

NOUVEAU
N°1

TRANSITIONS ENERGIES

N°1 – JUIN 2019

www.transitionsenergies.com « Il est plus facile de désintégrer un atome qu'un préjugé. » A. Einstein

Voiture électrique, la grande illusion



L'hydrogène,
c'est l'avenir !



Éolien, solaire :
les coûts cachés



L 18270 - 1 - F: 9,90 € - RD



BELUX 10,70 € - CH 15,80 FS - CAN 19 \$can

MANIFESTE POUR UN NOUVEAU SOUFFLE

par Jean-Éric Vergne, champion du monde de Formule E

« Paris, Santiago, Hong Kong, Sydney, tout autour du monde, nous faisons face à un défi sans précédent : protéger notre planète. Nous l'usons, c'est un fait qu'il n'est plus nécessaire de discuter. La Terre n'est pas un bien de consommation.

Le sport automobile a déjà commencé sa mue.

Alors que j'étais à un tournant de ma carrière professionnelle, j'ai choisi de pleinement m'investir en Formule E. L'industrie automobile a un rôle primordial à jouer dans ce besoin de progrès. Notre discipline est un exemple de sport spectacle intelligent.

Si vous n'avez jamais assisté à l'une de nos courses, je vous invite à nous suivre et je vous promets que vous ne serez pas déçus.

Je me suis engagé en Formule E avec l'ambition d'être davantage qu'un pilote.

Depuis 2017, la Formule E m'a nommé ambassadeur du développement durable de notre discipline dans un consortium qui regroupe d'autres grands événements comme Paris 2024. Désormais, je participe au projet E-TENSE de DS Automobile pour les nouvelles énergies. »

Jean-Éric Vergne



SOMMAIRE

En couverture : Voiture électrique, **la grande illusion**

Le véhicule électrique à batteries ne peut pas être une solution miracle aux problèmes de la mobilité individuelle. Il a le mérite de réduire les émissions là où il circule. Mais les contraintes technologiques, économiques et financières liées à sa fabrication et à son utilisation limitent considérablement son intérêt.



20 DOSSIER

24

Au cœur de la voiture électrique : son moteur
par Michel Alberganti

27

Nikola Tesla
a-t-il eu raison trop tôt ?
par Jean-Baptiste Giraud

28

En 1899,
« La Jamais Contente »
battait le record de vitesse
par Thibaud Larue

30

Batteries : la révolution
technologique
qui ne vient pas
par Barthélémy Dont



34

Faire le plein :
une question épineuse
par Catherine Bernard

37

La Norvège, un exemple
difficile à suivre
par Catherine Bernard

38

En Chine,
les consommateurs
se rebiffent

39

Frédéric Pereira :
« La voiture électrique est
victime de préjugés »
propos recueillis
par Éric Leser

41

Faire rouler les voitures hydrogène
à base d'énergie renouvelable
par Julia Mainka et Robin Vivian

43

Formule E,
l'avenir du sport automobile
par Thibaud Larue

SOMMAIRE

5

ÉDITORIAL

L'ambition, la conviction
et la mission de

Transitions & Energies

par Éric Leser

8

CE QU'IL FAUT SAVOIR

En bref :

Technologies, science,
énergies fossiles et renouvelables,

13

AGENDA

Qui fait quoi dans le monde de l'énergie

14

CHRONIQUE

Transition énergétique :
les vagues historiques de Marchetti

par Léon Thau

15

TABLEAU DE BORD

État de la transition dans le monde

18

LE VRAI DU FAUX

de l'éolien et du solaire

par Émilie Drugeon

45

CHRONIQUE

Le véhicule électrique ne sauvera pas
la planète

par Loïk Le Floch Prigent

ENQUÊTES

47

L'éolien en butte aux procédures
très françaises

par Gilles Bridier

50

Les multiples technologies de l'hydrogène

par Laurent Antoni

53

La consommation de charbon
continue à augmenter dans le monde

par Carine Sebi

CHRONIQUE

57

Transition « heureuse », noble mensonge

par Bertrand Alliot

58

Revue des études et des rapports
sur les transitions

60

EN BREF

Entreprises, marchés, finance

64

PORTRAIT

D'UNE ENTREPRISE INNOVANTE

Energy Observer

par Lorraine Avel

65

FINANCE

Le Luxembourg, n° 1 de la finance verte

par Léon Thau

TRANSITIONS
& ENERGIES

Transitions et énergies, trimestriel, est édité par la société Green Axxe Communication, 55 avenue Marceau, 75116 Paris. SAS au capital de 20 000 €.

N° de commission paritaire en cours.

Directeur de la publication : Gil Mihaely. **Rédacteur en chef** : Éric Leser. **Direction artistique** : Catherine Barnay. **Fondateur** : Gérald Penciolelli.

Ont participé à ce numéro : Michel Alberganti, Bertrand Alliot, Lorraine Avel, Catherine Bernard, Gilles Bridier, Barthélémy Dont, Jean-Baptiste Giraud, Thibaud Larue, Loïk Le Floch Prigent, Léon Thau.

Gestion marketing des ventes :

Agence Boconseil, Otto Borscha – oberscha@boconseilame.fr 01 47 07 56 10.



NOTRE AMBITION, NOTRE CONVICTION ET NOTRE VOCATION

**Comment *Transitions & Energies*
entend contribuer,
modestement, à construire des
stratégies efficaces et réalistes
de transitions énergétiques.**

par **Éric Leser**



La nécessité de se passer progressivement des énergies fossiles et de leur substituer des sources d'énergie non carbonées sans mettre en péril nos sociétés et notre civilisation est le défi de notre temps. La question de la transition énergétique est d'ailleurs trop essentielle pour être laissée aux seuls lobbys, idéologues, lanceurs d'anathèmes, romantiques, anticapitalistes recyclés et à des institutions manquant souvent de réalisme et de courage.

Nous sommes entrés malheureusement dans l'ère de la panique énergétique. L'émotion, les postures et le simplisme règnent et nous égarent. Nous ne ferons pas face en nous couvrant la tête de cendres et en suivant les prophètes d'un nouvel apocalypse. Les solutions et les stratégies technologiques comme économiques existent. Pour les élaborer et les mettre en œuvre, il faut une vision méthodique des enjeux et des problèmes et faire appel à la connaissance, la raison et la science.

Notre ambition, à *Transitions & Energies*, est d'apporter à un débat nécessaire et légitime des fondements scien-

tifiques, des raisonnements construits sur les faits, des points de vue argumentés sur les avantages et les inconvénients des choix techniques, financiers et politiques qui se présentent à nous. Nous entendons, modestement, permettre ainsi de construire des stratégies publiques et privées convaincantes et acceptées par l'opinion.

Au cours des vingt-cinq prochaines années, le monde doit transformer son système d'approvisionnement en énergie et réduire significativement son empreinte carbone. Pour y parvenir, la croissance de la consommation d'énergie doit ralentir et le bouquet énergétique (le cocktail de sources d'énergie) changer radicalement. L'humanité n'a jamais accompli une telle transition,

encore moins à une telle échelle.

Les technologies qui permettent de mener cette transition sont aujourd'hui loin d'être toutes arrivées à maturité. Les stratégies à mettre en place sont complexes. Cela ne nous empêche pas d'être confiants. Avec de la méthode, de la volonté et en pariant sur l'ingéniosité et la créativité, l'humanité peut surmonter l'un des plus grands défis de

son histoire. C'est notre conviction à *Transitions & Énergies*.

Mais il faut expliquer et convaincre. Telle est notre vocation. Apporter des éléments de compréhension, éclairer les choix et participer ainsi à construire le consensus indispensable pour réussir les transitions énergétiques.

Nous aborderons sans tabous et sans a priori tous les aspects de cette question et toutes les problématiques : celles des énergies renouvelables, du nucléaire, de l'hydrogène, des énergies fossiles ou celles des mobilités et des transports, du géo-engineering, des technologies en devenir et en gestation.

Nous entendons promouvoir l'innovation, y compris, par exemple, dans l'utilisation de l'hydrogène ou la capture et le stockage du carbone. Il s'agit d'une nécessité à la fois pour atteindre nos objectifs de réduction de l'empreinte carbone et pour assurer notre prospérité et notre indépendance. L'innovation est vitale dans la production, l'utilisa-

tion et la distribution d'énergies plus propres et plus durables mais aussi via le numérique avec les véhicules autonomes, les réseaux électriques automatisés, décentralisés et intelligents ou l'utilisation du big data pour rendre plus efficaces les circuits logistiques.

Nous sommes entrés dans l'ère de la panique énergétique. L'émotion, les postures et le simplisme règnent et nous égarent.

Faire de la France et de l'Europe un leader dans l'innovation ouvrira de nouveaux marchés, créera de nouvelles industries et permettra à l'ensemble de la société d'avoir accès à une énergie plus propre et la moins coûteuse possible.

Pour donner une idée du défi auquel nous sommes confrontés, les transitions énergétiques ont un coût estimé entre 50 000 et 90 000 milliards de dollars lors des 15 prochaines années. En comparaison, le PIB annuel mondial s'élève à près de 80 000 milliards de dollars. Une transition mal maîtrisée vers une économie décarbonée pourrait mettre en péril la stabilité financière et mener à une récession massive si elle n'est pas accompagnée de financements publics et privés pertinents et de soutiens aux industries.

La difficulté tient à ce que l'on connaît la situation de départ mais sans savoir très précisément vers quoi l'on se dirige et plus encore comment.

Selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie. La demande mondiale d'énergie devrait seulement croître de 0,1 % entre 2016 et 2040 contre 2 % entre 2000 et 2015. Et dans le même temps, toujours entre 2016 et 2040, les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) devraient passer de 81 % à moins de 61 % des sources d'énergie primaires.

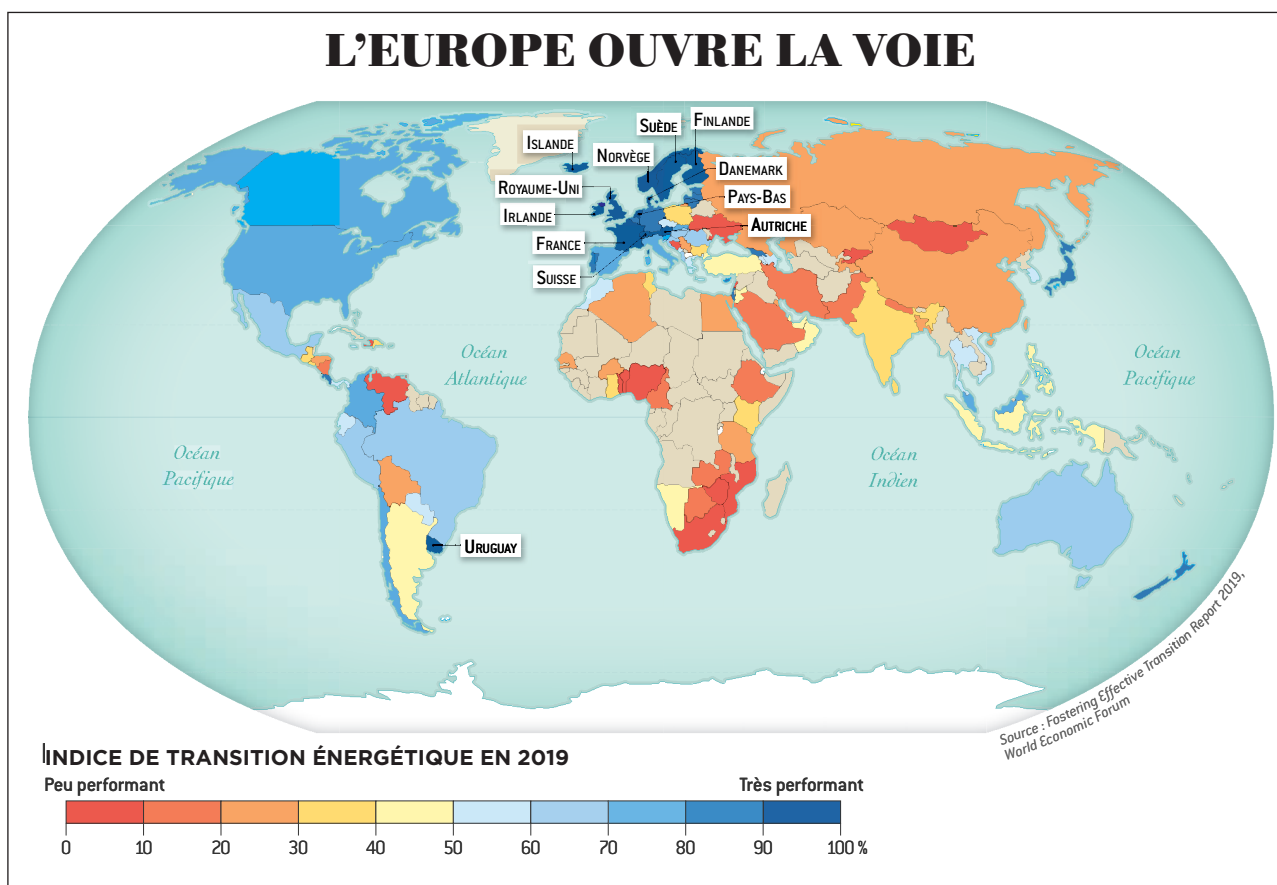
L'histoire de l'énergie et celle des civilisations sont intimement liées. Dans sa lutte pour survivre, pour domestiquer son environnement, pour échapper à la misère, pour se donner les moyens de maîtriser son développement économique, social, intellectuel, l'humanité n'a cessé de diversifier ses sources d'énergie. C'est l'intensification du recours à l'énergie qui a permis la révolution agricole et industrielle.

