



TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR

LES FOCUS
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



VOITURES À HYDROGÈNE : LA FAUSSE BONNE IDÉE ?

août / 2018

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	3
VOITURE À HYDROGÈNE : L'AVENIR OU L'IMPASSE ?	4
▪ LA VOITURE À HYDROGÈNE TENTE DE FAIRE DE LA RÉSISTANCE	4
▪ L'HYDROGÈNE VA-T-IL (BIENTÔT) RÉVOLUTIONNER LES TRANSPORTS MARITIMES ?	6
▪ INFRASTRUCTURE HYDROGÈNE OU ÉLECTRIQUE, FAUT-IL CHOISIR ?	7
▪ DES ÉCOSYSTÈMES HYDROGÈNE FLEURISSENT EN RÉGION	9
LA FRANCE DOIT-ELLE MISER SUR L'HYDROGÈNE ?	12
▪ LE PLAN HYDROGÈNE PEUT-IL SAUVER LE MINISTRE NICOLAS HULOT ? PATRICK POUYANNÉ (TOTAL) EST SCEPTIQUE	12
▪ L'HYDROGÈNE DANS LE MIX ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS EN 2050 ?	16
▪ « L'HYDROGÈNE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE » : UNE NOTE TECHNIQUE DE L'ADEME	18
▪ DES CAPTEURS DE LUMIÈRE MOINS CHERS, MOINS TOXIQUES ET RECYCLABLES POUR LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE	20

INTRODUCTION

La voiture hydrogène est depuis peu au centre de toutes les attentions, et notamment en France : rapidité de chargement, pas de rejets directs de gaz à effet de serre... la rédaction vous propose d'évaluer les avantages et les inconvénients de ce nouveau type de véhicule.

L'agence Bloomberg New Energy Finance (BNEF) a comparé en septembre 2017 les ventes de voitures électriques à batterie et de voitures à hydrogène à l'échelle mondiale, en partageant un graphique particulièrement informatif à ce sujet. Les secondes sont quasi-inexistantes.

La situation pourrait-elle changer dans les années ou décennies à venir ? Cela semble a priori possible si l'on focalise sur le fait que la voiture à hydrogène a aujourd'hui deux avantages majeurs comparativement à la voiture à batterie : le plein d'hydrogène est réalisable en 5 minutes, et l'autonomie de la Toyota Mirai est d'environ 500 kilomètres. Mais selon Carlos Ghosn, patron de l'alliance Renault-Nissan-Mitsubishi, «la technologie liée à l'hydrogène n'est pas accessible dans une phase immédiate car il reste beaucoup de progrès à réaliser en termes de coût et de sécurité.

Nous devons attendre dix ans et plus encore car la force de l'hydrogène se base sur les faiblesses de l'électricité. Or, la prochaine Zoé affichera 600 km d'autonomie ! » Même son de cloche du côté de Patrick Pouyanné, PDG du groupe Total, numéro un français de l'énergie : «Quand on fait les calculs économiques et que l'on regarde la filière hydrogène, on a du mal à se convaincre qu'elle a un horizon à 10 ans. Cela coûte encore très cher. La batterie électrique a aujourd'hui un temps d'avance. Toyota, qui était complètement allé sur l'hydrogène, est d'ailleurs revenu sur l'électrique.»

En outre les systèmes de charge ultra-rapide des batteries se développent peu à peu comme en témoigne la mise en place du réseau Ionity en Europe. Et l'arrivée sur le marché dans la décennie 2020 des batteries à l'état solide (solidstate battery) qui permettent précisément une charge très rapide pourrait porter l'estocade finale aux espoirs des promoteurs de la voiture à hydrogène. Ces batteries de nouvelle génération fonctionnent dès à présent parfaitement au laboratoire, la compétition est mondiale.

VOITURE À HYDROGÈNE : L'AVENIR OU L'IMPASSE ?

LA VOITURE À HYDROGÈNE TENTE DE FAIRE DE LA RÉSISTANCE

Les avantages offerts par la voiture à hydrogène seront-ils suffisants pour qu'elle puisse s'imposer significativement face à la voiture à batterie ?

L'agence Bloomberg New Energy Finance (BNEF) a comparé en septembre 2017 les ventes de voitures électriques à batterie et de voitures à hydrogène à l'échelle mondiale, en partageant [un graphique](#) particulièrement informatif à ce sujet. Les secondes sont quasi-inexistantes. La situation pourrait-elle changer dans les années ou décennies à venir ? Cela semble a priori possible si l'on focalise sur le fait que la voiture à hydrogène a aujourd'hui deux avantages majeurs comparativement à la voiture à batterie : le plein d'hydrogène est réalisable en 5 minutes, et l'autonomie de la Toyota Mirai est d'environ 500 kilomètres.

Mais [selon Carlos Ghosn](#), patron de l'alliance Renault-Nissan-Mitsubishi, «la technologie liée à l'hydrogène n'est pas accessible dans une phase immédiate car il reste beaucoup de progrès à réaliser en termes de coût et de sécurité. Nous devons attendre dix ans et plus encore car la force de l'hydrogène se base sur les faiblesses de l'électricité. Or, la prochaine Zoé affichera 600 km d'autonomie ! » Même son de cloche [du côté de Patrick Pouyanné](#), PDG du groupe Total, numéro un français de l'énergie : «*Quand on fait les calculs économiques et que l'on regarde la filière hydrogène, on a du mal à se convaincre qu'elle a un horizon à 10 ans. Cela coûte encore très cher. La batterie électrique a aujourd'hui un temps d'avance. Toyota, qui était complètement allé sur l'hydrogène, est d'ailleurs revenu sur l'électrique.*»

En outre les systèmes de charge ultra-rapide des batteries se développent peu à peu comme en témoigne la mise en place du réseau Ionity en Europe. Et l'arrivée sur le marché dans la décennie 2020 des batteries à l'état solide (solid-state battery) qui permettent précisément une charge très

rapide pourrait porter l'estocade finale aux espoirs des promoteurs de la voiture à hydrogène. Ces batteries de nouvelle génération fonctionnent dès à présent parfaitement au laboratoire, la compétition est mondiale.

