir, développer ou renforcer ce lien de confiance.



BOÎTE À CONTROVERSES

Demain, une fusion de l'humain et de la machine dans l'ingénierie?

Et si, en 2035, les révolutions technologiques successives transformaient en profondeur les liens humain-machine dans l'ingénierie ? Les développements de l'intelligence artificielle, de la linguistique, mais aussi des artefacts robotiques pourraient-ils être si importants que l'ingénieur.e de demain aurait à échanger au quotidien avec des machines ? Est-il possible d'imaginer ainsi des équipes hybrides, composées d'êtres humains, de *chatbots* et de « systèmes-experts », plus ou moins androïdes ? Quels impacts alors sur les missions des ingénieur.e.s, voire sur les métiers eux-mêmes ?

Une entreprise d'ingénierie peut-elle devenir un lieu de formation ?

Puisque les bureaux d'ingénierie devraient être confrontés, dans les années à venir, à des besoins nouveaux et variés en termes de compétences, pourraient-ils être amenés à devenir eux-mêmes des lieux de formation continue mis à disposition de leurs employé.e.s ?

Dans cette hypothèse, les entreprises devraient alors mettre en place des espaces spécifiques d'échanges et de documentation des connaissances entre collaborateurs et collaboratrices. Les employeurs devraient aussi repenser l'organisation du travail pour libérer du temps à l'apprentissage.

Espace-débat : la parole est à vous !

- × Parmi les trajectoires présentées, lesquelles vous paraissent les plus probables ? Les plus souhaitables ? Pourquoi ?
- ➤ Une entreprise d'ingénierie peut-elle être, selon vous, un lieu d'apprentissage pour ses collaborateurs et collaboratrices ? Si oui, à quelles conditions ?
- X Quelles sont les qualités nécessaires à l'ingénierie qui ne sont pas automatisables selon vous ? Comment mieux les valoriser ?

Pour aller plus loin

Pour creuser sur les futurs possibles du rôle de l'ingénieur.e, voir :

- **World employement and social outlook: the role of digital labour platforms in transforming the world of work**, OIT, 2021
- × Quelle formation à la santé et sécurité au travail en 2030 ?, INRS, Rapport, octobre 2021
- **Viviante Ubérisation et industrie en 2030**, École de Management de Strasbourg, démarche prospective en cours

VISION D'EXPERT

Valoriser l'envie d'apprendre plus que les connaissances elles-mêmes



Combien de fois devrons-nous réinventer nos parcours professionnels? Avec l'émergence de métiers encore inconnus il y a 10 ans (d'abord le SIG, puis le BIM et la multitude de métiers liés au numérique), l'entreprise doit avant tout pouvoir compter sur ses collaborateurs curieux et sur un système de formation réactif. Le défi, c'est de favoriser une mise en application rapide des compétences sur projet et de trouver un canal de diffusion de ces acquis au sein de l'organisation. Une fois l'équipe de sachants formée, alors le match peut commencer.

Romain RASSE Responsable du pôle Numérique Eau et Ports Egis

La fin de l'enseignement vertical et l'avènement de l'adaptative learning

La génération Y et celles d'avant ont passé leur jeunesse à apprendre les concepts fondamentaux de leur vie professionnelle sur les bancs de l'école. Comme bien souvent dans le système éducatif latin, nous assimilons les concepts théoriques et généraux pour ensuite les mettre en application lors de travaux pratiques. Ce schéma implique un effort d'organisation conséquent et une durée importante dédiée à l'apprentissage de techniques (qui se révèlent parfois inutiles ou obsolètes une fois maîtrisées).

Avec l'accélération des techniques d'ingénierie, et en particulier dans le secteur de la construction, les compétences des équipes sont constamment challengées. Si répondre aux nouvelles exigences de nos clients nous permet aujourd'hui de maintenir nos parts de marché, leur proposer des **solutions innovantes** assure la pérennité de nos actions dans le futur. Le délai d'intégration d'une technologie doit donc être réduit au maximum. Ce processus d'assimilation commence par une solution de formation souple, efficace et permettant au collaborateur « en premier de cordée » d'acquérir suffisamment de connaissances pour lancer la dynamique d'apprentissage. C'est le premier mouvement du **modèle de formation 70-20-10** : la formation structurée où seuls 10% de l'ensemble des compétences seront acquises.