Nous sommes ainsi passés successivement de l'énergie animale et celle du bois, du vent et de l'eau à celle du charbon (quand le bois a commencé à manquer en Europe), du pétrole, de l'hydroélectrique, puis du gaz naturel, de la fission nucléaire et aujourd'hui à une échelle industrielle des renouvelables avec notamment l'éolien et le solaire. Jusqu'au XIX^e siècle, 95 % de l'énergie consommée par l'humanité provenait du bois. Avec la révolution industrielle, le couple charbon-vapeur a permis de fournir davantage d'énergie. Et ce n'est qu'au XX^e siècle que le gaz, le pétrole et l'électricité ont permis de considérablement changer le mode de vie des pays riches qui sont entrés après 1945 dans la société de consommation et des loisirs.

Les caractéristiques de toutes ces évolutions ont été de passer à des sources d'énergie de plus en plus concentrées et de le faire parce qu'il s'agissait d'un progrès évident. Nous l'avons oublié, ces transitions énergétiques ont toujours été positives pour les hommes et même dans une certaine mesure pour la nature.

Quand nous avons cessé d'utiliser le bois et l'avons remplacé par des carburants fossiles, nous avons permis à nouveau aux forêts de grandir. Quand nous avons arrêté de brûler du bois dans nos cheminées, nous n'avons plus respiré de fumées toxiques. Il est évident aujourd'hui que ces fumées avaient considérablement réduit l'espérance de vie de nos ancêtres. Quand nous avons remplacé, pour produire de l'électricité, les carburants fossiles par de

L'EUROPE OUVRE LA VOIE



l'uranium, nous avons réduit la pollution atmosphérique et les émissions de CO₂.

Nous devons continuer impérativement dans une logique de progrès. Les transitions énergétiques ne seront acceptées dans les démocraties que si elles sont comprises comme une façon de sauvegarder l'environnement, mais aussi d'améliorer les conditions de vie du plus grand nombre. La régression, la décroissance sont des voies sans issue socialement comme politiquement.

C'est pourquoi les idéologues de la peur n'apportent pas de solutions. Ils tétanisent. Ils attirent l'attention en permanence sur de nouveaux risques et détournent des vrais enjeux. Ils ont tellement effrayé les opinions et les gouvernements que ces derniers semblent aujourd'hui presque incapables de construire des stratégies réalistes de transitions énergétiques à long terme et plus encore de les expliquer et de les justifier. *Transitions & Énergies* entend contribuer à sortir de cette impasse.

Nous le faisons dans ce premier numéro en consacrant un grand dossier à la voiture électrique à batteries. L'adop-

tion massive d'un tel véhicule, puissamment encouragée par les pouvoirs publics en Europe et dans le reste du monde, présente des avantages en réduisant les émissions polluantes et de CO₂... et de sérieux problèmes. Ce moyen de transport ne peut pas être une solution miracle à nos problèmes de mobilité dans les villes et encore moins dans les zones dites périphériques. Il a encore aujourd'hui des limites technologiques trop pénalisantes. Il nécessite la construction d'infrastructures massives. Son attrait pour le consommateur reste relativement faible même avec des subventions importantes à l'achat. Il représente un enjeu industriel majeur pour les constructeurs automobiles, condamnés à jouer leur avenir sur un pari risqué. Enfin, la fabrication et le recyclage des batteries sont une menace pour l'environnement.

L'adoption à grande échelle du véhicule électrique à batteries n'a de sens que s'il s'agit d'un élément parmi d'autres d'une stratégie d'ensemble de transition énergétique. Une stratégie indispensable dont la mise en œuvre sera le fil conducteur de *Transitions & Énergies*. ■

Ce qu'il faut savoir

FOSSILES

La fin du charbon en France

La fermeture en 2022 des quatre centrales à charbon encore en activité en France, promesse de campagne d'Emmanuel Macron, pourrait devenir un casse-tête, notamment à cause des nouveaux retards de l'EPR de Flamanville et de la centrale de Landivisiau.

RTE a remis son nouveau rapport (après celui de novembre 2018) à François de Rugy, et dans les scénarios les plus défavorables, le critère de sécurité d'approvisionnement électrique en France « *pourrait ne plus être respecté en 2022* ». Avec ces fermetures, la France devrait réduire de près de 1,5 milliard d'euros sa facture énergétique totale et diminuer ses émissions de CO₂.

Selon RTE, s'il existe des leviers pour respecter l'engagement de sortie du charbon d'ici 2022, leur activation dépend avant tout de décisions politiques. Le Réseau Action Climat n'hésite pas, lui, à dénoncer l'inaction de l'État qui n'a pas assez développé les énergies renouvelables et les économies d'électricité.



Où se trouvent les centrales à charbon dans le monde ?

Il reste encore quatre centrales à charbon en activité, en France. Cordemais (Loire-Atlantique) et Le Havre (Seine-Maritime) sont les deux dernières exploitées par EDF. Deux autres (la centrale de Gardanne dans les Bouches-du-Rhône et celle d'Émile Huchet en Moselle) sont gérées par Uniper. RTE estime qu'en 2017 le charbon a couvert entre 1 % et 20 % de la consommation française selon les mois. Qu'en est-il ailleurs dans le monde ?

Au total, 6 685 centrales fonctionnant au charbon existent dans le monde. C'est en Asie qu'elles sont les plus nombreuses. La Chine est le premier consommateur et producteur mondial, mais l'Inde devrait bientôt prendre sa place. D'autres pays enregistrent de fortes croissances d'utilisation du charbon pour produire de l'électricité comme l'Indonésie, la Malaisie, le Pakistan, les Philippines et le Vietnam... Pour respecter les objectifs de l'Accord de Paris, les pays de l'OCDE et de l'Union européenne devront se passer de charbon d'ici 2030, la Chine d'ici à 2040 et le reste du monde d'ici à 2050.

Le retour des supraconducteurs

À TRÈS basse température, proche du zéro absolu ($-273,15\text{ °C}$) certains matériaux acquièrent des propriétés étonnantes. Une des plus connues est la supraconductivité. Le courant électrique circule sans aucune résistance. Ce phénomène pourrait avoir de nombreuses applications. Il permettrait de ne pas perdre de courant lors de son transport et de le stocker. Il permettrait de créer des champs magnétiques très puissants permettant par exemple de faire fonctionner un réacteur nucléaire à fusion.

Les physiciens sont donc en quête permanente de supraconducteurs « à température ambiante », ce qui faciliterait considérablement leur utilisation.

L'équipe de Maddury Somayazulu et Russell Hemley, de l'université

George Washington, a peut-être fait une découverte considérable. Ils ont observé des signes de supraconductivité dans un matériau appelé superhydru de lanthane jusqu'à une température de $-13,5\text{ °C}$.

Mais il faut rester prudent, tant des percées spectaculaires dans le domaine de la supraconductivité ont été annoncées souvent depuis des décennies...

La quête de la supraconduction à température ambiante est plus que centenaire. C'est en 1911 que le physicien néerlandais Heike Kamerlingh Onnes a mis en évidence pour la première fois le phénomène de supraconductivité. Depuis, les températures des supraconducteurs remontent...

En 1986, Karl Müller et Johannes Bednorz, deux chercheurs d'IBM, ont mis en évidence la supraconduc-



La supraconductivité est l'absence de résistance. Elle se manifeste à des températures proches du zéro absolu ($-273,15\text{ °C}$).

tivité dans des matériaux céramiques à -238 °C . De nombreuses équipes se sont inspirées de leurs travaux pour repousser toujours plus la limite : le record de température de supraconduction est aujourd'hui de -140 °C . Parvenir à $-13,5\text{ °C}$ serait bien une révolution.

Des centrales solaires dans l'espace ?

Tandis que des centrales solaires se construisent partout dans le monde (la plus grande se situe au Maroc), la Chine travaille actuellement à un projet de construction d'une centrale solaire en orbite, dans l'espace, à 36 000 kilomètres de la Terre. Le grand auteur de science-fiction, Isaac Asimov, dans un roman baptisé *Raison* publié en 1941, imaginait déjà un tel scénario...

En théorie, des centrales solaires en orbite pourraient permettre de donner accès à une source d'énergie suffisante pour tous les besoins terrestres. La revue chinoise *Science and Technology Daily China* explique qu'il s'agit d'une « source inépuisable d'énergie propre, fournissant de l'énergie à un taux fiable à 99 % du temps avec une intensité six fois supérieure à celle des parcs solaires terrestres ».

L'une des grandes difficultés techniques de ce projet réside dans l'acheminement de l'énergie solaire jusqu'à la Terre. Réponse entre 2021 et 2025 avec un premier essai.

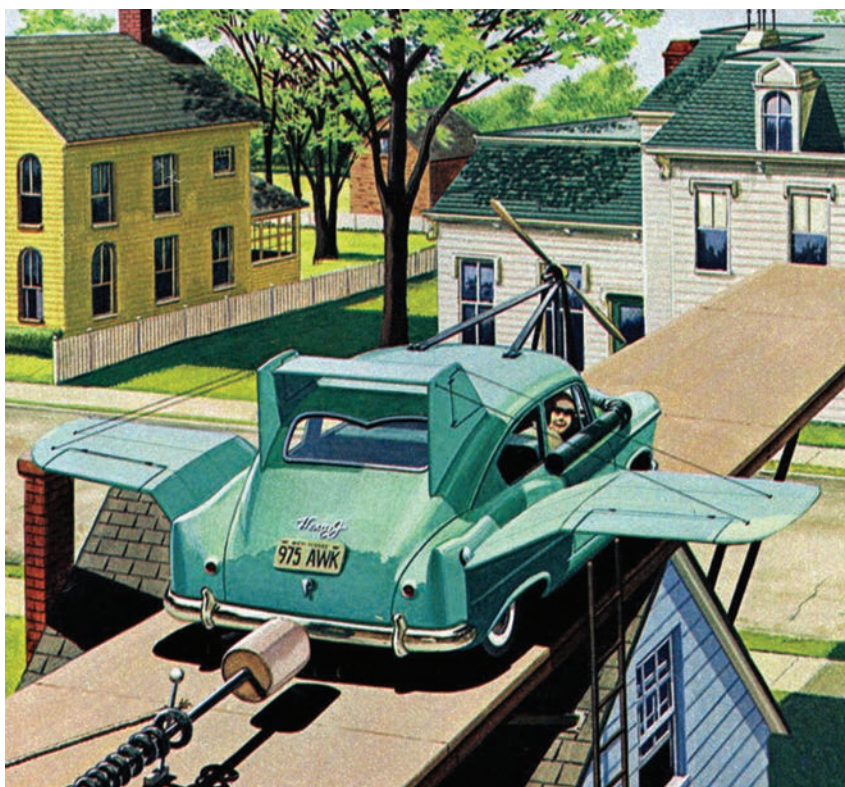
Les voitures volantes pourraient sauver l'environnement

**Il ne s'agit pas d'un canular du 1^{er} avril
mais d'une étude très sérieuse menée par le Center for sustainable systems
(Centre des systèmes durables) de l'université du Michigan.**

LES VOITURES volantes pourraient nous permettre de surmonter le problème de la mobilité dans les villes et les métropoles, d'échapper aux congestions et aux embouteillages et de ne pas avoir à construire des infrastructures extrêmement coûteuses. Toute la question tourne autour de la consommation d'énergie et du type d'énergie utilisé par ses machines volantes.

La solution, c'est une petite voiture volante électrique à décollage et atterrissage vertical (eVTOL) et à ailes repliables. La NASA a conçu un prototype de ce type baptisé GL-10. Il est parfaitement adapté au transport de quatre personnes en toute sécurité et sans le moindre embouteillage ni retard sur des distances allant de 5 à 250 kilomètres.

Selon l'étude de l'université du Michigan, se déplacer sur 100 kilomètres d'un point à un autre dans un véhicule volant électrique de ce type se traduirait par une baisse de 35 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à l'utilisation d'une voiture terrestre utilisant un moteur thermique essence ou diesel. Toutefois, le véhicule volant électrique émet pour cette même distance 28 % de plus de gaz à effet de serre qu'une



La voiture volante du futur imaginée en 1950 par l'artiste Bruce McCall.

voiture électrique terrestre. Si le déplacement est celui d'un passager unique.

La façon d'améliorer la performance du véhicule électrique volant est de lui faire transporter plus de passagers. Avec trois passagers contre 1,54 en moyenne dans une voiture terrestre, les émissions de gaz à effet de

serre par personne transportée sont inférieures à celles d'un véhicule terrestre thermique et électrique. L'avenir serait ainsi à des flottes de taxis électriques volants qui transporteraient leurs passagers en quelques minutes et à plus de 200 km/h des aéroports et des gares vers les centres des villes. ■

LES FRANÇAIS PARTAGÉS SUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) estime que si les Français sont inquiets quant au réchauffement climatique et aux problématiques qui touchent l'environnement, ils ne seraient pas vraiment enclins à agir dans le cadre qui leur est proposé ou imposé. En fait, tout semble dépendre, assez logiquement, du niveau de pouvoir d'achat.

L'Ademe a ainsi compilé plusieurs études dont un baromètre établi à l'été 2018 auprès de 1 500 personnes et un autre auprès de 505 dirigeants d'entreprises. Conclusion, les décideurs économiques sont favorables à l'augmentation de la taxe carbone (69 %) tandis que le reste de la population est très partagé (48 % pour et 46 % contre).

Les dirigeants sont aussi favorables à une hausse de la taxation des véhicules les plus polluants, à 79 %, contre 59 % pour la moyenne des Français.

En résumé, les Français sont prêts à faire des efforts qu'ils jugent justes, c'est-à-dire partagés de façon équitable et selon leurs moyens et leurs contraintes entre tous les membres de la société.