Rouler en voiture à hydrogène coûte et coûtera plus cher que de rouler en voiture à batterie. La raison en est simple : il faut consommer trois fois plus d'électricité pour faire un kilomètre avec la première comparativement à la seconde. La voiture à hydrogène est plombée par l'inefficacité intrinsèque de l'ensemble des étapes de transformation énergétique, pour des raisons physiques de base. Cela a bien entendu des conséquences écologiques : il faut trois fois plus d'éoliennes et de panneaux solaires pour alimenter un parc de voitures à hydrogène comparativement à un parc de voitures à batterie. Or la fabrication des éoliennes, des panneaux solaires et des structures associées (dont des transformateurs et des lignes électriques) nécessite de nombreux métaux, dont notamment le cuivre. Il faudrait donc tripler l'activité minière ainsi que la surface consommée par les parcs éoliens et solaires, dont l'empreinte paysagère et écologique n'est pas neutre. Si l'hydrogène est produit à partir d'électricité nucléaire, le bilan environnemental n'est pas neutre non plus, notamment du fait de la production de déchets toxiques à très longue durée de vie. En outre la chaîne hydrogène requiert des éléments rares, dont le platine.

Les acteurs français semblent se focaliser sur le marché des véhicules utilitaires. La start-up Symbio, qui compte le CEA parmi ses actionnaires, propose d'augmenter l'autonomie de Renault Kangoo grâce à un prolongateur à hydrogène. Une opération particulièrement coûteuse. Et qui suppose la mise en place d'une infrastructure de charge elle aussi coûteuse. Il faudrait parvenir à délivrer de très gros volumes pour espérer baisser de manière appréciable les coûts. En attendant les projets, comme celui de la «Zero

Emission Valley» en région Rhône-Alpes, ne peuvent être développés qu'avec de très copieuses subventions de l'Europe, de l'état ou des collectivités. Nicolas Hulot, avec son plan hydrogène annoncé en juin, y semble favorable, même si les saupoudrages effectués par les acteurs publics laissent sceptiques de nombreux experts. Le CEA a passé de longues années de R&D à mettre au point la pile à combustible commercialisée par Symbio et rêve qu'elle devienne un succès commercial.

Face à la croissance fulgurante de la voiture électrique à batterie, batterie dont l'essentiel de la production est réalisé en Asie, des acteurs français essayent manifestement de s'accrocher aux branches de l'hydrogène. Une stratégie périlleuse. La voiture à prolongateur hydrogène va-t-elle au final devenir le nouvel EPR ?

L'Asie ayant pris une avance vraiment **colossale** dans le domaine des batteries classiques, le groupe Total, via sa filiale Saft, veut construire une grande usine de production de batteries solid-state en Europe. S'imposer face à l'Asie, et plus particulièrement la Chine, le Japon et la Corée du sud, va être un âpre combat.

Jean-Gabriel Marie

29/08/2018

L'HYDROGÈNE VA-T-IL (BIENTÔT) RÉVOLUTIONNER LES TRANSPORTS MARITIMES ?

La densité énergétique des systèmes de stockage à hydrogène, très supérieure à celle des batteries lithium, laisse entrevoir un nouveau marché dans le très long-terme.

INFRASTRUCTURE HYDROGÈNE OU ÉLECTRIQUE, FAUT-IL CHOISIR ?

Les véhicules électriques à batterie et à hydrogène demandent des infrastructures différentes. Ces solutions sont complémentaires et leur déploiement devrait se faire en parallèle, selon les réalités locales.

Le principal enjeu pour le développement de la mobilité électrique, qu'elle soit à batterie ou hydrogène, est la création d'une infrastructure de distribution. Les véhicules à batterie nécessitent une infrastructure dense de bornes de recharge. Ceux qui roulent uniquement à l'hydrogène -comme la Mirai de Toyota ou la Nexus de Hyundai- ont besoin de stations de remplissage. Pour leur part, les véhicules hybrides -ceux à batterie avec prolongateur d'autonomie hydrogène de type Renault Kangoo ZE H2- se connectent aux bornes pour les trajets courts et font le plein d'hydrogène pour les longues distances.

Moderniser les réseaux ou transporter l'hydrogène ?

Le déploiement des deux infrastructures se fera de façon parallèle, pour deux usages complémentaires et en fonction des spécificités locales. *«La solution la moins chère est certainement un mix intelligent des deux infrastructures, explique Fabio Ferrari, Premier Vice-président de l'AFHY-PAC. Nous menons actuellement une étude pour démontrer qu'elle serait préférable à l'option qui consisterait à déployer soit 100 % de véhicules à batterie, soit 100 % de véhicules tout hydrogène ».* L'étude en question devrait être publiée en fin d'année.

Il faut dire que chaque infrastructure a un coût. Le déploiement massif de bornes de recharge rapide nécessite en effet un renforcement et une modernisation des réseaux électriques. De son côté, la fourniture d'hydrogène doit se «verdir» pour être acceptée – en ligne avec les orientations du [Plan Hulot](#), annoncé le 1er juin. L'hydrogène produit à partir de gaz naturel et transporté par camions doit progressivement laisser la place à un hydrogène décarboné, puis

«vert» - c'est-à-dire produit à partir des énergies renouvelables, par électrolyse de l'eau. *«L'option la plus intéressante à moyen terme est certainement d'installer de gros électrolyseurs sur les nœuds du réseau électrique les plus sensibles aux fluctuations des énergies renouvelables, assure Fabio Ferrari. Cela permettrait d'alléger le réseau lorsqu'il y a un pic de production tout en bénéficiant d'une électricité «verte» à moindre coût».* L'idée est que l'hydrogène soit ensuite livré en bouteilles ou transporté par tubes jusqu'à la station.

Prolonger son autonomie grâce à l'hydrogène

«L'hydrogène à la pompe produit grâce à de l'électricité sera forcément toujours plus cher que l'électricité à une borne, reconnaît Fabio Ferrari. En revanche, si l'on considère l'ensemble des systèmes (hydrogène versus batterie), les coûts au kilowattheure associés à l'hydrogène sont inférieurs à ceux de la batterie».

Ceci explique que Symbio, équipementier, mise sur les deux énergies. Ses kits hydrogène permettent de doubler l'autonomie des véhicules à batterie et de faire le plein en 5 minutes seulement, pour un surcoût de 30 % maximum. L'hydrogène présente un intérêt certain, notamment pour les utilitaires sachant qu'il n'est pas possible d'augmenter indéfiniment la taille de la batterie du fait de son poids. La solution est disponible sur les Renault Kangoo ZE, et bientôt sur de nouveaux véhicules.