Comment trouver un contenu de qualité dont le professionnel et l'organisation ont réellement besoin, en un délai permettant la mise en pratique rapide sur projet ? C'est le défi que relèvent des solutions de **digital learning** comme :

- Les **MOOC** (Massive Online Open Course) : formations en ligne accessibles à tous. Cette solution est appropriée pour transmettre rapidement des connaissances à une audience importante. L'apprenant s'organise comme il le souhaite pour visionner les cours. A l'étude chez Egis, la possibilité d'utiliser plusieurs plateformes dédiées à la formation spécialisée des collaborateurs (projeteurs, géomaticiens, développeurs, etc.);
- L'*e-learning*: module en ligne où l'apprenant apprend seul en distanciel. Particulièrement adaptés à l'apprentissage des savoir-faire, les modules d'e-learning sont des formats courts composés de quiz, interviews, vidéos, *gaming*... C'est le cas des modules disponibles sur la plateforme eTalent d'Egis;
- Les **classes virtuelles** : formations en groupe animées de manière distancielle. Nous lançons dernièrement les « ateliers du numérique » : des formats courts et ciblés pour un public averti.

La multiplication des formats permet à la formation de s'adapter aux collaborateurs et non l'inverse. Certains « digital learning » orientent d'ailleurs les modules de formation et le niveau d'accompagnement par rapport aux résultats des tests et aux besoins des apprenants : c'est l' « adaptative learning ».

De l'interaction sociale, de la pratique quotidienne

Bien sûr, il n'est pas question de se reposer uniquement sur le digital learning pour déclencher l'apprentissage. Sur un format moins flexible, les formations présentielles permettent, entre autres, de mettre en relation les apprenants et de constituer un groupe où les échanges doivent être les plus nombreux possibles.

Aujourd'hui, la montée en puissance de plateforme de communication (Microsoft Teams par exemple) permettent aux collaborateurs d'Egis de former des canaux d'échange entre membres de réseaux techniques. Le *momentum* de l'apprentissage est atteint lorsque le collaborateur à l'occasion d'accumuler de l'**expérience pratique** et de **partager sa vision expérimentale** avec ses pairs. D'après la règle du 70-20-10, 20% du savoir-faire est acquis par le partage entre sachants et 70% par la pratique.

N'ayons donc aucune crainte à pratiquer l'innovation sans être expert. Ce qu'il faut, c'est trouver la bonne impulsion pour commencer son parcours et avoir la curiosité pour l'approfondir.

« Etre audacieux et en résonance avec les défis de notre temps. »

Explorer le champ des possibles, se remettre en question, se projeter en vue de se ré-inventer pour être plus que jamais au rendez-vous des grands défis sociétaux : tel a été le driver de cette réflexion collective.

En filigrane, c'est la question du sens et du rôle du métier d'ingénieur.e dans la société qui est posée.

Egis intervient sur des projets de long terme qui vont impacter plusieurs générations et modeler les cadres de vie des populations. Cela nous confère une responsabilité sociétale forte que nous abordons avec conviction et passion et qui nous conforte dans notre mission d'apporteur de solutions, de facilitateur et d'accélérateur des transitions sociétales.

L'ingénierie, si j'ose une anologie avec une émission bien connue, c'est « les Racines et les Ailes » de la société. Notre point d'ancrage, les racines, ce sont les connaissances multiséculaires et fondements scientifiques qui nourrissent nos réflexions, et nos ailes, notre capacité à anticiper, préparer et accompagner les évolutions à conduire pour le bien commun.

Les pistes explorées au sein de ce Livre Blanc pour esquisser l'ingénierie du futur sont au cœur de la vocation du groupe Egis : « Imaginer et rendre possible un futur durable et désirable au service des populations et du progrès social ».

Les défis sont de taille, les transformation lourdes à opérer, ce ne sera pas un long fleuve tranquille mais le chemin, pour nous ingénieur.e.s, est à la fois exigeant et exaltant!



Martine Jauroyon Directrice Développement Durable, Innovation et Excellence Technique du groupe Egis

Bibliographie

ADEME, Agence française pour la biodiversité, SIAAP et Syctom. (2019). Eaux, déchets et changement climatique : Comment les services publics des déchets et de l'eau peuvent-ils atténuer leurs émissions de gaz à effet de serre et s'adapter au changement climatique ?