TECHNOLOGIES

Une batterie qui donne 1 000 km d'autonomie

Les constructeurs de voitures électriques annoncent depuis des années une avancée majeure dans la technologie des batteries qui permettra à la fois d'augmenter considérablement l'autonomie des véhicules, de raccourcir le temps de recharge et d'augmenter leur durée de vie. À force d'entendre ce genre de promesses jamais réalisées, il y a de quoi devenir sceptiques quand de nouvelles annonces sont faites.

Cette fois, il s'agit d'une start-up suisse, Innolith, qui affirme être capable de fabriquer une batterie lithium-ion à haute densité capable d'offrir une performance de 1 000 en watt-heures par kilogramme à comparer avec celle de 250 de la Tesla Model 3.

Une batterie de cette densité serait capable d'offrir une autonomie de 1 000 kilomètres à une voiture électrique sans recharge. « *C'est un grand saut* », affirme Alan Greenshields, le président d'Innolith dans un entretien accordé au magazine *The Verge*. « *C'est quatre fois la technologie actuelle du lithium-ion, trois fois ce qui est généralement accepté comme étant le progrès à venir avec le lithium et c'est deux fois l'objectif fixé par le Département américain de l'énergie...* »

Innolith annonce que sa batterie sera initialement fabriquée à titre expérimental en Allemagne et que la société conclura ensuite des accords de licence avec des groupes automobiles. Le développement et la commercialisation devraient prendre de trois à cinq ans. Si la technologie est bien au rendez-vous...

SCIENCE

LE MÉTHANE AUGMENTE DANS L'ATMOSPHÈRE ET LES SCIENTIFIQUES NE SAVENT PAS POURQUOI

Le niveau de méthane dans l'atmosphère augmente sans raison apparente. Si le phénomène n'est pas nouveau, sa rapidité inquiète. Une nouvelle étude conclut qu'entre 2014 et 2017, la concentration de méthane a augmenté, par année, d'environ 10 particules par milliard, soit une vitesse inégalée depuis les années 1980, quand l'industrie gazière était en plein développement en Union soviétique. Ce qui inquiète d'autant plus les scientifiques, car il leur est impossible de trouver les causes exactes de cette augmentation de méthane. Seule certitude, selon le Global Carbon Project, 34 % des émissions proviendraient de l'agriculture et de la gestion des déchets, 36 % sont naturelles, dues en majorité aux zones humides puis aux lacs, océans et permafrost. Le reste provient de fuites lors du dégazage naturel des sols et de l'usage de combustibles fossiles. Or, le méthane est le deuxième gaz à effet de serre après le CO₂, mais 28 fois plus réchauffant sur une période de 100 ans.

RENOUVELABLES

La plus grande pale d'éolienne au monde

L'usine LM Wind Power de Cherbourg a fabriqué en avril 2019 la plus grande pale d'éolienne au monde. Elle mesure 107 mètres et sera l'une des trois pales installées sur l'éolienne offshore de General Electric Haliade-X. Il s'agira de l'éolienne la plus puissance au monde qui mesurera 260 mètres de hauteur et fournira une puissance de 12MW. Elle est conçue pour rester en production pendant au moins 20 ans. L'entreprise danoise LM Wind Power appartient au groupe General Electric. Elle a implantée sa 15^e usine dans le monde à Cherbourg en 2017.



Une pale de 107 mètres fabriquée à Cherbourg.

TECHNOLOGIES

Transporter l'électricité sans en perdre

Un très gros tuyau serpente dans un hall high-tech du CERN (le plus grand laboratoire mondial de recherche sur les particules). Il s'agit d'une ligne de transmission électrique supraconductrice inédite. Elle pourrait préfigurer celles qui seront utilisées un jour à l'entrée des métropoles. Elle est capable de transporter d'énormes quantités de courant électrique dans un diamètre restreint et avec une efficacité inégalée.

Elle fait 60 mètres de long et a été développée pour le futur accélérateur de particules du CERN, le LHC à haute luminosité, qui entrera en service en 2026. Testée depuis l'année dernière, elle a transporté jusqu'à 40 000 ampères, vingt fois plus que des câbles en cuivre de même section. Formée d'un supraconducteur à base de diborure de magnésium, elle ne présente aucune résistance.

Seul problème... de taille, pour fonctionner à l'état supraconducteur le câble doit être refroidi à une température de 248°C. Il est ainsi inséré dans un autre tuyau dans lequel circule un réfrigérant, de l'hélium gazeux.

Après avoir démontré la faisabilité d'une telle ligne, l'équipe a testé avec succès fin mars son interconnexion au système qu'il doit alimenter. Le projet a attiré l'attention de nombreuses entreprises.

Les coûts cachés des trottinettes électriques

Les trottinettes en libre-service ont envahi les rues de Paris. En un peu plus d'un an, une dizaine d'opérateurs ont investi la capitale, pour le plus grand malheur des piétons et des utilisateurs, nombreux, qui prennent des risques inconsidérés. Non seulement, ces engins créent des nuisances, sont dangereux, mais leur bilan écologique est contestable. C'est ce que montre notamment un article de *Challenges*. La durée de vie de ces patinettes maltraitées et de piètre qualité est très limitée. Ensuite, elles sont mises au rebut. De la « mobilité jetable ». Selon *Challenges*, les opérateurs qui mènent une guerre commerciale acharnée pour prendre des parts de ce marché ont fait le pari de la quantité et ont inondé les rues de Paris de trottinettes électrique chinoises bon marché (environ 400 €). Problème, leur durée de vie serait en moyenne de un à deux mois à raison d'une dizaine de kilomètres par jour avant d'être définitivement hors service. Une aberration écologique car il n'existe pas de filière de recyclage des batteries. Ayant compris le danger, pour leur équilibre économique et leur image, certains opérateurs commencent à utiliser des machines plus robustes et réparables.



AGENDA

Intersolar Europe

15-17 mai 2019 | Munich - Allemagne

Intersolar Europe est le premier salon mondial de l'industrie solaire et de ses partenaires et la plus importante plateforme pour l'industrie.
www.intersolar.de

**SNEC 13th International
Photovoltaic Power
Generation and Smart Energy
Exhibition & Conference**

3-5 juin 2019 | Shanghai - Chine

Salon international de l'énergie photovoltaïque.
www.snec.org

**2019 International Energy
Storage and Hydrogen & Fuel
Cell Exhibition and Conference**

3-6 juin 2019 | Shanghai - Chine

Salon international du stockage de l'énergie mobile, de l'hydrogène et de la pile à combustible.
www.iesh.us

OLEOFUELS

5-6 juin 2019 | Venise - Italie

Oleofuels 2019 réunit des représentants des industries du biodiesel et du diesel renouvelable.
www.wplgroup.com

Seanergy

5-7 juin 2019 | Dunkerque - France

Seanergy est le forum international dédié aux énergies renouvelables éoliennes et marines.
seanergy2019.com

21st Africa Energy Forum

11-14 juin 2019 | Lisbonne - Portugal

« Africa Energy Forum » met en contact les acteurs clés du secteur de l'énergie afin de stimuler le développement de projets énergétiques en Afrique et d'électrifier le continent plus rapidement.
www.africa-energy-forum.com

Expobiogaz

12-13 juin 2019 | Lille - France

En 2019, Expobiogaz devient le salon du gaz renouvelable, un rendez-vous de référence en France traitant l'ensemble des solutions pour la production et la valorisation du gaz renouvelable : Méthanisation, pyrogazéification, power-to-gas, mobilité.
www.expo-biogaz.com

**European Electric Vehicle
Batteries Summit**

19-20 juin 2019 | Berlin - Allemagne

Salon des batteries de véhicules électriques.
www.wplgroup.com

Dakar Petrogaz Expo 2019

24-28 juin 2019 | Dakar - Sénégal

Le salon international « Dakar Petrogaz Expo 2019 » du pétrole, du gaz et des énergies renouvelables sert de cadre de réflexion, d'échange et de partage d'expériences aux acteurs du secteur des énergies.
www.dakarpetrogaz.com

Wind Europ

27-28 juin 2019 | Bruxelles

Salon européen d'évaluation des ressources éoliennes.
windeurope.org

EU-PVSEC

9-13 septembre 2019 | Marseille - France

Conférence européenne sur l'énergie solaire photovoltaïque.
www.photovoltic-conference.com

RA

21-23 octobre 2019 | Oran - Algérie

Salon international des énergies renouvelables et des énergies propres.
era.dz/salon/fr

Interclima

5-8 novembre 2019 | Paris Nord Villepinte

Interclima 2019 est un salon qui met l'accent sur les secteurs de la thermodynamique (climatisation et pompes à chaleur) et de la biomasse.
www.interclima.com

**European
Utility Week (EUW)**

12-14 novembre 2019 | Paris - France

European Utility Week (EUW) contribue à la construction d'un marché de l'électricité totalement intégré et interconnecté en Europe.
www.european-utility-week.com

EnerGaia

11-12 décembre 2019 | Montpellier - France

Le Forum des énergies renouvelables, EnerGaia, s'impose comme un rendez-vous majeur des ENR en France !
www.energaia.fr

LES VAGUES DE MARCHETTI

LA TRANSITION À TRAVERS LES ÂGES

L'humanité a traversé depuis le début du XIX^e siècle plusieurs phases de transitions énergétiques ou de substitutions énergétiques pour employer les termes du chercheur italien, Cesare Marchetti. Ce physicien né à Luca en 1927 a consacré une partie de sa vie à étudier ces transitions et à construire dans les années 1970 un modèle que l'on retrouve dans le graphique ci-dessous.

Les vagues de Marchetti montrent une chose importante : toutes les sources d'énergie majeures de l'âge industriel suivent une tendance similaire en entrant sur le marché. Il leur faut entre 40 et 50 ans pour passer de 1 % à 10 % du marché mondial. Pour éventuellement ensuite prendre la moitié du marché, il leur faut en tout un siècle par rapport à la période où elle en détenait 1%.

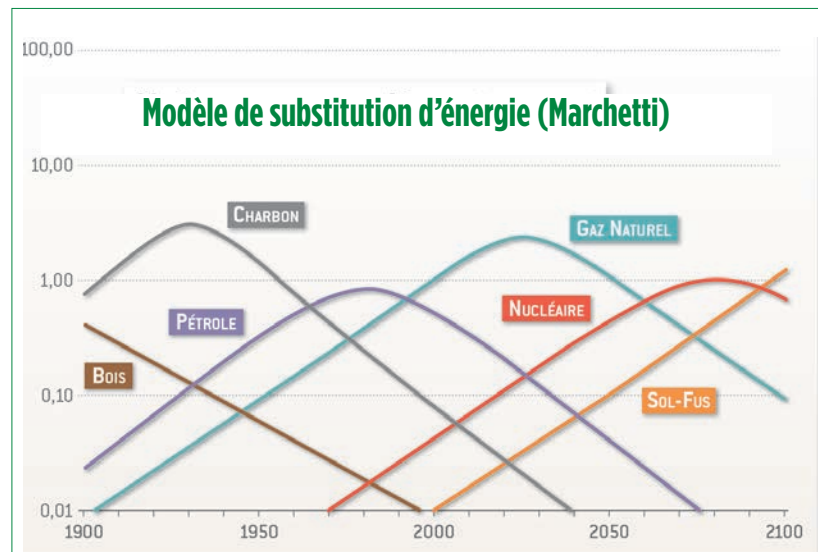
Utilisant des données

historiques sur le bois, le charbon, le pétrole et le gaz naturel, le chercheur a découvert que la place prise à long terme par ces sources d'énergie était liée avant tout à la croissance et au déclin des conditions logistiques de leur exploitation. Il a publié une première étude sur son modèle de substitution en 1977. Cesare Marchetti a ainsi introduit dans l'analyse des systèmes énergétiques le modèle dit de croissance logistique qui provient de la biologie et des limites de croissance des populations dans un environnement donné. Ce type d'analyse a été ensuite utilisé pour étudier la pénétration des nouvelles technologies sur un marché. Le terme « d'horloge interne » a été souvent utilisé par Cesare Marchetti pour décrire le comportement de long terme du marché mondial de l'énergie. Voilà comment il expliquait

simplement le fonctionnement de son modèle de substitutions :