Des coûts hydrogène en diminution

Le véhicule électrique à batterie est, à ce jour, bien plus répandu que celui à hydrogène. 18.000 d'entre eux ont été vendus au premier semestre 2018 en France contre une poignée pour l'hydrogène. Sur le site Internet de [Renault](#), plus de 8.000 bornes publiques sont recensées. En revanche, la France ne compte encore que [23 stations hydrogène](#). En

cause : la différence de prix entre les deux solutions.

La situation, néanmoins, pourrait évoluer. Les stations hydrogène passent en effet de l'état de prototypes à celui de solutions produites en série. La société Nel vient ainsi d'annoncer la fourniture de 448 électrolyseurs pour un total d'un gigawatt à Nikola. Ils serviront à créer une infrastructure de stations d'hydrogène aux États-Unis pour les camions et les véhicules particuliers, à partir de 2020. Dans ces conditions, le coût des stations hydrogène baisse rapidement. *«On a déjà divisé par deux le coût des stations en 5 ans : une pompe délivrant 200 kg d'hydrogène par jour coûte désormais autour de 500.000 euros»*, assure Fabio Ferrari. Un kilogramme d'hydrogène permet de rouler environ 100 km. Facturé en moyenne à 10 euros, l'objectif est d'arriver à un coût proche de celui du diesel, soit entre 7 et 8 euros. C'est déjà le cas dans le cadre du projet [Zero Emission Valley](#), en Auvergne-Rhône-Alpes.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

29/08/2018

DES ÉCOSYSTÈMES HYDROGÈNE FLEURISSENT EN RÉGION

Quelques régions ont déjà défini une politique de développement de la mobilité hydrogène. Elles misent en priorité sur les véhicules utilitaires légers des professionnels et des collectivités. Grâce au plan hydrogène de Nicolas Hulot, d'autres régions devraient dévoiler leurs ambitions dès la rentrée.

La France ne compte encore que **23 stations hydrogène** privées ou publiques. Les projets prennent doucement forme : 4 stations sont en cours de construction et 33 à l'état de projet. La première région à s'être dotée d'une politique régionale liée à l'hydrogène est la Normandie avec **EasHyMob**, dès 2016. Le projet prévoit le déploiement d'un premier maillage de 15 petites stations d'une capacité de 20 kg ou 50 kg par jour sur la région pour alimenter une flotte de 250 véhicules captifs. Seule la station de Rouen est actuellement en fonctionnement, alimentant une dizaine de véhicules. Les stations sont prévues sur les grands axes routiers normands reliant les grandes agglomérations de la région.

Des régions qui investissent dans l'hydrogène

La région Auvergne-Rhône-Alpes porte pour sa part le projet **Zero Emission Valley**. Il prévoit le déploiement en simultanée de 20 stations et 1.000 véhicules en flottes captives entre 2019 et 2021. Le projet bénéficie de financements à la fois régionaux, européens et privés. Ainsi, le prix de l'hydrogène, identique dans toutes les stations, et les subventions accordées pour l'achat des véhicules permettront d'atteindre un coût total proche de celui du diesel. Le développement des stations est par ailleurs facilité. « Le mécanisme financier en place permet de couvrir le risque trafic pour celles qui fonctionnent naturellement, au départ, en dessous de leur seuil de rentabilité - c'est-à-dire en dessous de leur seuil minimum d'usage, soit autour de 70 % du dimensionnement de la station », précise Fabio Ferrari, DG

de Symbio, équipementier spécialiste des systèmes hydrogène prolongateurs d'autonomie.

La région Bourgogne-Franche-Comté affine également son projet, tout comme l'Occitanie. Ailleurs les projets se multiplient, même si la vision régionale n'y est pas encore définie. La structuration autour des filières est en cours et des appels d'offres de l'Ademe liés au **plan hydrogène** de Nicolas Hulot vont être lancés en septembre. Le plan est doté de 100 millions d'euros pour accompagner les investissements dans des déploiements d'infrastructures et de véhicules. « Ceci devrait inciter d'autres régions à mettre en place des écosystèmes hydrogène d'ampleur autour de la mobilité, adaptés aux spécificités énergétiques et industrielles de leur territoire », estime Fabio Ferrari.

Le Plan H2 va multiplier les projets

Le Plan Hydrogène de Nicolas Hulot donne une vision et stimule toute la chaîne de valeur. « Ce plan est complet : il cartographie toutes les actions à mener, de la production d'hydrogène à partir des énergies renouvelables jusqu'aux usages, qu'ils soient industriels ou liés à la mobilité », affirme Fabio Ferrari.

À chaque région, ensuite, de trouver son modèle en fonction de ses spécificités énergétiques et en partenariat avec les industriels locaux concernés. Par exemple, en Occitanie, l'hydrogène se développe notamment dans l'aéroportuaire pour les véhicules de service. « Si les schémas diffèrent aussi en fonction des impératifs en matière d'aménagement du territoire, les bases restent similaires : des financements multiples, une région pilote et des industriels locaux partenaires », analyse Fabio Ferrari.

Rappelons que le plan hydrogène prévoit de déployer 5.000 véhicules utilitaires légers d'ici 2023. Ils seront alimentés par 100 stations à hydrogène au niveau national. En 2028,

l'objectif est de déployer entre 20.000 et 50.000 véhicules utilitaires légers, et entre 400 et 1.000 stations. « Le changement d'échelle se produira lorsque les véhicules pour les particuliers seront industrialisés, à partir de 2025-2030, affirme Fabio Ferrari. Il pourrait alors y avoir un effet boule de neige entre les véhicules et les stations jusqu'en 2040, grâce à ces véhicules de série ».

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

29/08/2018

LA FRANCE DOIT-ELLE MISER SUR L'HYDROGÈNE ?

LE PLAN HYDROGÈNE PEUT-IL SAUVER LE MINISTRE NICOLAS HULOT ? PATRICK POUYANNÉ (TOTAL) EST SCEPTIQUE

Cela fuse de partout. Il y a vraiment le feu au lac écolo pour l'ancien animateur de l'émission Ushuaïa sur TF1. Sera-t-il possible de l'éteindre avec de l'hydrogène ou ce dernier aura-t-il l'effet d'une bombe médiatique tant espérée par le Ministre ?