ADEME. (2021, janvier). La face cachée du numérique. Réduire les impacts du numérique sur l'environnement.

AgroParisTech. (2019, 24 juin). Quelles comptabilités pour articuler gestion écologique de l'entreprise et des écosystèmes ? http://www2.agroparistech.fr/podcast/Quelles-comptabilites-pour-articuler-gestion-ecologique-de-l-entreprise-et-des.html

Arène, V. (2020, 28 septembre). Les ingnéieurs pourraient voir leur métier automatisé à hauteur de 53%. Le Monde Informatique. https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-les-ingenieurs-pourraient-voir-leur-metier-automatise-a-hauteur-de-53-80512.html

Avenir Ingénierie. (2021, 9 février). ÉCHANGE P. Verzat/E. Klein- La crise, occasion pour les ingénieurs de revenir dans les débats? [Vidéo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=F73k1Za61Xq

Barbaux, A. (2020, 30 avril). Intégrer le climat à la sortie de crise... ou pas. L'usine nouvelle, n°3657.

Barbaux, A. (2021). [Repères] Scope 1, scope 2, scope 3. . . Ce que recouvre le référentiel des émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre. usinenouvelle.com. https://www.usinenouvelle.com/article/reperes-scope-1-scope-2-scope-3-ce-que-recouvre-le-referentiel-des-emissions-directes-et-indirectes-de-gaz-a-effet-de-serre.N1137699

BCG Henderson Institute et Harvard Business School. (2018). Future positive: How companies can tap into employee optimism to navigate tomorrow's workplace.

BCG The Boston Consulting group. (2016, mars). Digital in Engineering and Construction. The transformative Power of Building Information Modeling.

Bibliothèque publique d'information. (2019). Osez les low tech! Pour une innovation sobre et durable Philippe BIHOUIX [Vidéo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=S0ueCd4rlEg

Blanchard, M., Orange, S. & Pierrel, A. (2017). La noblesse scientifique: Jugements scolaires et naturalisation des aspirations en classes préparatoires aux grandes écoles. Actes de la recherche en sciences sociales, 220, 68-85. https://doi.org/10.3917/arss.220.0068

Bys, C. (2020, 14 juin). Et si l'Etat avait manqué d'ingénieurs pour gérer la crise du Covid-19. usinenouvelle. com. https://www.usinenouvelle.com/article/et-si-l-etat-avait-manque-d-ingenieurs-pour-gerer-la-crise-du-covid-19.N973976

Carbone 4. (2020, avril). Net Zero Initiative : un référentiel pour une neutralité Carbone collective.

Ceebios et Myceco. (2019). Biomimétisme : Quels leviers de développement & quelles perspectives pour la France ? Restitution de la journée de travail France Stratégie.

CERDD. (2021, 18 février). La résilience territoriale : Enjeux et applications. Centre ressource du développement durable. http://www.cerdd.org/Parcours-thematiques/Territoires-durables/Ressources-territoires-durables/La-resilience-territoriale-enjeux-et-applications

CERDD. (2021, 17 juin). Les limites planétaires, un socle pour repenser nos modèles de société. Centre ressource du développement durable. http://www.cerdd.org/Parcours-thematiques/Territoires-durables/ Ressources-territoires-durables/Les-limites-planetaires-un-socle-pour-repenser-nos-modeles-desociete

Chaire Comptabilité Ecologique. (2021, 23 mars). Références scientifiques - Axe organisation. https://www.chaire-comptabilite-ecologique.fr/References-scientifiques-Axe-organisation

Chatel, Cathy. Moriconi-Ebrard, François. (2018). Les 32 plus grandes agglomérations du monde : comment l'urbanisation repousse-t-elle ses limites ?. Confins.

Chironi, S. (2021, août 18). Aurélie Jean et Rebecca Gisler. France Inter. https://www.franceinter.fr/emissions/un-monde-nouveau/un-monde-nouveau-du-mercredi-18-aout-2021

Colsaet, Alice. (2017.) Améliorer la gestion de l'artificialisation des sols pour préserver la biodiversité ?

Cruz, Ana Maria. Engineering Contribution to the Field of Emergency Management.

Damon, Julien. (2005). La pensée de... - Gaston Berger (1896-1960), Informations sociales, (n° 128), p. 95-95. https://www.cairn.info/revue-informations-sociales-2005-8-page-95.htm

Denervaud, Isabelle, et al. (2009). « Les crises, un terreau d'innovation », L'Expansion Management Review, vol. 134, no. 3, pp. 108-119.