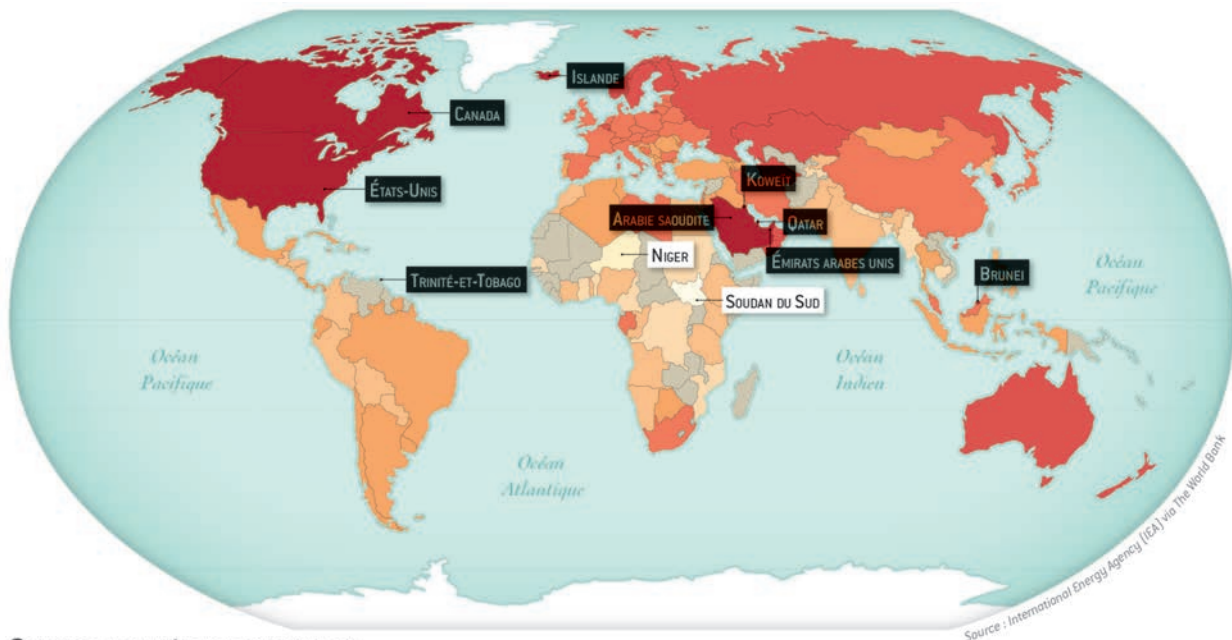
« La meilleure description opérationnelle est celle d'Alice au Pays des Merveilles qui voit des fleurs et des fleurs, les prend, et alors voit de plus belles fleurs, les prend et jette les anciennes fleurs et continue ainsi. La question évidemment est qui prend les fleurs... peut-être les politiques ou les dirigeants de grandes sociétés sont-ils les vrais décideurs. J'ai eu de nombreuses discussions avec eux et ils ont été nombreux à me dire : "nous semblons être les preneurs de décisions, mais nous sommes si fortement conditionnés que finalement nous ne reconnaissons pas les décisions comme étant vraiment les nôtres. Nous cherchons surtout à optimiser les choses..." ». La contrainte réelle ne semble pas venir du domaine des ressources physiques, mais de la coopération et de la dynamique internationale. »

Une chose apparemment n'a pas fonctionné dans ce modèle, la part prise par l'énergie nucléaire. Après une croissance rapide et spectaculaire entre 1975 et 1985, après les chocs pétroliers, l'utilisation de cette source d'énergie a été stoppée par un phénomène que Cesare Marchetti n'avait pas inclus dans son modèle : la peur. Une crainte des populations et des décideurs politiques face au nucléaire difficile à mettre en équation, car elle a indéniablement des côtés irrationnels.



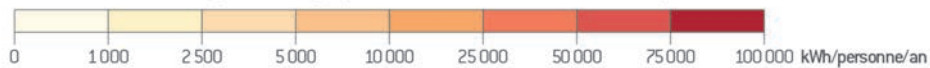
Léon Thau

La rupture Nord-Sud

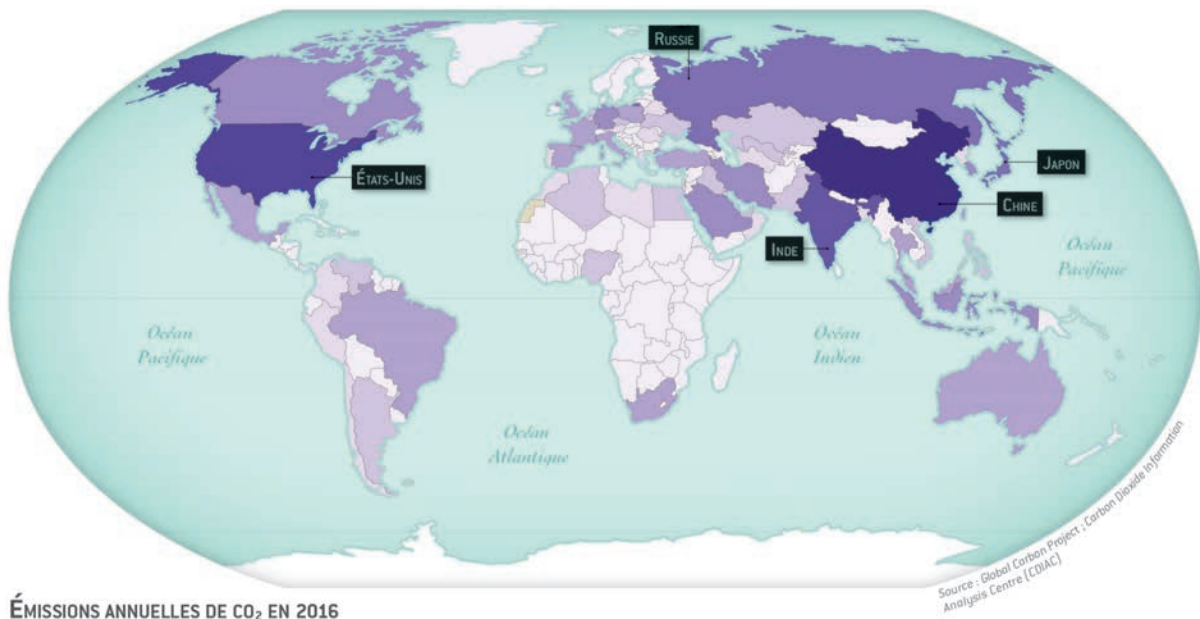


CONSUMMATION D'ÉNERGIE PAR HABITANT

Consommation annuelle moyenne d'énergie par habitant mesurée en kilowattheures/personne/an



La Chine, les États-Unis, l'Inde et la Russie : champions du CO₂

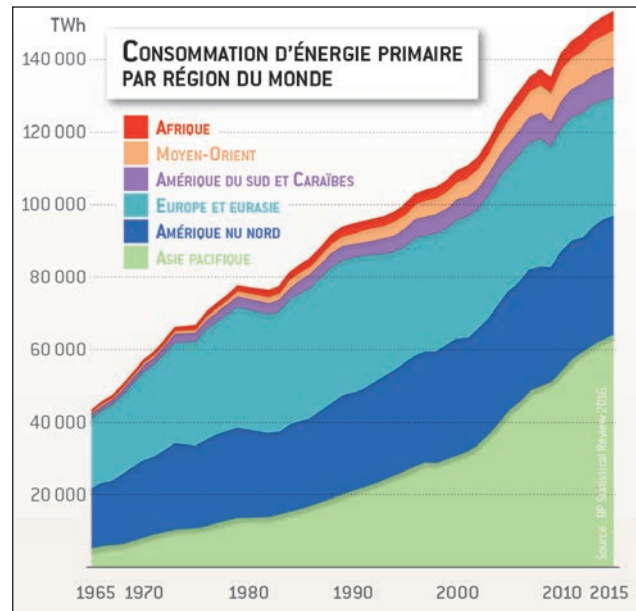
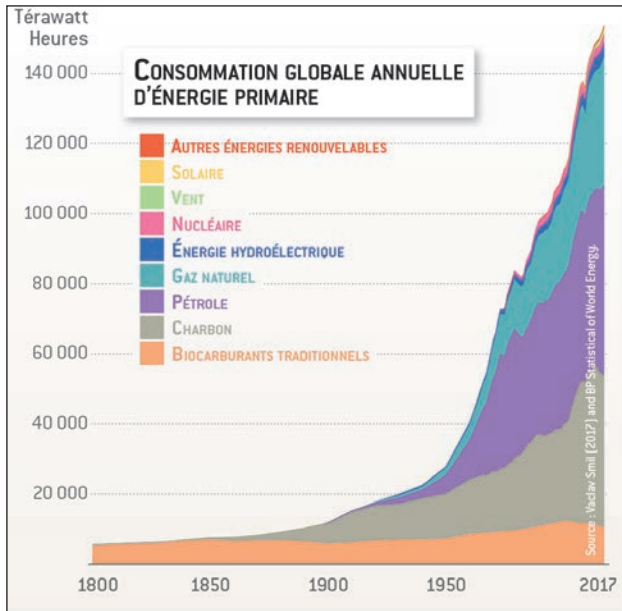


ÉMISSIONS ANNUELLES DE CO₂ EN 2016

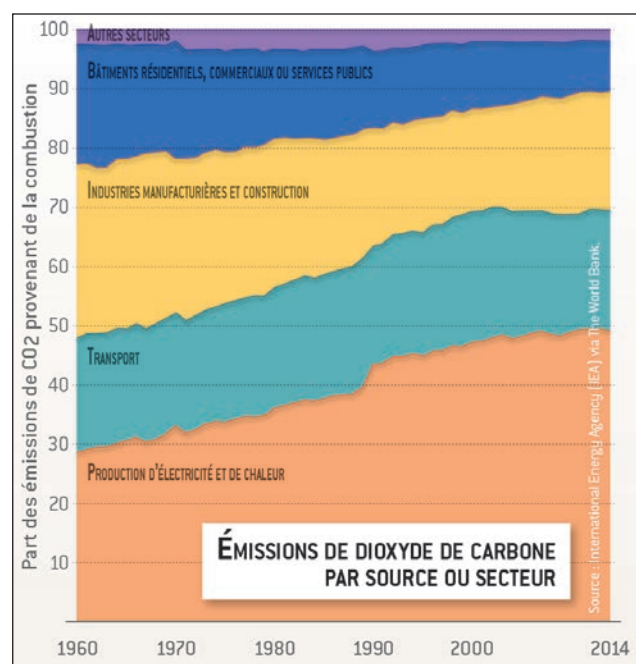
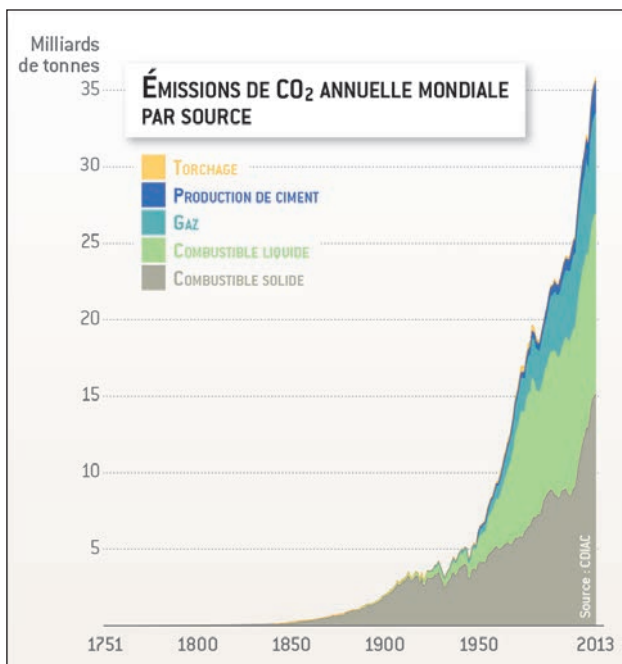
Émissions annuelles de dioxyde de carbone mesurées en tonnes par an



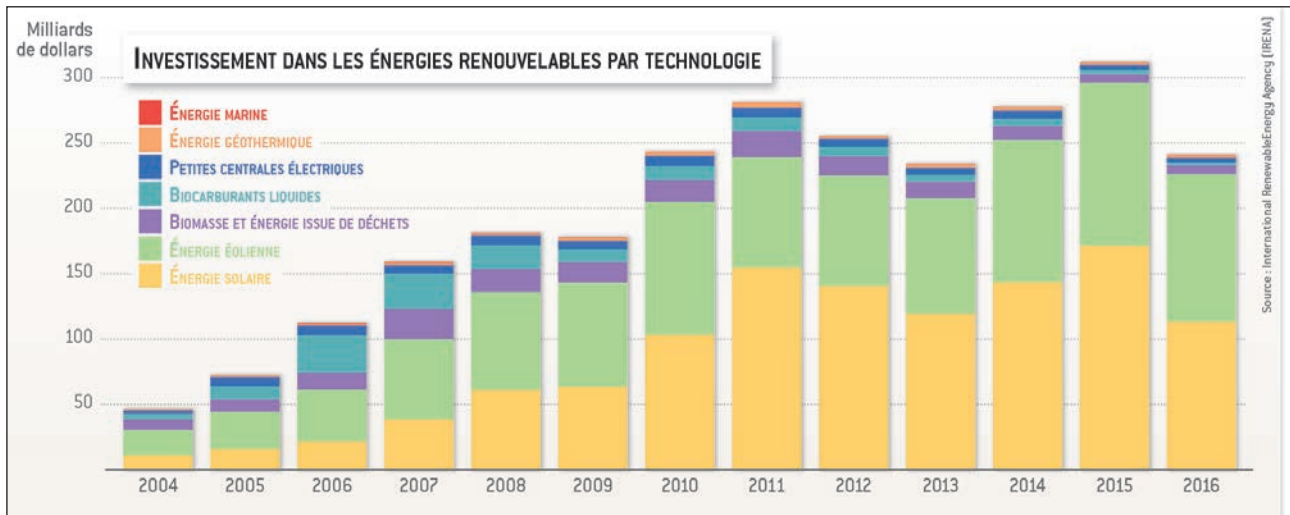
Un siècle de révolution industrielle... et le rattrapage de l'Asie