Le « en même temps » aurait-il fait place au « au détriment de » ? Avec Macron et Hulot, « nous sommes entrés dans une ère de régression » de la politique d'environnement s'est indignée Corinne Lepage, dans [une tribune](#) publiée le 1 juin dans le Nouveau Magazine Littéraire, c'est-à-dire le jour même de l'annonce en grandes pompes du « [plan hydrogène](#) » au Ministère de l'écologie. Pourtant cette ancienne Ministre de l'environnement avait soutenu Macron lors de la campagne présidentielle. « Je ne l'avais pas fait en raison de ses convictions écologistes mais parce que je pensais sincèrement que son intelligence lui avait permis de percevoir la gravité des défis auxquels nous sommes ». Mais « malheureusement, je me suis trompée » reconnaît Lepage.

Ségolène Royal, ancienne ministre de l'environnement, y est elle aussi allé de son couplet le 18 mai 2018 quand Hulot a autorisé au géant pétrolier Total d'utiliser un tiers de million de tonnes d'[huile de palme dans sa bioraffinerie](#) de la Mède, ex raffinerie de Provence : « Pourquoi tous ces reculs ? Malgré les pressions j'avais dit NON à l'importation d'huile de palme en raison des ravages écologiques et du bilan carbone désastreux, contraire à l'accord de Paris sur le climat ». Pourtant en février 2017 Ségolène Royal s'était emportée face à des militants anti-huile de palme déguisés en oranges-outans : « ils vont pas nous emmerder ! » (sic) [avait lancé la socialiste](#), ajoutant d'un air ironique :

« nous aussi on aime les animaux ! ».

L'immixtion de Ségolène Royal dans la politique gouvernementale actuelle a fait réagir Brune Poirson, collègue de Nicolas Hulot, qui a déclaré publiquement : « Ségolène Royal a une mission très importante. La situation est préoccupante en Arctique et en Antarctique et je ne doute pas qu'elle va mettre toute son énergie exclusivement dans ces régions du monde ». A l'assemblée nationale, visiblement perturbée, Poirson a aussi tenté de [retoquer](#) un député socialiste le 29 mai 2018, en argumentant que c'est à cause de l'action des socialistes dans le passé que le gouvernement est aujourd'hui contraint de prendre des décisions anti-écologiques.

Pour Jean-François Julliard, le directeur de Greenpeace France, le projet de Total est emblématique de l'hypocrisie du gouvernement français : « on a le sentiment que malgré de nombreux discours et promesses sur la lutte contre le réchauffement climatique, les actes manquent (...) même le minimum du minimum n'est pas fait. »

Une invitation au voyage

La Députée européenne écologiste Michèle Rivasi a partagé un conseil à Nicolas Hulot : « si tu tiens à ta crédibilité, quitte le gouvernement » ! L'interdiction du glyphosate d'ici 2021 en France ne figure pas dans le projet de loi « agriculture et alimentation ». Là aussi Michèle Rivasi dénonce un renoncement sous le poids des lobbys. Le député EELV Yannick Jadot estime que l'action d'Hulot au gouvernement constitue : « un formidable gâchis ». « La France parle haut et agit bas : Il y a de grandes annonces qui se traduisent

par des décisions a minima » constate l'eurodéputé socialiste français Éric Andrieu, président de la commission PEST (pesticides) du Parlement européen.

« On a épuisé toutes les facettes de la métaphore du vivarium (les couleuvres et autres reptiles de la famille des squamates) ingurgités. Nicolas Hulot est-il utile à la cause qu'il défend ? » interroge France-Inter dans un édito signé Thomas Legrand. « A mon sens et s'il est cohérent avec lui même Nicolas Hulot devrait se poser la question de son maintien dans un tel gouvernement qui renie des engagements élémentaires » estime Corinne Lepage. « Macron, ce sont des grands discours et à la fin, ce sont les lobbies qui gagnent. Hulot est asphyxié, il est totalement impuissant. Quel est l'intérêt pour lui de rester au gouvernement et de servir de caution au pire ? » complète Yannick Jadot dans le JDD. Isabelle Saporta, journaliste spécialisée environnement est plus directe : « Les questions environnementales, Macron, il n'en a rien à foutre. Macron voit ces questions comme une contrainte qui empêche le business model (...) Ce n'est même plus des couleuvres qu'avale Nicolas Hulot, ce sont des boas constrictor. On peut pas dire qu'on est écolo et signer tous les trucs les plus dégueulasses qui soient. »

Make our planet great again ? « Voilà, ça fait un an. Une année entière de duperies, de renoncements, de reculs : climat, nucléaire, biodiversité, pollution de l'air, agriculture, alimentation, condition animale, huile de palme, et tant d'autres... Une année d'inaction, une année de perdue » a regretté, également le premier juin, l'équipe de communication d'EELV.

Et il y a aussi le dossier d'un incinérateur en Corse qui fait polémique. « Nicolas Hulot affirme que les incinérateurs sont désormais moins polluants qu'auparavant et demande qu'on refasse un point sur les critères de dangerosité et d'approvisionnement » a rapporté la radio France Bleu. Et d'ajouter : « Le collectif de défense de l'environnement « Zero Frazu – Zéro déchet », s'interroge sur cette position affichée par le ministre. Est-elle neutre, au regard des liens entre sa fondation et certains industriels et grands groupes, notamment de l'énergie et des déchets ? »

Le plan d'Hulot : entrer dans « une nouvelle ère »

C'est dans ce contexte pour le moins tendu et erratique que Nicolas Hulot a lancé le 1 juin son fameux « plan hydrogène ». Le Ministre voit déjà la France devenir « leader mondial » de cette technologie et, l'air de rien, est même allé jusqu'à considérer que « nous sommes entrés dans une nouvelle ère. » Il n'y a pourtant aujourd'hui que 260 voitures à hydrogène immatriculées en France (alimentées par de l'hydrogène qui est à 95% d'origine fossile en France) et le « plan hydrogène » n'en prévoit que 5000 pour 2023, soit 120 fois moins que le nombre de voitures à batterie qui circuleront probablement dans l'hexagone à cette date d'après les projections disponibles. Le parc automobile français compte 40 millions de véhicules.