Dias de Figueiredo, A. (2014). De la nature historique des pratiques d'ingénierie. Revue d'anthropologie des connaissances, 8,2, 245-278. https://doi.org/10.3917/rac.023.0245

Donas, C. (2021, 29 avril). Les salariés affirment le besoin de valeurs fortes en entreprise. Les Echos. https://www.lesechos.fr/thema/teletravail/les-salaries-affirment-le-besoin-de-valeurs-fortes-en-entreprise-1311085

Ecole centrale de Lyon. (2020, 14 mai). Réflexions sur le rôle de l'ingénieur avec Laure Flandrin. ec-lyon. https://www.ec-lyon.fr/actualites/2020/reflexions-role-ingenieur-laure-flandrin

Elioth by Egis, Quattrolibro, Mana. (2016). Paris change d'ère : Vers la neutralité carbone en 2050.

Fisch-Romito, Vivien. (2021). Modélisation prospective du rôle des infrastructures pour répondre au double défi du développement et de l'atténuation du changement climatique

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). How sustainable green urban farms support the local food system in response to COVID-19 | Food for the cities programme. FOA. https://www.fao.org/in-action/food-for-cities-programme/news/detail/en/c/1364173/

Franceinfo. (2020, 9 avril). Confinement: le télétravail explose mais 45% des actifs français ne travaillent plus, selon un sondage. https://www.francetvinfo.fr/sante/maladie/coronavirus/confinement-le-teletravail-explose-mais-45-des-actifs-français-ne-travaillent-plus-3905921.html

Giget, Marc. (2020, 2 juillet). Dans le contexte de sortie de crise, renforcer la capacité d'innovation est aujourd'hui l'investissement le plus rentable. Institut Européen de Stratégies Créatives et d'Innovation.

Gouvernement. (2017, 21 juillet). Les étapes de la mise en oeuvre de l'Accord de Paris. Gouvernement.fr. https://www.gouvernement.fr/partage/les-etapes-de-la-mise-en-oeuvre-de-l-accord-de-paris

Harvey, F. (2021, 29 octobre). Mexico launches pioneering scheme to insure its coral reef. The Guardian. https://www.theguardian.com/environment/2017/jul/20/mexico-launches-pioneering-scheme-to-insure-its-coral-reef

Ingénieurs et scientifiques de France. (2011, novembre). Libre blanc des ingénieurs et scientifiques de France.

Ingénieurs sans frontières. Face à la crise : Questionner la responsabilité sociale des ingénieurs. (2013, 1er septembre). https://www.isf-france.org/articles/face-la-crise-questionner-la-responsabilite-sociale-des-ingenieurs

Institut Mines-Télécom. (2014). Portrait de l'ingénieur 2030.

KPMG. (2020). Nouvelles réalités : innover dans la crise. How Hello Open World.

Lacroix, Jonathan. (2019). L'approche Urban Living Lab pour insuffler l'innovation en urbanisme? Contribution à la conception d'une ingénierie de pilotage de l'innovation urbaine: application à l'Opération d'Intérêt National d'Alzette Belval. Sciences de l'ingénieur. Université de Lorraine.

Laurent, E. (2021, 18 août). Eloi Laurent : « Le rapport du GIEC ouvre un chemin d'espoir pour l'humanité au milieu du chaos climatique ». Le Monde.fr. https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/08/18/eloi-laurent-le-rapport-du-giec-ouvre-un-chemin-d-espoir-pour-l-humanite-au-milieu-du-chaos-climatique 6091686 3232.html

Leroutier, Marion. (2021). Inégalités d'exposition à la pollution de l'air et Co-bénéfices des politiques climatiques.

Maillé, P. (2021). La neutralité carbone est-elle une arnaque ? Usbek et Rica. https://usbeketrica.com/fr/article/la-neutralite-carbone-est-elle-une-arnaque

McKinsey Global Institute. (2017, avril). 10 enjeux cruciaux pour la France à l'horizon 2022. Eléments de mise en perspective sur les principaux défis structurels de l'économie française.

McKinsey Global Institute. (2018, mai). Skill shift automation and the future of the workforce.