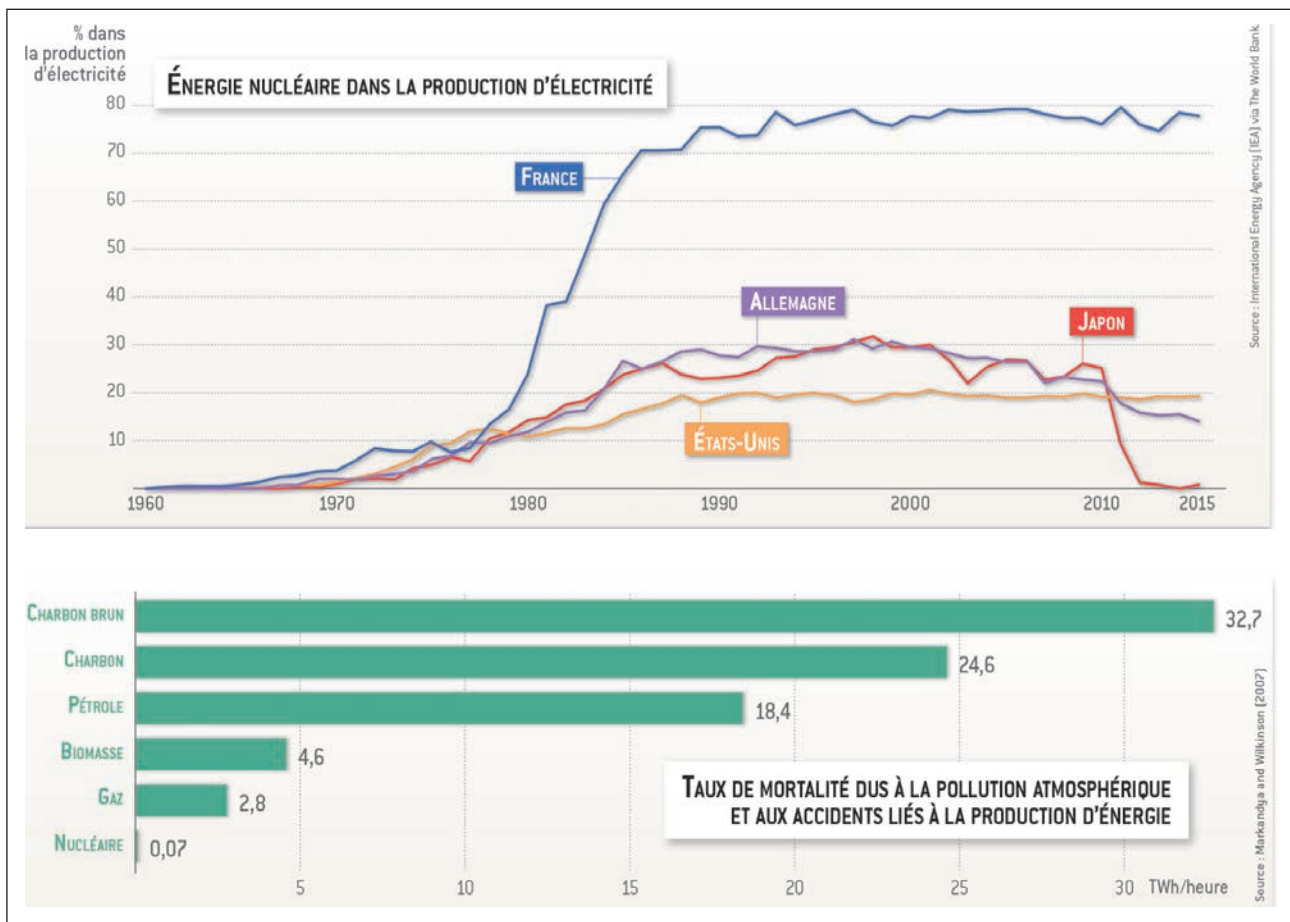
CO₂ : le produit du développement et des centrales à charbon et au gaz



Solaire et éolien trustent l'investissement



Nucléaire : la France à part, l'énergie la plus sûre



« ON NOUS CACHE TOUT, ON NOUS DIT RIEN »...

Quelques vérités sur les énergies renouvelables

par Émilie Drugeon

Avec les éoliennes, gare aux caricatures comme à l'angélisme et la vraie rentabilité des panneaux solaires sur les toits des maisons.

« *Des déchets de 90 mètres* », titrait un journaliste de la *Zeit* (Georg Etscheit) en février. En France, l'obsolescence du parc éolien n'est pas aujourd'hui une question qui se pose. On s'active plutôt à son développement : 15 000 turbines d'ici 2030. C'est à grands coups de fact checking émoticoné que le compte Twitter du ministère de la Transition écologique et solidaire souffle l'argumentaire des anti-éoliens.

Les uns considèrent le vent comme une évidence de la transition énergétique, les autres parlent de fake ecology. « *Ce ne sont pas des petits moulins qui font de l'électricité pure et gratuite mais des usines électriques qui sont une vraie catastrophe écologique* », assène Jean-Louis Butré, président de la Fédération environnement durable. Cette dernière regroupe 1 389 associations et vient de déposer une plainte contre l'État. « *Quand on fait le bilan complet d'une éolienne depuis sa fabrication jusqu'au recyclage qu'on ne sait d'ailleurs pas faire, le bilan est catastrophique. Elle vaut très cher ; son rendement annuel est très mauvais (entre 20 et 25 % pour un an) et c'est intrinsèque à ces machines puisqu'elles dépendent du vent !* »

Selon Jean-Louis Butré, qui parle d'un « *mensonge écologique gigantesque et d'arnaque financière* », il n'a jamais été prouvé que les éoliennes produisent moins de CO₂ : en tant que source d'énergie non pilotable, la seule manière de les réguler en cas de manque ou d'excès de vent est de faire appel aux centrales à gaz.

Pour ce qui est du recyclage, l'Ademe, agence environnementale rattachée à l'État, considère que les éoliennes le sont à 90 % !



La taille des éoliennes est en moyenne comprise entre 80 et 100 mètres.

© DR

Ce n'est pas l'avis de tous. Voyez plutôt : socles de béton de 1 500 tonnes, mâts de 900 tonnes en acier, nacelles pouvant aller jusqu'à 150 tonnes, aimants des générateurs composés de terres rares... Et surtout, des pâles en plastique et fibre de verre qu'on ne devrait ni avoir à brûler ni à broyer, au risque de dégager des substances toxiques.

On doit, a minima, se poser la question du coût du démantèlement de ces géantes dont la durée de vie est courte (15 ans environ)... Pour les convaincus, il est évalué à 50 000 € par éolienne, dix fois plus pour les antis. À l'heure de Floatgen, la première éolienne française en mer, personne ne sait encore ce que deviendront les déchets toxiques de la transition énergétique, ni si cette rutilante sirène perturbera les courants marins ou ne fera que brasser du vent.

QUELLE EST LA RENTABILITÉ DES PANNEAUX SOLAIRES SUR LES TOITS ?

Réponse : cela dépend... en grande partie du modèle économique choisi ! Il existe trois scénarios possibles : vendre la totalité de la production au réseau électrique, en vendre une partie et consommer l'autre, ou enfin, tout consommer. En fonction, les tarifs d'achat ne sont pas les mêmes, il est donc nécessaire de comparer les offres (des simulations en ligne sont proposées) ! Offres qui elles-mêmes varient en fonction des régions..., certaines étant indéniablement plus ensoleillées que d'autres !

Un devis bien mené (en ayant comparé les prix des différents installateurs) évitera aux particuliers de payer un montant d'investissement plus important que le prix du marché. Mais jouons franc jeu : la vente de la totalité de l'énergie produite, au réseau électrique, reste l'option la plus rentable. Tel installateur vous promet un taux de rentabilité important en autoconsommation ? Des réductions de facture non négligeables ? Un conseil : fuyez.

La réalité de l'autoconsommation est tout autre ; c'est consommer et produire en même temps, instantanément. Que se passe-t-il si vous partez trois semaines en été ? La production est perdue ! D'une part les batteries de stockage existantes ont un prix trop élevé pour être amorties et d'autre part, elles ne permettent pas d'être autonome à moins de très peu consommer.

« Cela ne veut pas dire que la production photovoltaïque n'a pas de sens ! Simplement, elle n'en a pas au niveau individuel », affirme Anne-Claire



Faure, du Centre national d'information et de ressources sur le photovoltaïque (CRPV), cofinancé par l'Ademe. « L'important c'est la rentabilité de l'installation et non le fait d'être déconnecté du réseau me semble-t-il », ajoute Thibaud Grimaldi, chargé de projet photovoltaïque pour la même structure.

Dans le cas d'une revente et d'une autoconsommation, c'est clairement le surplus vendu au réseau qui constitue la part de revenus. Quant aux aides de l'État, le crédit d'impôt n'existe plus aujourd'hui pour les installations classiques (vigilance ! des box couplant thermique et photovoltaïque sont proposées avec promesse de crédit d'impôt à la clé, mais ce matériel a un coût !) ; la principale aide reste le tarif d'achat de l'électricité fixé par l'État. Enfin, la prime à l'autoconsommation est versée uniquement lorsque le surplus est vendu au réseau public de distribution.

Environ 300 000 maisons individuelles utilisent des panneaux photovoltaïques en France aujourd'hui... ■

Le photovoltaïque représente 17 % de la production française d'électricité.



VOITURE ÉLECTRIQUE : LA GRANDE ILLUSION

Si le véhicule électrique à batteries a le grand mérite de réduire considérablement les émissions, il ne s'agit pas pour autant d'une solution miracle aux problèmes de l'automobile. Les risques industriels, le coût des infrastructures et les limites technologiques comme écologiques de la voiture électrique à batteries limitent son intérêt.

Si vous êtes sensibles aux gros titres des médias, aux discours institutionnels et aux slogans publicitaires, vous êtes convaincus que la voiture traditionnelle, celle avec un moteur thermique à essence et plus encore diesel, est condamnée. Elle va disparaître du paysage frappée d'obsolescence rapidement remplacée par des véhicules électriques à batteries, silencieux et propres qui sauveront la planète et la qualité de l'air de nos villes. La Norvège montre l'exemple. Plus de 10 000 voitures électriques neuves y ont été vendues en mars 2019 dont plus de 5 000 Tesla. Cela représente près de 60 % du marché. Seuls problèmes : le premier prix d'une Tesla est de 57 900 euros et la Norvège doit en partie sa prospérité à la vente de pétrole et de gaz au reste du monde...

À tous les niveaux politiques, de l'Union européenne aux maires des grandes villes en passant par les gouverne-

ments, la voiture électrique fait l'unanimité. Elle est promue à grand coup de subventions, de contraintes fiscales et d'interdictions de circulation des véhicules anciens.

Les normes européennes d'émission de CO₂ de plus en plus sévères et des amendes potentiellement considérables pour les constructeurs qui ne les respecteraient pas ont poussé, malgré eux, les groupes automobiles européens à se lancer dans la conversion de leurs gammes et la production en masse de véhicules électriques à batterie. Ils y investissent des dizaines de milliards d'euros.

UNE UTILISATION À GRANDE ÉCHELLE PROBLÉMATIQUE

Tout cela aurait du sens si la voiture électrique à batteries représentait bien l'avancée majeure promise en matière de

pollution et d'émission de CO₂. Si le coût du changement de motorisation des véhicules pour l'État, les collectivités, les industriels et les particuliers était maîtrisé, anticipé et planifié. Si la construction des infrastructures nécessaires à l'utilisation de tels véhicules (bornes, réseau électrique, production électrique) était en cours. Si les constructeurs européens n'étaient pas contraints de jouer leur survie sur un pari risqué. Et enfin, si les consommateurs manifestaient un réel appétit pour l'achat d'un véhicule qui offre des fonctionnalités inférieures à ceux qu'ils possèdent.

Le véhicule électrique à batteries a pour principal avantage d'être sans émissions là où il circule à l'exception des particules fines provenant du frottement des pneumatiques et du freinage. Mais son adoption à grande échelle sera difficile et coûteuse.

Selon un rapport parlementaire en date du 21 mars 2019, la fin des voitures à moteur thermique, essence et diesel, annoncée en juillet 2017 par Nicolas Hulot, alors ministre de l'Environnement, à l'horizon 2040 est « réalisable ». Son coût sera de « plusieurs centaines de milliards d'euros » pour l'État et les collectivités locales.

Le plus gros impact financier sera « la disparition progressive » des taxes sur les produits pétroliers. En 2019, ces taxes devraient rapporter 37,7 milliards d'euros, la quatrième recette de l'État. Parallèlement, « les coûts liés à la mise en place de l'infrastructure nécessaire » pour la recharge des véhicules sont évalués entre 30,7 et 108 milliards d'euros, selon les scénarios étudiés par deux organismes de recherches, le CEA et l'IFP EN.

UN PARI INDUSTRIEL RISQUÉ

Et cela sans parler des conséquences pour l'industrie automobile européenne. Confrontée à des contraintes que n'ont pas ces grands concurrents asiatiques et américains, l'une des rares grandes industries où l'Europe reste encore dominante pourrait considérablement s'affaiblir. Carlos Tavares, le Pdg de PSA parle même de « suicide ».

Les constructeurs européens sont ainsi aujourd'hui totalement dépendants de l'Asie et notamment de la Chine pour la fourniture de batteries qui représentent 40 % de la valeur du véhicule. Cette dépendance stratégique ne sera pas levée demain, même avec le projet d'un « Airbus de la batterie » entre l'Allemagne et la France.

Le pari industriel repose sur de nombreuses inconnues. Tout d'abord, le prix des batteries doit impérativement baisser pour rendre les véhicules accessibles. Des avancées

technologiques majeures sont indispensables pour produire ces mêmes batteries en réduisant les émissions de CO₂, la pollution et l'utilisation de métaux rares tout en améliorant leurs performances. Pour convaincre les acheteurs, ces véhicules doivent offrir une autonomie qui se rapproche de celle d'une voiture thermique. Dans l'attente de ces révolutions technologiques qu'on nous promet depuis des années, le véhicule électrique à batteries risque d'être réservé aux flottes de grandes sociétés et rester un marqueur social, apanage des élites urbaines. Et cela même si les progrès enregistrés au cours des dernières années sont indéniables et si les constructeurs font des efforts considérables pour rendre les véhicules plus performants et plus économiques à l'achat.