Ce plan n'a pas seulement laissé sceptique Matthieu Pechbert, Grand reporter à BFM Business, qui a souligné dans une émission intitulée « Hydrogène : un coup d'épée dans l'eau ? » que « Nicolas Hulot est dans un moment politique où il n'est pas bien, il se prend des revers dans le domaine énergétique à cause du nucléaire, il a besoin de montrer qu'il s'agit un peu sur son terrain de jeu ». En effet le numéro un français de l'énergie, Total, a lui aussi partagé ostensiblement son scepticisme. La voiture à hydrogène ? « C'est encore très cher ». Cette déclaration du PDG de Total lors de son Assemblée Générale des actionnaires au Palais des Congrès à Paris le 1er juin 2018 n'a pas échappé à l'équipe du média Bloomberg qui a titré : « Total pas convaincu par les voitures à hydrogène alors que le gouvernement annonce des subventions », article diffusé notamment par le Jakarta Post en Indonésie. Le journal économique Les Echos souligne qu'« à une question sur le développement de l'hydrogène, Patrick Pouyanné a dit que l'infrastructure pour cette énergie était très coûteuse et que cette technologie mettrait du temps avant de s'imposer. » A l'occasion d'une interview pour le quotidien Ouest-France (édition du 1er juin) Patrick Pouyanné a complété son propos : « Quand on fait les calculs économiques et que l'on regarde la filière hydrogène, on a du mal à se convaincre qu'elle a un horizon à 10 ans. Cela coûte encore très cher. La batterie électrique a aujourd'hui

un temps d'avance. Toyota, qui était complètement allé sur l'hydrogène, est d'ailleurs revenu sur l'électrique. » Le PDG de Total a aussi déclaré : « Je pense que les gouvernements n'ont pas à décider des solutions technologiques. Et je trouve, qu'en ce moment, ils en font un peu trop à notre place. Ce qu'ils doivent faire, c'est fixer des limites d'émission, à nous de choisir l'innovation, la solution technologique. »

Dans la ville de Pau, dont François Bayrou, un proche d'Emmanuel Macron, est Maire, l'investissement dans 8 Bus à hydrogène et une station de charge coûte 13,5 M€. Comme l'a remarqué la chaîne LCI c'est deux fois plus cher que les Bus à batterie. Pour être viable le projet a donc été copieusement gavé de subventions européennes et régionales : 7 M€ d'aides publiques, soit 52% du montant du projet et presque 1 M€ par bus... Pour Micheal Liebreich, fondateur de l'agence Bloomberg New Energy Finance, « les voitures à hydrogène sont une solution inférieure à la recherche d'un problème ! Leur attractivité pour les décideurs ignorants, heureux de gaspiller l'argent des contribuables, ne cesse de m'étonner. Mais l'inefficacité chimique inhérente n'est pas quelque chose que la réduction des coûts pourra jamais résoudre. »

Planète Ushuaïa

L'ingénieur polytechnicien Loïk Le Floch-Prigent, ancien dirigeant de Gaz de France (GDF) souligne dans [une tribune](#) (« Plan hydrogène : les étranges choix de Nicolas Hulot ») publiée le 2 juin 2018 sur le site Atlantico.fr que « l'H2 vert, c'est-à-dire issu d'énergie renouvelable produisant de l'électricité puis fournissant de l'H2 par électrolyse n'est qu'anecdotique. Tous les rendements successifs sont affreux et conduisent à un prix de la « verdure » inacceptable ». Un véhicule à hydrogène consomme en effet deux à trois fois plus d'électricité qu'un véhicule à batterie équivalent. « A un moment, il faut revenir sur notre planète avec ses caractéristiques physiques et ses lois » ajoute Le Floch-Prigent. « Chaque changement d'état conduit à des pertes, et donc multiplier les changements d'état multiplie les pertes et pas plus Monsieur Hulot que moi ne pourrons rien y changer... mais peut-être sur une autre planète. Moi,

je préfère la notre pour l'instant. »

Julien Bayou, porte-parole d'EELV, a de son côté refusé d'être mené en bateau : « Grand plan d'investissement ? Les choses en grand ? Avis aux journalistes : opération enfumage. 100 millions d'€ c'est le coût d'environ deux lycées. Ce n'est pas avec ça que l'on prépare la prochaine révolution industrielle... ». Selon Florence Lambert, directrice du CEA-Liten, dans une tribune publiée le 1er juin sur le site officiel du CEA, « un stockage électrique inter-saisonnier à base d'hydrogène ne serait nécessaire qu'à partir de 60% d'énergies renouvelables dans la production totale... ce dont nous sommes encore loin. »

« La France est un petit pays » rappelle Matthieu Pechbert de BFM, et les 0,1 milliard d'euros annoncés par Hulot sont vraiment une goutte d'eau. Pour provoquer un effet d'échelle et ainsi parvenir à baisser les coûts de la filière hydrogène, il faudrait investir des milliards, voire des dizaines de milliards d'euros dans de gigantesques usines d'électrolyse alimentées elles-mêmes par d'énormes centrales solaires et/ou éoliennes. Si le coût de l'hydrogène issu de l'électrolyse ne parvient pas à baisser massivement alors l'hydrogène restera majoritairement produit à partir d'hydrocarbures en émettant 13 kilos de CO2 par kilo d'hydrogène. En outre les 100 millions d'euros annoncés par Nicolas Hulot (dont la moitié pour subventionner les voitures à hydrogène) reposent sur une base qui semble fragile. Dans un article intitulé « [Hydrogène : le plan ambitieux mais sans-le-sou de Hulot](#) » Le Parisien a en effet rapporté que « pire, selon nos informations, Bercy, qui tient les cordons de la bourse, n'aurait absolument pas donné son accord définitif sur la partie financière du plan. « Nous ne l'avons pas validé car nous n'en avons pas eu connaissance en détail », justifie-t-on au ministère de l'Economie. « Les réunions interministérielles qui ont été organisées autour de cette thématique ont en effet été loin d'être concluantes », confirme une source proche du dossier. »

L'hydrogène ? Une nouvelle « religion »

« Sur l'hydrogène, ma religion est faite » a déclaré Hulot le 1er juin, manifestement emberluqué et à quelques mètres

d'une maquette d'Energy Observer, le premier navire à prolongateur Hydrogène . « *Oui ! L'hydrogène vert est l'une des solutions d'avenir pour la transition énergétique !* » a renchéri sur Twitter Mathieu Orphelin ex-directeur de la Fondation Nicolas Hulot et devenu Député étiqueté En Marche. Le Journal de l'Environnement lui a répondu : « *Et elle le restera encore longtemps* ». En effet, il y a 20 ans, l'hydrogène était déjà présenté comme une solution du futur. On peut même remonter à Jules Verne. L'espoir fait vivre. La France, technologiquement larguée dans le domaine des batteries lithium face à l'Asie et l'Amérique, tente de s'accrocher aux branches de l'hydrogène.