McKinsey Global Institute. (2020, juin). The future of work in Europe: Automation, workforce transitions, and the shifting geography of employment.

Ministère de la Transition écologique. (2021, 11 mai). Bâtiment et Biodiversité. https://www.ecologie.gouv.fr/batiment-et-biodiversite#exposant1

Miquel, J. R. (2020, 10 juillet). L'Autorité environnementale remet en question le projet de nouveau terminal à Roissy. Libération. https://www.liberation.fr/france/2020/07/10/l-autorite-environnementale-remet-en-question-le-projet-de-nouveau-terminal-a-roissy_1793841/

Morin, Edgar. (1990). Introduction à la pensée complexe. https://www.lesechos.fr/2014/05/edgar-morin-la-pensee-complexe-aide-a-affronter-lerreur-lillusion-lincertitude-et-le-risque-283834

Nations Unies. (2021, 22 octobre). Baisse des émissions du secteur du bâtiment à cause de Covid-19, mais. ONU Info. https://news.un.org/fr/story/2021/10/1106692

Nations Unies. Les objectifs de développement durable. https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/

NEOMA Business School et Arts et Métiers. (2020). Livre blanc : se former aux métiers de demain.

Observatoire des métiers du futur. (2018). Bâtir le futur des métiers : 7 propositions pour booster l'employabilité.

OCDE. (2018). Technologies transformatrices et emplois de l'avenir. https://www.oecd.org/fr/innovation/inno/technologies-transformatrices-et-emplois-de-l-avenir.pdf

Olodo, E. (2021, 26 février). Kenya: Le gouvernement étendra son programme d'assurance agricole à 4 nouveaux comtés. Agence Ecofin. https://www.agenceecofin.com/agro/2602-85617-kenya-le-gouvernement-etendra-son-programme-d-assurance-agricole-a-4-nouveaux-comtes

ONU. (2018, 16 mai). 2,5 milliards de personnes de plus habiteront dans les villes d'ici 2050 | ONU DAES | Nations Unies Département des affaires économiques et sociales. Nations Unies. https://www.un.org/development/desa/fr/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html

Orsenna, Erik. Gilsoul, Nicolas. (2018). Désir de villes.

Ortega, Olivier. (2020). La fabrique de la ville durable. Editions Le Moniteur.

Pitron, Guillaume. (2021). L'enfer numérique : voyage au bout d'un like.

Rapport de l'Académie des technologies. Archiver les mégadonnées au-delà de 2040 : la piste de l'ADN.

Rapport du Sénat. (2019). Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : urgence déclarée. https://www.senat.fr/rap/r18-511/r18-511-syn.pdf

Rapport Think Tank Arts et Métiers. (2021, février). L'ingénieur-manager 4.0. : le leader du XXIème siècle.

Rapport Think Tank Arts et Métiers. (2020, décembre). Quels ingénieurs pour l'industrie du futur?

Rapport Think Tank Arts et Métiers. (2019, mars). « Technologie(s) », quel horizon pour les Arts & Métiers ?

République Française. (2021, 4 octobre). État du réseau routier national : que disent les rapports d'audit ? Vie publique.fr. https://www.vie-publique.fr/en-bref/38601-etat-du-reseau-routier-national-que-disent-les-rapports-daudit

République Française. (2015). Les besoins et l'offre de formation aux métiers du numérique. https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/offre-formation-numerique.pdf

Richir, C. (2021, 10 juin). Climat : certaines mesures contre le réchauffement mettent en danger la biodiversité, alertent le Giec et l'IPBES. La Croix. https://www.la-croix.com/Climat-certaines-mesures-contre-rechauffement-mettent-danger-biodiversite-alertent-Giec-IIPBES-2021-06-10-1201160449

S&P Global Market Intelligence. (2020, décembre). 2021 Trends in the Internet of Things.

Syntec Ingénierie. (2021, 20 juillet). Charte climat. https://www.syntec-ingenierie.fr/charte-climat/

Syntec Ingénierie. (2008, mai). Livre blanc : l'ingénieur et l'innovation.

Syntec Ingénierie. (2019). Usine du futur, bâtiment du futur : 12 métiers en émergence.

Tanneur, I. (2021, 24 mai). L'ADN sera-t -il l'avenir du stockage de données ? The Conversation. https://theconversation.com/ladn-sera-t-il-lavenir-du-stockage-de-donnees-159387

Techniques de l'ingénieur. (2020, mars). Innovation : créativité en ingénierie.