Cela ne serait pas la première fois que l'avènement du véhicule électrique est annoncé à tort. Pour mémoire, Carlos Ghosn, alors patron de Renault-Nissan, déclarait en 2010 que le véhicule électrique représenterait 10 % du marché mondial en 2020. La prévision réaliste aujourd'hui est qu'il ne représentera pas l'an prochain plus de 2 % à 3 % du marché mondial...

LE CONSOMMATEUR RECHIGNE

Car en dépit du rouleau compresseur marketing et publicitaire et de l'importance des subventions à l'achat, le consommateur renâcle. En 2018, 25 modèles électriques à batteries en Europe se sont disputés un marché représentant à peine 1,3 % du total des immatriculations. La bataille commerciale s'annonce meurtrière, car l'offre de nouveaux modèles électriques va exploser pour passer en Europe à plus de 300 en 2025. En dépit des aides, ces voitures restent trop chères pour la grande majorité des acheteurs et les contraintes liées à leur utilisation trop lourdes. Le syndrome de la voiture électrique est bien connu, l'angoisse de l'autonomie, le regard vissé sur la jauge de niveau de charge de la batterie.

« Si les constructeurs ne vendent pas assez de véhicules électriques, ils seront ruinés par des amendes », prévient Carlos Tavares. Chaque constructeur risque des sanctions allant jusqu'à un milliard d'euros s'il ne respecte pas l'objectif de 95 grammes de CO₂ par véhicule en moyenne sur sa gamme dès l'an prochain.

Si le consommateur est loin d'être convaincu, c'est aussi parce que les indispensables infrastructures de recharge tardent à couvrir le territoire. Les bornes sont trop peu nombreuses. Personne ne veut assumer le coût de ces infrastructures par ailleurs difficiles à installer, faute de



place, dans les zones urbaines pour des raisons à la fois techniques et juridiques.

À plus long terme, la question de capacité des réseaux électriques et de production va se poser. Recharger un véhicule électrique peut doubler la demande d'un foyer. Si un nombre important de véhicules est chargé en parallèle aux usages conventionnels, les réseaux ne seront pas en mesure de supporter la charge supplémentaire.

DÉPLACER LA POLLUTION

Enfin, avec la voiture électrique à batteries, la pollution automobile ne disparaît pas, elle devient invisible et se déplace en partie. S'il s'agit bien d'un véhicule sans émissions, il ne s'agit pas pour autant d'une voiture propre. Un véhicule électrique demande en moyenne 50 % de plus de CO₂ qu'un véhicule thermique pour être construit. En France, pays peu carboné grâce au nucléaire, ce n'est qu'au bout de 30 à 40 000 kilomètres que la voiture électrique devient plus avantageuse qu'une voiture thermique en matière d'émission de carbone.

Dans des pays plus carbonés comme l'Allemagne, la Chine, les États-Unis, le véhicule électrique rattrape son

retard initial en matière d'émissions au bout de 100 000 à 150 000 kilomètres. Le véhicule électrique peut être un bienfait pour nos villes. Moins pour la planète et... les droits de l'homme.

Les conditions d'extraction de métaux indispensables à la fabrication des batteries comme par exemple le cobalt sont plus que contestables. Deux tiers de la production mondiale de cobalt provient de la République démocratique du Congo où les mines, selon l'Unicef, feraient travailler 40 000 enfants.

En fait, la voiture électrique qui semble la solution technologique et environnementale la plus satisfaisante à terme est celle utilisant l'hydrogène. À condition que l'hydrogène soit fabriqué avec de l'électricité n'émettant pas de CO₂ (renouvelables ou nucléaire), la voiture électrique à hydrogène est parfaitement propre. Elle n'émet que de l'eau. Elle présente aussi les avantages de n'avoir pas à emporter des centaines de kilos de batteries et d'avoir une autonomie équivalente à celle des véhicules à moteur thermiques et un temps de recharge de trois minutes. Difficile de comprendre pourquoi cette technologie n'est pas encore une priorité. ■

E. L.

Au cœur de la voiture électrique : son moteur

**Le rendement d'un moteur électrique est au moins le double de celui d'un moteur thermique.
S'il ne s'est pas imposé depuis son invention il y a un siècle et demi, c'est à cause de la faiblesse des batteries.**

par Michel Alberganti

Les batteries passent souvent pour le composant essentiel de la voiture électrique. Mais c'est bien son moteur qui lui donne son identité et surtout ses étonnantes performances. C'est son moteur électrique de 598 chevaux qui propulse une Tesla Model S P110D de 0 à 100 km/h en 2,4 secondes. Sur cet exercice, elle bat la McLaren P1 (2,8 secondes) équipée pourtant d'un moteur thermique V8 de 916 chevaux. Le roadster de Tesla descend même à 1,9 seconde quand le record du monde est de 1,5 seconde avec une voiture électrique de course, la Grimsel construite par des étudiants suisses.

Au-delà des records souvent assez théoriques, il suffit de se trouver à côté d'une voiture électrique à un feu rouge pour ressentir la différence avec les autres voitures à moteur thermique lors du démarrage. Au volant, cela se traduit par une sensation de puissance assez agréable qui colle au siège.

Comment expliquer une telle caractéristique ? Par le couple de la voiture électrique qui a la propriété d'atteindre son maximum quasi-immédiatement. Le couple mesure la capacité d'accélération. Il s'agit d'une notion simple qui est, pour un mouvement de rotation, ce que la force est pour un mouvement de translation. Un moteur thermique atteint son couple maximum aux alentours de 1 500 à 2 000 tours par minute pour un diesel et plutôt 3 000 tours pour un essence tandis qu'un moteur électrique en dispose dès le premier tour.

SIMPLICITÉ CONTRE COMPLEXITÉ. La différence est liée au fonctionnement de ces deux types de moteurs. Un moteur thermique d'automobile, c'est-à-dire un moteur à

explosion à quatre temps, a, par construction, besoin d'un certain délai pour délivrer sa pleine puissance. Il s'agit d'une véritable usine à gaz. Au sens propre et figuré. Qu'il soit à essence ou Diesel, le moteur doit passer par les quatre temps (admission, compression, combustion-détente, échappement) qui actionnent les pistons et les bielles, font tourner le vilebrequin qui, via un arbre de transmission et une boîte de vitesse, entraînent les roues... Les performances atteintes par les moteurs à explosion sont de véritables exploits mécaniques. Elles permettent de transformer l'énergie du carburant en mouvement de rotation des roues à partir d'une explosion produisant une translation du piston. Difficile de prendre conscience d'une telle complexité lorsque l'on démarre une voiture thermique.

En comparaison, le moteur électrique se révèle d'une simplicité extrême. Il est fondé sur une propriété électromagnétique. L'interaction entre un courant électrique et un champ magnétique engendre une force mécanique. Il suffit de deux composants principaux, le stator et le rotor, alimentés par du courant pour obtenir le moteur. La découverte de ce phénomène d'une simplicité remarquable ne date pas d'hier. Dès 1821, le physicien anglais Michael Faraday obtient une rotation électromagnétique. Dans les années 1830, plusieurs brevets de moteurs électriques sont déposés et, en 1886, c'est Nikola Tesla (voir page 27) qui brevète une première « machine électrique-dynamo » avant d'autres inventions les années suivantes. Étonnamment, il se trouve que les brevets concernant les moteurs à explosion datent exactement de la même époque. 1862 : cycle à quatre temps de Beau de

Rochas développé par Nikolaus Otto en 1867 et Gottlieb Daimler en 1887.

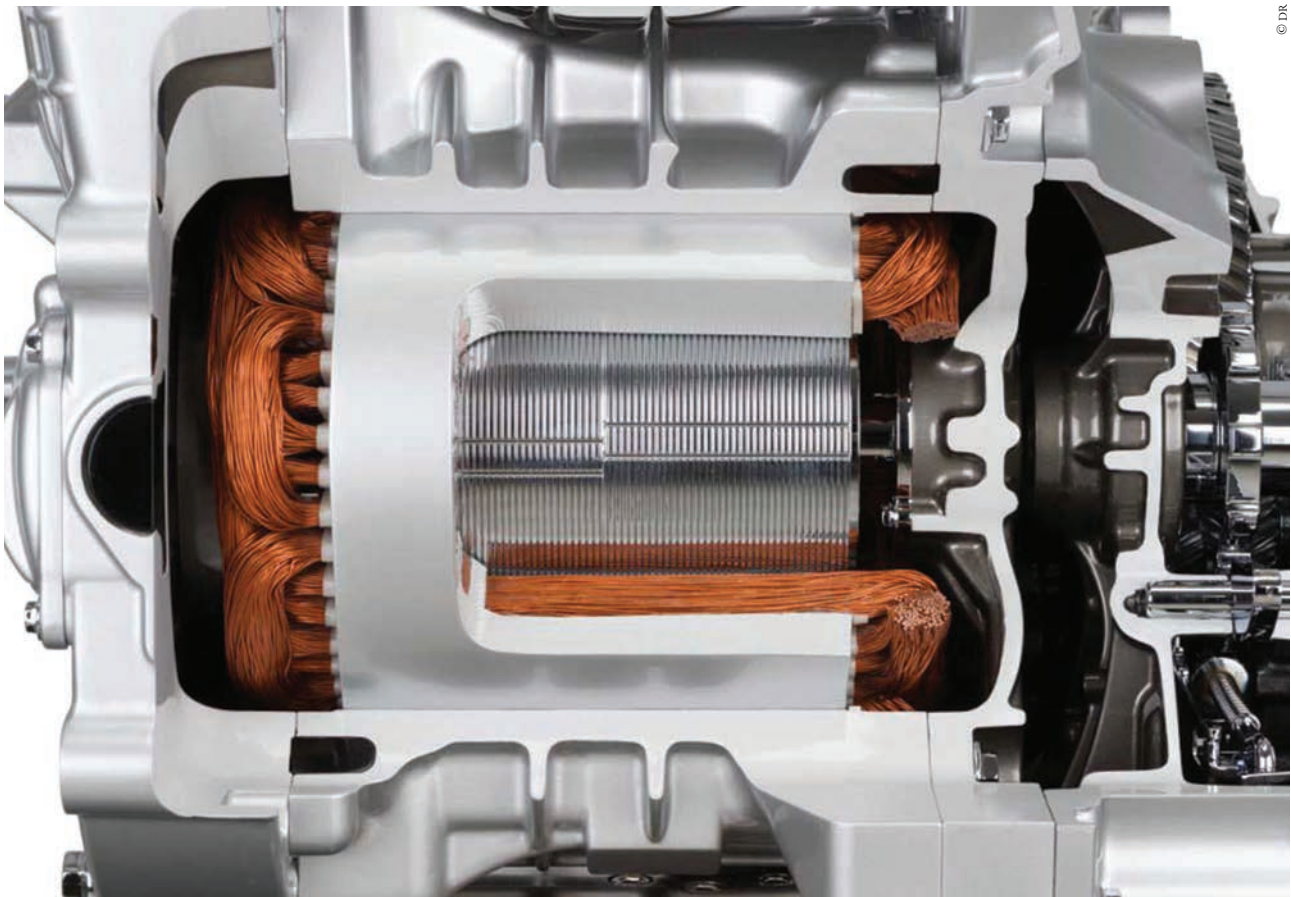
La suprématie du moteur à explosion n'est donc pas liée à son antériorité. Elle ne doit rien, non plus, à ses performances. En effet, le rendement d'un moteur thermique est soumis au fameux cycle de Carnot, publié par Sadi Carnot en 1824. Il varie de 36 % pour un moteur à essence à 42 % pour un moteur diesel. Ces chiffres sont théoriques et liés à la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique. Une partie importante de l'énergie fournie par le carburant est perdue sous forme de chaleur. Dans la pratique, les moteurs à explosion sont pénalisés par la montée en température nécessaire ou les pertes dans la transmission mécanique et leur rendement moyen à la roue varie aux alentours de 20 % à 30 %.

LA FAIBLESSE DES BATTERIES. Côté moteur électrique, le rendement théorique atteint les 90 %. Dans la pratique, en tenant compte des pertes liées à la recharge de la batterie, il se situe entre 55 % et 60 %. Soit environ le double

du rendement d'un moteur thermique. Il s'agit là d'un avantage majeur de l'électricité lié à l'absence de chaleur dans le cycle de production de l'énergie motrice.

À ce stade, on peut s'interroger sur la différence considérable entre les destins de ces deux types de motorisation. Pourquoi l'usine à gaz a-t-elle si longtemps supplantée l'électricité ? Pourquoi des générations d'ingénieurs se sont-elles évertuées à perfectionner un moteur fatalement soumis à la règle du cycle de Carnot ? La réponse est fort simple. Si un tiers des voitures circulant en 1900 étaient électriques, l'industrialisation de la Ford T, en 1908, a changé la donne. Dans le même temps, à partir de 1910, les multiples découvertes de gisements de pétrole ont permis au moteur thermique de s'imposer malgré son faible rendement et la pollution atmosphérique qu'il engendre. Les voitures électriques, elles, n'ont pas réussi à éliminer leur talon d'Achille : les batteries.

Aujourd'hui encore, malgré les progrès considérables apportés par les systèmes nickel-cadmium, nickel-métal hydrure ou lithium-ion, et la réduction sensible des délais de recharge, les batteries restent un point faible majeur des voitures élec-



Le moteur de la Nissan Leaf, la voiture électrique la plus vendue au monde.

triques. Elles freinent son développement malgré des qualités telles que l'absence de pollution et... le silence. Bien entendu, les batteries vont continuer à faire des progrès mais il est peu probable qu'elles pourront offrir rapidement une autonomie de 1 000 km pour un temps de recharge de cinq minutes...