« *100M€ sur l'hydrogène alors que c'est une impasse technologique coûteuse. Par contre pour la solution vélo on entend pas grand chose. S'il n'y a pas un Plan Vélo sincère et financé, ce sera une nouvelle victoire des lobbies contre la société civile* » s'est exclamé le 1er juin Charles Maguin, président de l'association cycliste Paris en Selle.

« *Mi-mai, un proche du ministre confiait qu'il était "déprimé" et « n'y [croyait] plus* » rappelle le JDD. Selon elle Hulot avait voulu présenter sa démission fin avril, avant d'en être dissuadé par Emmanuel Macron. Il ne devrait « *plus rester très longtemps* » explique le JDD. Une thérapie sous masque à hydrogène suffira-t-elle ? Le 1er juin Patrick Pouyanné a un peu coupé le tuyau qui alimente ce masque.

« *Qu'il parte ou non, les amarres sont rompues entre Nicolas Hulot et le gouvernement. La semaine qui s'est achevée laissera des traces indélébiles, et pas seulement pour lui-même et pour l'environnement. C'est l'ensemble du quinquennat que son échec éclabousse* » estime Hubert Huestas de Médiapart dans un édito du 4 juin 2018 intitulé "[Le naufrage emblématique de Nicolas Hulot](#)".

Terre de feu

La présidente de la FNSEA (Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles) va peut-être aider Hulot à accélérer sa prise de décision. « La goutte d'huile qui a fait déborder le vase » : Christine Lambert a annoncé le blocage de la totalité des raffineries françaises à partir du

10 juin afin d'interdire l'alimentation de la bioraffinerie de la Mède avec de l'huile de palme importée. Elle [s'est déclarée indignée](#) que les agriculteurs français, qui produisent des huiles végétales, soient ainsi sacrifiés sur l'autel de la vente d'avions militaires *Rafale* à la Malaisie. Parvenir à unir à la fois la FNSEA et les écologistes contre soi, c'est incontestablement une prouesse remarquable. La palme. Et là ce n'est pas un mirage.

Jean-Gabriel Marie

05/06/2018

L'HYDROGÈNE DANS LE MIX ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS EN 2050 ?

Pour contribuer à l'élaboration du futur Plan National Hydrogène gouvernemental, 13 acteurs industriels publient une étude prospective sur l'hydrogène décarboné. Présentation.

L'industrie française est prête à réaliser les investissements nécessaires pour développer l'hydrogène décarboné sur le territoire. Tous les grands acteurs de la filière sont au rendez-vous pour cette étude prospective. On retrouve notamment EDF, Engie, Total, Air liquide, Alstom, Michelin, SNCF, Hyundai, Toyota, le CEA et l'Association Française pour l'Hydrogène et les Piles à Combustible (AFHYPAC). Objectif : contribuer à établir la feuille de route française de l'hydrogène demandée par le Ministre de la Transition écologique et solidaire.

L'hydrogène, allié de la transition énergétique française

Selon leurs calculs, « en 2050, l'hydrogène pourrait représenter 20 % de la demande d'énergie en France, alimenter 18 % du parc de véhicules et ainsi contribuer à réduire les émissions de CO₂ de 55 millions de tonnes ». Cette réduction comblerait près d'un tiers de l'écart qui existe entre les émissions correspondant au scénario technologique de référence de l'UE (qui n'intègre que les politiques actuelles) et le niveau requis par les engagements pris par la France dans le cadre de l'Accord de Paris et son Plan Climat.

L'hydrogène pourrait par ailleurs représenter près de 12 % de la demande de chauffage et d'électricité des ménages et environ 10 % de la demande de chaleur et d'électricité de l'industrie. Combiné à des émissions de CO₂ préalablement captées, il permettrait enfin de produire plus de 2 millions de tonnes de méthanol, d'oléfines et autres produits pour l'industrie chimique. En 2050, cette industrie représenterait un chiffre d'affaires de 40 milliards d'euros et plus de 150.000 emplois.

Un fort potentiel, mais un cadre à définir

Pour parvenir à développer l'hydrogène d'ici 2030, la France doit investir dès aujourd'hui. Dans le but de mettre en oeuvre cette vision, les auteurs proposent un investissement de 800 millions d'euros par an d'ici 2028. Il permettrait de développer les équipements, l'infrastructure, la mise à l'échelle des moyens de production et la R&D. En 2030, cela permettrait des opportunités à l'exportation d'environ 6,5 milliards d'euros en 2030 et 15 milliards en 2050. Pour mener à bien ces investissements, les industriels demandent un « cadre réglementaire stable, équitable et incitatif ». En contrepartie, ils se disent prêts à porter les investissements à 1,5 milliards d'euros en 2028, contre seulement un tiers de ce montant avec le cadre actuel.

Les industriels demandent par ailleurs le lancement de projets de grande échelle pour réduire les coûts des principales technologies. En effet, ils avancent qu'il serait possible de réduire les coûts à hauteur de 60 % « que ce soit pour la production/transport/distribution de l'hydrogène, les infrastructures ou encore les piles à combustible, sous réserve d'augmenter significativement les volumes de production ». Ils demandent enfin des incitations aux investissements privés de long terme pour y parvenir.

L'industrie française a le potentiel nécessaire pour devenir l'un des plus grands fournisseurs mondiaux de technologies de l'hydrogène. La France compte notamment dans sa filière automobile de solides fournisseurs de matériaux et de composants pour les systèmes de pile à combustible. Elle est particulièrement bien positionnée dans le domaine du développement et de la fabrication d'équipements pour la production, la distribution, le stockage et l'acheminement de l'hydrogène.