Techniques de l'ingénieur. (2020, janvier). Quels défis climatiques seront à relever en 2020 ?

Télécom SudParis. (2021, 27 septembre). Objets connectés : 50 milliards d'émetteurs de CO2 ? Institut Polytechnique de Paris. https://www.telecom-sudparis.eu/actualite/objets-connectes-50-milliards-demetteurs-de-co2/

The Bridge, Linking Engineering and Society. (2020). 50th anniversary issue. National Academy of Engineering.

The Shift Project. (2020, mai). Crise(s), climat: plan de transformation de l'économie française. Présentation d'un chantier d'urgence.

Turcq, Dominique. (2019). Travailler à l'ère post-digitale: à quoi ressemblera le travail en 2030 ?

UNEP. (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On.

UNHCR. (2017). Déplacements liés aux catastrophes et au changement climatique, synthèse du rôle de l'UNHCR. https://www.unhcr.org/fr/5a8d48ff7.pdf

United Nations. (2020, 3 novembre). Sustainable urbanization critical to COVID-19 recovery, better. UN News. https://news.un.org/en/story/2020/10/1076532

United Nations Climate Change. Contributions déterminées au niveau national (NDCs). https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/l-accord-de-paris/nationally-determined-contributions-ndcs/contributions-determinees-au-niveau-national-ndcs

Université de Technologies Compiègne. (2013, février). Cap vers 2050 : les métiers d'ingénieur qui feront notre futur. Interactions, Donnons un sens à l'innovation, n°20.

Usine Digitale. (2019, 11 avril). Data et IA: la moitié des entreprises exploite moins de 25% de la donnée collectée et analysée. usine-digitale.fr. https://www.usine-digitale.fr/article/data-et-ia-la-moitie-des-entreprises-exploite-moins-de-25-de-la-donnee-collectee-et-analysee.N756829

Vairet, F., Marriault, C., Simon-Rainaud, M., Lemarchand, J., & Lefrançois, H. (2021, 30 juin). Ce que le futur du travail ne sera pas. Les Echos Start. https://start.lesechos.fr/travailler-mieux/flexibilite-au-travail/ce-que-le-futur-du-travail-ne-sera-pas-1327366

What is a Boomerang Employee? BambooHR. https://www.bamboohr.com/hr-glossary/boomerang-employee/

World Bank group. (2020, mai). State and Trends of Carbon Pricing 2020.

World Economic Forum. (2021). The Global Risks. Insight Report 16th Edition.

Remerciements



Janvier 2022

Auteurs

Le collectif Cogito, sous la houlette de Gilles Frantz: Pascal Blasquez, Sophie Bot, Margot Defoort Levkov, Giovanni Cavini, Esteban Escobar Valencia, Lucie Fuchey, Olivier Gay, Martin Goupil, Miquel Huguet Aguilera, Frédéric Jehan, Adrien Jolly, Dorothée Labarraque, Vincent Lalire, Marine Lambert, Sofyan Martin, Hippolyte Pouchelle, Héloïse Sabatier, Ginette Samba, Pierre Spill.

Contributions

Egis : Lionel Fabre, Florent Guiral, Pablo Irribaren, Jean-Hugues Juillard, Hubert Kieken, Claude Le Quéré, Olivier Ledru, Guillaume Montandon, Romain Rasse, Véronique Remande.

Futuribles, cabinet de conseil en prospective : Marie Segur, Frédéric Weill.

Institut négaWatt, entreprise de conseil en transition énergétique : Frédéric Ménard.

Sponsors

Régis Dumay, Martine Jauroyon.

Interviews

Egis: Hilem Afroune, Anne Binet, David Bouhjiti, Leo Bricout, Marie-Estelle Courteille, Marion Faidherbe, Francesco Granieri, Eric Hermann, Jean-Hugues Juillard, Guillaume Meunier, Ludovic Pattyn, Maxime Pinquier, Romain Rasse, Thomas Toulemonde, Rémi Vassor, Mylene Wolff.

Lili.Al: Milie Taing

Ecole des Mines: Michel Ferlut

Ecole Centrale de Lyon : Christian Vollaire

La Méthode Martinez : Sébastien Martinez

Aude Brisson

Mustrations

Graphisme

Marine Lambert