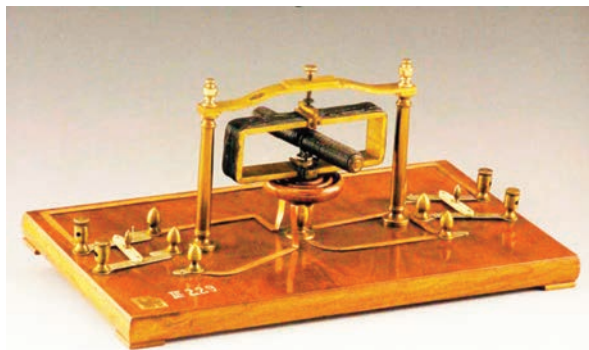
L'HYDROGÈNE CHANGERAIT LA DONNE. Or, et c'est sans doute le paradoxe majeur du véhicule électrique, il est possible de s'affranchir du problème des batteries. À l'époque des premiers brevets sur les moteurs électriques, en 1839, le chimiste allemand Christian Schönbein découvre l'effet pile à combustible. En 1953, l'ingénieur anglais Francis T. Bacon réalise un premier prototype de 1 kW. Le principe repose sur une double réaction chimique : l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur et la réduction d'un oxydant sur l'autre électrode. Le résultat de ces réactions est une production d'électricité. Pour l'obtenir, il suffit de deux combustibles : l'hydrogène (H_2) et l'oxygène (O_2). Le premier doit être produit à partir, par exemple, de la molécule d'eau (H_2O) et le second est contenu dans l'air.

Concrètement, il suffit d'installer un réservoir d'hydrogène sous pression dans une voiture et une pile à combustible pour obtenir une voiture électrique qui se passe de batteries. Pour l'alimenter, on se contente de remplir le réservoir d'hydrogène dans une station-service équipée. L'opération ne dure que quelques minutes comme pour le remplissage d'un réservoir d'essence. Seul point faible de la pile à combustible, le catalyseur de la réaction chimique d'oxydation de l'hydrogène est le platine. D'où un coût élevé. Mais la quantité de platine nécessaire a déjà été fortement réduite. Nul doute que des améliorations pourraient survenir si la pile à combustible était produite massivement.

D'où une question simple : pour quelles raisons le couple moteur électrique-pile à combustible n'apparaît-il pas, aujourd'hui, comme la solution idéale pour la transition énergétique dans le transport ? Difficile de répondre sans penser au rôle du lobby du pétrole. Et l'on peut se prendre à rêver d'un grand plan national ou européen imposant cette solution à la manière dont la France a réussi à développer son électricité nucléaire... ■

Des progrès permanents

Si le principe du moteur électrique remonte au XIX^e siècle, la technologie a tout de même beaucoup progressé au cours des vingt dernières années. Les progrès sont notamment liés à l'utilisation de matériaux magnétiques modernes à base de terres rares qui permettent d'avoir des aimants plus puissants et à des composants électroniques de dernières générations permettant le contrôle des moteurs et des rotations avec une très grande précision.



Le premier moteur électrique (1828).

Sans trop entrer dans les détails, il existe en fait une grande variété de moteurs électriques. On distingue deux grandes familles : les moteurs à courant continu et champ magnétique fixe et les moteurs triphasés à champ magnétique tournant.

Les moteurs à courant continu sont les plus simples et sont produits par millions. Des balais injectent dans un collecteur rotatif un courant qui alimente des bobinages faisant partie d'une pièce tournante, le rotor. On peut facilement contrôler leur vitesse de rotation à l'aide d'une tension électrique donnée. Mais ces moteurs ne sont adaptés qu'aux faibles puissances.

Les moteurs des voitures électriques sont ainsi tous des moteurs triphasés. Dans un moteur triphasé classique dit synchrone, le stator comporte trois bobines orientées à 120 degrés les unes des autres, et alimentées en courant alternatif avec des phases décalées de 120 degrés. L'ensemble induit un champ magnétique tournant qui entraîne le rotor. Enfin, il existe aussi des moteurs triphasés asynchrones ayant des vitesses différentes de stator et de rotor.

Nikola Tesla

a-t-il eu raison trop tôt ?

Né au milieu du XIX^e siècle en Croatie de parents serbes, élève de la prestigieuse École polytechnique de Graz, Nikola Tesla est sans doute l'un de ceux à qui l'humanité doit le plus dans le domaine de l'énergie.

SI L'ON vous demande un jour qui a inventé Internet, vous pouvez répondre sans hésiter : Nikola Tesla ! L'inventeur fou avait imaginé un « système mondial » de télécommunications, qui utilisait la Terre comme conducteur naturel d'ondes !

Un système capable « non seulement [d'assurer] la transmission instantanée et sans fil de signaux, de messages et de caractères vers toutes les régions du globe, mais aussi l'interconnexion de tous les systèmes téléphoniques et télégraphiques ainsi que des autres stations de données, sans qu'il soit nécessaire de modifier leur équipement existant. Il permet par exemple à un abonné du téléphone de communiquer avec n'importe quel autre abonné de la Terre. Un récepteur bon marché, pas plus grand qu'une montre, lui permettra d'écouter, sur terre comme sur mer, la diffusion d'un discours ou d'une musique transmis ailleurs, quelle que soit la distance. » (Nikola Tesla, *Mes inventions*, 1919). »

LA TSF, LE COURANT ALTERNATIF, C'EST LUI. À défaut d'avoir pu mener jusqu'au bout son projet de réseau mondial de télécommunications, il est aussi le véritable père de la TSF, la « transmission sans fil », à tort attribuée à Marconi. On lui doit aussi des découvertes utilisées encore aujourd'hui dans nombre d'applications, civiles comme militaires. Forcément : il a déposé plus de 900 brevets au cours de sa carrière !

Mais c'est du côté de l'énergie que Tesla s'est le plus dépensé. Seul contre tous, il défend le courant alternatif dans



un monde qui découvre l'électricité mais ne jure que par le courant continu. Lors d'un passage éclair à Strasbourg, il invente le premier moteur à induction à courant alternatif.

Mais c'est surtout pour transporter l'électricité que le choix du courant alternatif, défendu par Tesla contre son ex-mentor Thomas Edison, se révèle payant. Le courant alternatif diminue considérablement les pertes en ligne mais aussi les risques d'échauffement, et donc d'incendie. Les nombreuses découvertes et brevets déposés par Tesla permettront à l'américain Westinghouse de déployer les premiers réseaux de transport de courant alternatif aux États-Unis.

Tesla travailla même sur un projet de transmission d'énergie sans fil, en construisant une tour gigantesque, surmontée d'une immense boule de cuivre à Long Island, au large de New York. Une tour dont il disait qu'elle pouvait se transformer en arme de destruction massive en cas de besoin car elle pouvait émettre un « rayon de la mort ». Un krach boursier le contraignit à abandonner son projet.

Aujourd'hui, plusieurs statues de Tesla rendent hommage à son génie, notamment aux chutes du Niagara sur lesquelles il installa le premier barrage hydroélectrique. Le 10 juillet, jour de sa naissance, a été décrété « Nikola Tesla Day » aux États-Unis.

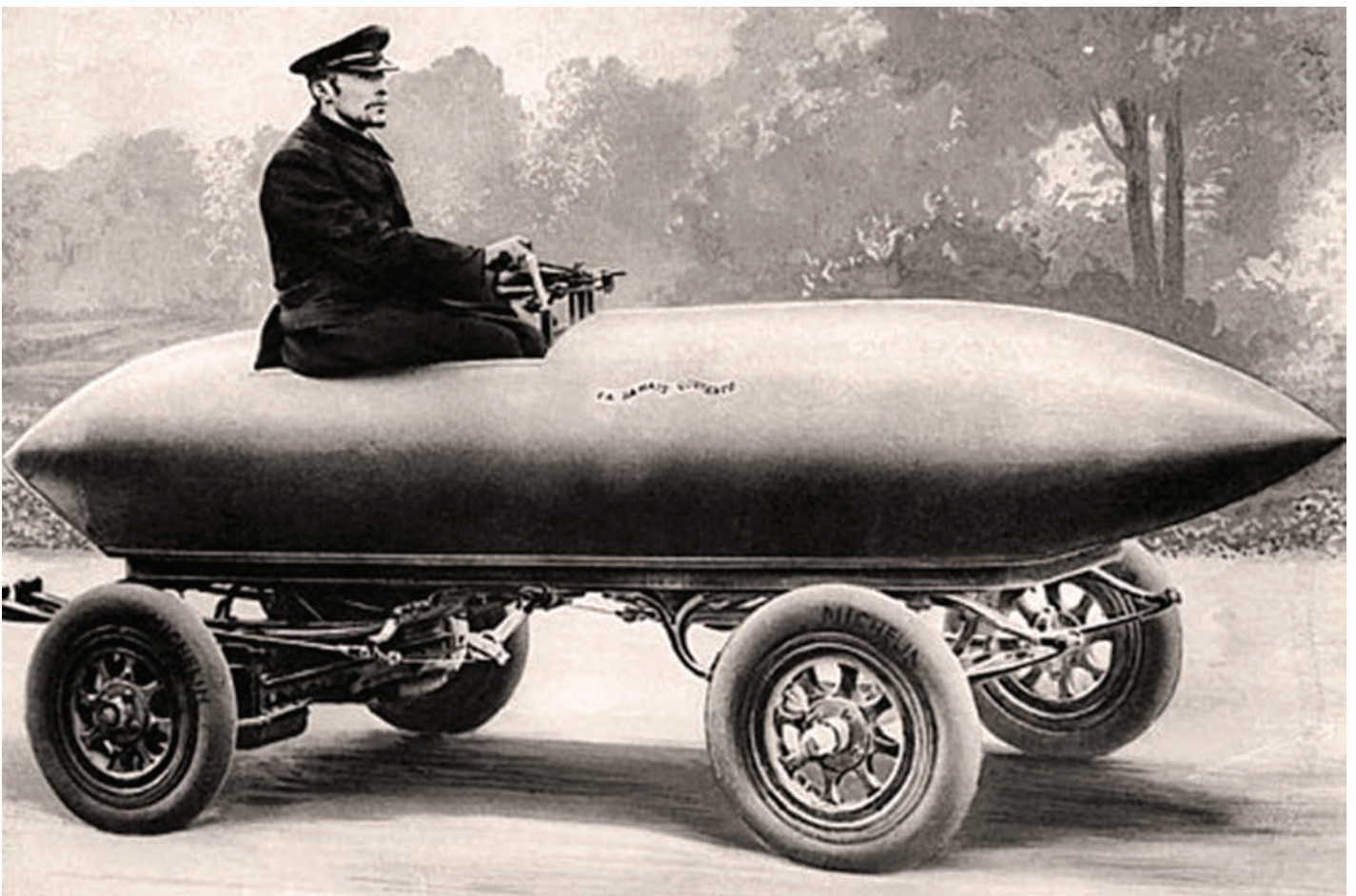
Comme bien d'autres génies, il mourut seul et ruiné, dans l'indifférence générale, dans une chambre d'hôtel miteuse de New York, le 7 janvier 1943, à l'âge de 87 ans... ■

Jean-Baptiste Giraud

En 1899, « La Jamais Contente » battait le record de vitesse

par Thibaud Larue

**La première voiture à dépasser
les 100 kilomètres à l'heure, il y a 120 ans,
avait un moteur électrique.**



« La Jamais Contente », conduite en avril 1899 par son inventeur, Camille Jenatton.

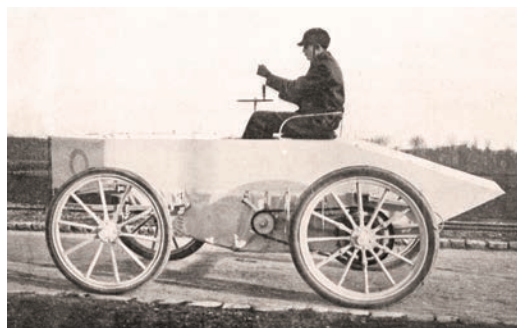
Le comte Chasseloup-Laubat contre Camille Jenatzy. La France contre la Belgique. La « Jeantaud » contre « La Jamais Contente ». Une confrontation en avance sur son temps, dans une catégorie bien à part : les records de vitesse.

Si les premières voitures à essence sont sorties des esprits de deux Allemands, Carl Benz et Gottlieb Daimler, c'est la France qui a lancé les compétitions automobiles sur les belles routes napoléoniennes. Dès 1894, la course Paris-Rouen a été le théâtre d'un affrontement entre voitures électriques (plus puissantes), à vapeur (plus rapides) et à combustion interne (plus endurantes). Puis, en 1895, la course Paris-Bordeaux entre dans l'histoire comme la première vraie grande compétition automobile. Parmi les protagonistes, on trouve un certain Chasseloup-Laubat, l'homme qui a créé l'Automobile Club de France, marquis de son état et également constructeur d'un véhicule électrique avec un certain M. Janteaud. Au volant, son jeune frère Gaston, un comte, qui après avoir couru le Paris-Bordeaux dans cette lourde carriole de 1 200 kilos se lance dans les records de vitesse.

Face à ce camp français aguerri, Camille Jenatzy, un inventeur belge spécialiste du moteur électrique. C'est un journal belge qui provoque le duel, en chroniquant le premier record de vitesse daté de décembre 1898 : 63,158 km/h pour la Jeantaud. L'électricité a vaincu 20 concurrents à vapeur et à pétrole.