Coup de projecteur sur les transports et le chauffage

Dans le secteur des transports, il serait possible de passer de 20 stations actuellement à environ 400 stations à hydrogène d'ici 2028. Grâce à un déploiement progressif et simultanée, elles alimenteraient près de 10.000 véhicules électriques à pile à combustible en 2023 et 200.000 en 2028. Le déploiement accéléré par rapport aux voitures particulières se ferait dans les transports publics et les flottes captives. « *Sur les segments des flottes captives tels que celui des taxis ou des véhicules utilitaires, une voiture sur 50 vendues en 2023 et une sur 10 en 2028, pourrait être un FCEV [véhicule électriques à pile à combustible]* », note le rapport. Les autobus, les trains et le transport maritime constitueront aussi des segments phares à développer. Des trains, des ferries et autres navires à hydrogène sont d'ores et déjà en cours de développement.

De l'hydrogène décarboné ?

Sous le terme d'hydrogène décarboné, les professionnels avancent plusieurs technologies. La plus ambitieuse est l'électrolyse de l'eau à partir d'électricité d'origine renouvelable ou décarbonée, incluant le nucléaire. Il peut également s'agir de vaporéformage de biométhane ou de gaz naturel associé à une technologie de captage et séquestration du CO₂.

Selon la vision de ces industriels, la production de l'hydrogène doit être rapidement décarbonée. « *En 2030, l'hydrogène destiné aux transports, aux bâtiments et à l'industrie serait produit à 90 à partir de sources sans carbone, que ce soit par électrolyse centralisée ou distribuée ou par vaporéformage du biométhane ou du gaz naturel allié au captage du carbone* », projettent-ils.

Par Matthieu Combe, journaliste scientifique

06/04/2018

« L'HYDROGÈNE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE » : UNE NOTE TECHNIQUE DE L'ADEME

L'ADEME vient de publier le 3 avril 2018 sa note technique « L'hydrogène dans la transition énergétique ». Si le remplacement par de l'hydrogène « vert » de l'hydrogène fossile utilisé dans l'industrie, par exemple pour produire de l'ammoniac, semble aller de soi, les autres usages envisagés par l'ADEME se heurtent à des obstacles économiques significatifs.

L'ADEME mentionne dans [son document](#) l'expérimentation de l'hybridation batterie + hydrogène au niveau d'un magasin Biocoop d'Avignon ainsi que sur un site isolé sur l'île de La Réunion : « Le village de La Nouvelle, au cœur du Cirque de Mafate à La Réunion, expérimente depuis l'été 2017 un système de stockage hybride batterie / chaîne hydrogène, dans le cadre d'un projet porté par EDF SEI et le Sidélec (Syndicat d'électrification de La Réunion) et soutenu par la Direction Régionale ADEME. L'installation comprend une production PV (7,8 kWc), des batteries lithium (15,6 kWh), un électrolyseur et une pile (3 kW) et un stockage d'hydrogène (3 kg). L'ensemble permet à trois bâtiments (le dispensaire, l'école et le bâtiment de l'ONF) d'être 100% autonome en énergie. Si l'expérimentation est concluante, elle sera étendue à l'ensemble du village qui pourra alors se passer du fioul qui alimente ses groupes électrogènes. »

La [batterie](#) assure le stockage quotidien. Le système [hydrogène](#) n'intervient de son côté que pendant les longues périodes de pénurie solaire-éolienne. Ce « *prolongateur d'autonomie* » a donc un rôle marginal. Utiliser des générateurs thermiques classiques à leur place est bien meilleur marché. Et probablement acceptable sur le plan écologique étant donné qu'il s'agit d'usages très ponctuels.

Selon l'agence [Bloomberg](#) « pour être une solution, les

coûts du stockage hydrogène devront baisser drastiquement. Un système à base d'hydrogène coûte environ 10 fois plus cher qu'un back-up à base de générateurs diesel ayant une puissance équivalente, selon une présentation de Toshiba Corp durant la World Smart Energy Week à Tokyo en mars 2017 ».

L'ADEME envisage par ailleurs de recourir à l'hydrogène pour les véhicules lourds professionnels. Ceci en phase avec la déclaration d'Emmanuel Macron du 22 mars 2018 : « Ils'agit de s'engager dans une révolution des transports en généralisant les véhicules électriques et à hydrogène et en convertissant les flottes de poids lourds au gaz. C'est une stratégie nationale que nous avons engagée. Elle doit aussi s'accélérer sur le plan Européen ». Là encore il est permis de douter. C'est précisément pour les véhicules lourds (et donc fortement consommateurs en énergie) et pour les [longs kilométrages](#) quotidiens que les véhicules électriques à batteries sont les plus pertinents économiquement. Recourir à des [camions électriques à batterie](#) sera bien plus économique que tout autre mode de transport des marchandises : par exemple [\\$0.85](#) par mile avec une flotte de camions Tesla contre \$1.51 avec un train (un mile = 1,6 kilomètre). La banque Morgan Stanley estime que les camions Tesla auront un coût de fonctionnement 70% moins élevé que les camions Diesel. « Ce n'est pas seulement un suicide économique pour les camions diesel, c'est une suicide économique pour le transport ferroviaire » a estimé Elon Musk. L'analyste Adam Jonas [a déclaré](#) : « Nous pensons que les révélations de Tesla sur leur camion semi-remorque autonome et électrique de classe 8 pourraient constituer le plus grand déclencheur de l'industrie des camions et séparer définitivement les leaders en matière de technologie de ceux qui sont à la traîne ».

Selon l'ADEME, « De récentes simulations technicoéconomiques réalisées par Artelys pour l'ADEME indiquent qu'à l'horizon 2035, le système électrique (français ndlr), comprenant 64% de renouvelables, peut fournir 30 TWh/an d'hydrogène pour un coût inférieur à 5 €/kg, qui est compétitif pour des usages dans la mobilité et l'industrie. Dans ces simulations, le coût moyen de l'électricité consommée par les électrolyseurs s'établit à 42 €/MWh ».

05/04/2018

Mais « le rendement énergétique de la chaîne hydrogène et les risques accidentels associés à son utilisation sont des questions qui font régulièrement débat. Ces débats sont légitimes, ils pointent les contraintes attachées à cette technologie, qui doivent être prises en compte dans sa mise en œuvre concrète.

L'hydrogène n'étant qu'un vecteur énergétique, il suppose une succession de transformations, entre source primaire d'énergie et énergie finale utilisée. Le rendement de l'électrolyse - permettant via un courant électrique de décomposer la molécule d'eau en hydrogène et oxygène - est actuellement de l'ordre de 70%. La compression de ce gaz est également consommatrice d'énergie, et la recombinaison de la molécule d'eau dans la pile, pour fournir de l'électricité à nouveau, se fait avec un rendement de l'ordre de 45%. Le rendement global de la chaîne, de l'électricité primaire à l'électricité utile restituée, se situe ainsi dans une fourchette de 20 à 30% selon les applications, la pression de stockage considérée, les schémas logistiques...

Pour cette raison, et dans le but d'une efficacité globale des systèmes énergétiques, le stockage électrochimique à batterie est à privilégier lorsque cela est possible. Le rendement de ce type de stockage est en effet meilleur, supérieur à 80%. Par exemple, dans le domaine de la mobilité, le véhicule électrique à batterie seule est à préférer pour les profils d'usage qui peuvent être couverts par ce type de véhicule, selon l'autonomie énergétique souhaitée, la disponibilité du véhicule requise... Le recours à l'hydrogène est à considérer lorsque cette solution n'est plus opérante ».

Jean-Gabriel Marie

DES CAPTEURS DE LUMIÈRE MOINS CHERS, MOINS TOXIQUES ET RECYCLABLES POUR LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

Mimer la photosynthèse des plantes pour convertir, grâce à la lumière, des molécules stables et abondantes comme l'eau et le CO₂ en carburant hautement énergétique (l'hydrogène) ou en produits chimiques d'intérêt pour l'industrie, est aujourd'hui un défi majeur de la recherche.

La réalisation d'une [photosynthèse artificielle](#) en solution reste cependant limitée par l'utilisation, pour capturer la lumière, de composés à base de métaux coûteux et toxiques. Des chercheurs du CNRS, du CEA et de l'Université Grenoble Alpes proposent une alternative efficace avec des [nanocristaux semi-conducteurs](#) (ou "quantum dots"), à base de cuivre, d'indium et de soufre, des métaux moins onéreux et moins toxiques. Ces travaux sont publiés dans Energy & Environmental Science le 10 avril 2018. Dans les systèmes de photosynthèse artificielle, les [chromophores](#), ou "photosensibilisateurs", absorbent l'énergie lumineuse et transfèrent les électrons au catalyseur, qui active la réaction chimique. Alors que de nombreux progrès ont été réalisés ces dernières années dans le développement de catalyseurs sans métaux nobles, les photosensibilisateurs reposent encore, pour la plupart, sur des composés moléculaires à base de métaux rares et coûteux, comme le ruthénium ou l'iridium, ou sur des matériaux semi-conducteurs inorganiques contenant du cadmium, un métal toxique.

Pour la première fois, des chercheurs du Département de chimie moléculaire (CNRS/Université Grenoble Alpes) et du SyMMES (CNRS/CEA/Université Grenoble Alpes)¹ ont démontré, en combinant leurs expertises en ingénierie des matériaux semi-conducteurs et en photocatalyse, qu'il est

possible de produire très efficacement du dihydrogène en associant des nanocristaux semi-conducteurs (ou "quantum dots") inorganiques constitués d'un cœur de sulfure de cuivre et d'indium, protégé d'une coquille de zinc et de soufre, à un catalyseur moléculaire à base de cobalt. Ce dispositif "hybride" combine les excellentes propriétés d'absorption de la lumière visible et la stabilité des semi-conducteurs inorganiques à l'efficacité des catalyseurs moléculaires. En présence d'un excès de vitamine C, qui fournit les électrons au système, il montre une activité catalytique remarquable dans l'eau, la meilleure obtenue à ce jour avec des "quantum dots" sans cadmium. Les performances de ce système sont bien supérieures à celles obtenues avec un photosensibilisateur à base de ruthénium, grâce à la très grande stabilité de ses matériaux inorganiques, qui peuvent être recyclés plusieurs fois sans perte notable d'activité.

Ces résultats mettent en évidence le grand potentiel de tels systèmes hybrides pour la production d'hydrogène issue de l'énergie solaire.

Source : [cnrs](#)

18/04/2018

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre**, **leurs compléments et mises à jour**, et bénéficiez des **services inclus**.



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- ☐ Automatique - Robotique
- ☐ Biomédical - Pharma
- ☐ Construction et travaux publics
- ☐ Électronique - Photonique
- ☐ Énergies
- ☐ Environnement - Sécurité
- ☐ Génie industriel
- ☐ Ingénierie des transports
- ☐ Innovation
- ☐ Matériaux
- ☐ Mécanique
- ☐ Mesures - Analyses
- ☐ Procédés chimie - Bio - Agro
- ☐ Sciences fondamentales
- ☐ Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant
toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés
pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques
et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles
en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais,
espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions
antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier
de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés
de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

OFFRE



Véhicule et mobilité du futur

Maîtrisez les avancées technologiques des véhicules et systèmes de transport pour développer des projets innovants

Ref : TIP601WEB

PRÉSENTATION

Les développements récents en matière de véhicules moins polluants
Le point sur les biocarburants, les piles à combustibles, l'amélioration des moteurs et l'allègement des véhicules
Les tendances technologiques d'électrification et d'automatisation de la conduite
Les innovations et expérimentations portant sur l'optimisation des systèmes de transport, la gestion de l'information, des services et de l'infrastructure

VOTRE COMMANDE :

Référence	Titre de l'ouvrage	Prix unitaire H.T	Qté	Prix total H.T
TIP601WEB	Véhicule et mobilité du futur	730 €	1	730 €
Total H.T en €				730 €
T.V.A : 5,5%				40,15 €
Total TTC en €				770,15 €

VOS COORDONNÉES :

Civilité ☐ M. ☐ Mme

Prénom

Nom

Fonction

E-mail

Raison sociale

Adresse

Code postal

Ville

Pays

Date :

Signature et cachet obligatoire

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Conditions générales de vente détaillées sur simple demande ou sur www.technique-ingenieur.fr

Si vous n'êtes pas totalement satisfait, vous disposeriez d'un délai de 15 jours à compter de la réception de l'ouvrage pour le retourner à vos frais par voie postale. Livraison sous 30 jours maximum.