Jenatzy part à la conquête du record. L'heure du fameux duel a sonné. Le 17 janvier 1899, les adversaires se rencontrent sur une portion bien droite d'une route à Achères, non loin de Paris. Jenatzy débarque avec une automobile très différente de la Jeantaud. Si cette dernière a le look classique des voitures de l'époque, le bolide belge détonne. Il est plus allongé, avec des roues plus hautes. Il fait 40 chevaux, avec un moteur entraînant les roues arrière par une chaîne. Le premier kilomètre est avalé, le deuxième aussi, puis le bolide s'arrête, à cause d'un problème de batterie. Pas de quoi gâcher la joie du Belge, applaudi par les chronométrateurs. Le record est battu : 66,645 km/h. Le comte Chasseloup-Laubat n'entend pas en rester là et repart immédiatement à l'assaut de son dû. Sa Jeantaud tombe également en panne mais après un impressionnant 70,297 km/h. Nouveau record. La compétition ne s'arrête plus. Le Belge reste dans la région parisienne et revient dix jours plus tard avec un moteur plus puissant. Record amené cette fois à 80,321 km/h. Le 4 mars 1899, au tour du comte français de s'en emparer à nouveau : 93,724 km/h.

Camille Jenatzy sait que le prochain exploit, franchir la barre des 100 km/h, passe par la mise au point d'une nouvelle machine, très différente de la première. L'empattement est allongé, la carrosserie redessinée, réduisant la surface de contact à l'air et donnant au véhicule des airs de torpille terrestre. Le pilote a bien du mal à s'asseoir dans cet étrange engin et dépasse presque entièrement de l'habitacle, derrière un guidon cranté. Des bobines sont placées le plus bas possible et font tourner directement – sans chaînes – les roues arrière à 900 tours/min, via deux moteurs électriques de 68 chevaux. Construite par la Compagnie internationale des transports électriques Jenatzy, cette automobile évoluée est baptisée du refus d'accepter la défaite : « La Jamais



La « Jeantot », du comte Chasseloup-Laubat, adversaire malheureux de « La Jamais Contente ».

© DR

Contente ». À moins que ce surnom ne colle en fait au tempérament rugueux de l'épouse de Camille Jenatzy... Légende ou réalité ? En tout cas, « La Jamais Contente » a les même initiales que son inventeur.

Retour à Achères. De fortes pluies ont endommagé la route officielle et Camille Jenatzy demande le décalage du tronçon chronométré. Il découvre, une fois en plein effort, qu'un des trois chronométrateurs n'était pas au bon endroit. Le nouveau record ne peut pas être validé. Comble du malheur, il ne peut pas repartir à l'assaut, la batterie étant à plat. Dire que ce jour-là est en plus... un 1^{er} avril, 1899.

Vingt-huit jours plus tard, retour dans l'arène. Son rival français est présent, mais sans sa monture. Il est dans le public. « La Jamais Contente » s'élance et pulvérise le record. Elle devient la première voiture à passer la barre des 100 km/h : 105,850 ! Le comte Chasseloup-Laubat se lève. Va-t-il relever le défi ? Il se dirige vers son concurrent et lui serre la main. « *Le plus rapide a gagné* », lui dit-il. Le champagne arrose la fin de leur duel. Pendant encore trois ans, « La Jamais Contente » restera au sommet de la vitesse. Avant qu'une voiture à vapeur ne la détrône, puisqu'un moteur à combustion inaugure un règne de plus d'un siècle. ■

Batteries : la révolution technologique qui ne vient pas

par Barthélemy Dont

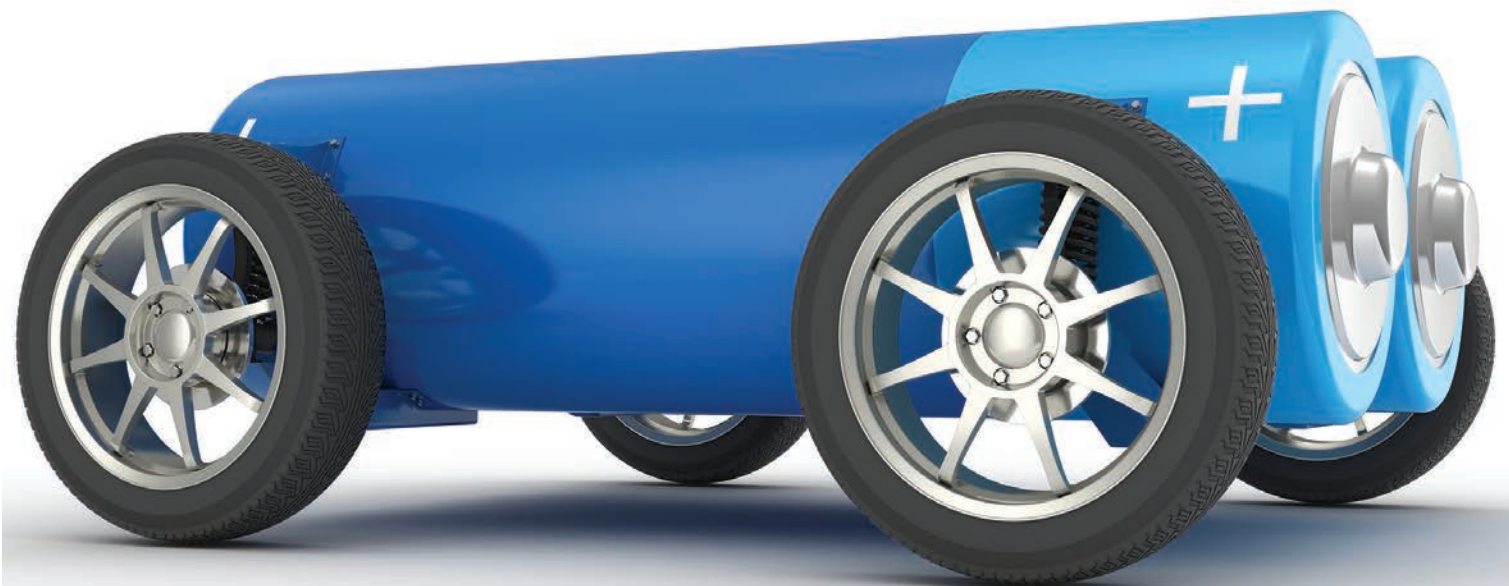
La batterie conditionne à la fois la performance, l'autonomie, la rapidité de recharge et la durabilité d'un véhicule électrique. Mais il faudra attendre encore pour que les innovations promises se concrétisent.

LES VOITURES électriques vont se multiplier sur nos routes et dans les concessions. Des centaines de modèles différents vont voir le jour, des citadines aux crossover en passant par les voitures de sport, chacune avec un prix et un design différent. Le cœur de leur fonctionnement en revanche, est identique. Elles utilisent toutes le même modèle de batteries : les lithium-ion.

La batterie lithium-ion ou «li-ion» est une batterie électrochimique qui consiste en deux électrodes plongées dans un liquide appelé électrolyte. Petites, légères et nécessitant peu d'entretien, ce sont à ce jour les plus avancées

technologiquement. Elles équipent les véhicules mais aussi les smartphones, les ordinateurs et nombre de produits électroniques.

IMPÉRIALISME CHINOIS. Ces batteries présentent toutefois plusieurs inconvénients. En premier lieu, leur provenance. La Chine, qui entend s'imposer comme leader mondial de la voiture électrique, est de loin le premier exportateur grâce à sa stratégie agressive de domination du marché. Les firmes chinoises de fabrications de batteries (BYD et Contemporary Amperex Technology notamment)



profitent d'un marché intérieur imposant subventionné massivement par l'État pour écraser la concurrence.

La Chine a notamment pris une avance importante dans l'exploitation des minéraux rares indispensables à la fabrication des batteries. Dans sa longue enquête *La guerre des métaux rares*, Guillaume Pitron explique: « *La méthode a été celle du rouleau compresseur : [...] la Chine a multiplié les ouvertures de mines sur son territoire, lancé le chantier d'une «seconde route de la soie [...] et mené des opérations de fusion et acquisitions d'entreprises dans le secteur des produits de base.* » Si bien que le pays est devenu « *bel et bien un faiseur de ces marchés* ».

Et les seuls vrais concurrents des Chinois sont d'autres puissances asiatiques, la Corée du Sud (LG Chem, SK Group) et le Japon (Panasonic). Cela pose un véritable problème aux constructeurs automobiles européens et américains qui sont dépendants pour la partie la plus importante et la plus valorisée des véhicules électriques de fournisseurs asiatiques.

Ainsi Tesla a bien bâti sur le sol américain une immense usine de batterie, la Gigafactory. Mais c'est le japonais Panasonic qui y gère la production.

Tardivement, la France et l'Allemagne viennent de se réveiller et ont promis d'investir respectivement 700 millions d'euros et un milliard d'euros d'ici à 2022 dans un « Airbus des batteries ». Une usine devrait voir le jour dans chaque pays. Mais le retard s'annonce difficile à combler.

RECYCLAGE, LA POLITIQUE DE L'AUTRUCHE.

Les batteries posent d'autres problèmes. Elles ne sont pas éternelles. Leurs composants s'usent et finissent par lâcher et leurs performances baissent avec le temps et le nombre de recharges. Encore plus vite, si les recharges sont dites rapides. Mais il n'existe aucune filière industrielle de recyclage de batteries qui contiennent pourtant des métaux très polluants et dangereux pour l'environnement. Il n'existe pas d'usines de recyclage. Comme il existe à ce jour trop peu de batteries qui nécessitent d'être recyclées, la question est laissée en suspens. Aujourd'hui, produire de nouvelles batteries est bien plus profitable que de chercher à les réutiliser. À terme, cela pourrait se traduire par une accumulation de déchets toxiques.

PARIER SUR L'INNOVATION. L'espoir, c'est la technologie qui remplacera le li-ion. La presse annonce à intervalles réguliers et depuis des années de nouvelles technologies au potentiel révolutionnaire. L'Arlésienne des véhicules électriques.

Récemment, ce sont les batteries au fluorure qui ont attiré

l'attention. Elles sont dix fois plus denses en énergie que les li-ion. Elles ont une meilleure autonomie et sont moins polluantes. Les lithium-air pèseraient quant à elles cinq fois moins lourd, en plus de leurs performances supérieures. Une autre alternative serait le sodium-ion, le sodium ayant l'immense avantage d'être en quantité quasi infinie.

Une autre technologie attendue est la batterie « solide ». L'électrolyte liquide est remplacée par du verre ou du gel, ce qui permet de se débarrasser du liquide polluant et dangereux, tout en améliorant autonomie et durée de vie.

Le problème reste que la plupart de ces technologies sont encore à l'état de prototype ou en développement. Pour Marion Perrin, docteur en électrochimie spécialisée dans le stockage d'énergie, il y a peu de chance que ces technologies balayent le lithium-ion. « *Pour ce genre de technologie, le time-to-market est d'à peu près 15 ans. C'est-à-dire qu'à partir du*

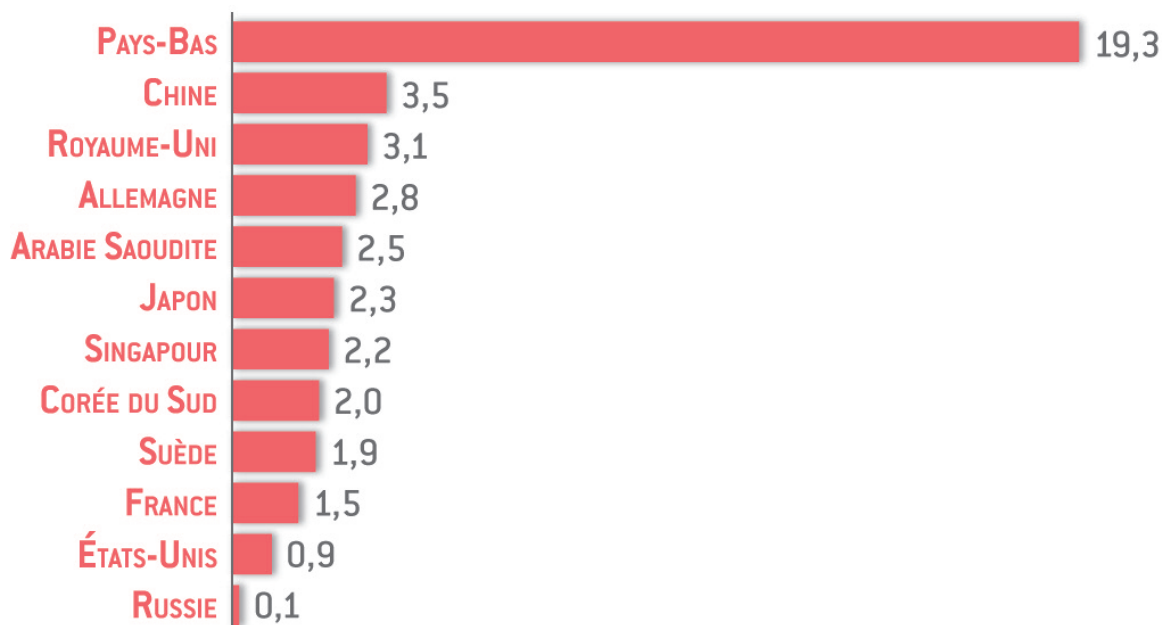


La Chine produit les trois-quarts des batteries dans le monde.

BORNES POUR VOITURES ÉLECTRIQUES, LA FRANCE À LA TRAÎNE

Nombre de bornes de recharge pour voitures électriques aux 100 km

(Source : Agence nationale de l'énergie)



Source : Agence internationale de l'énergie.

moment où on arrive à en faire fonctionner une en laboratoire, il faut attendre 15 ans avant qu'elle soit industriellement disponible sur le marché. »

Et d'ici là, « le lithium-ion va connaître des améliorations incrémentales », mieux vaut, donc, investir sur celles-ci. Par exemple, les batteries d'aujourd'hui nécessitent déjà considérablement moins de cobalt qu'avant.

LA BATTERIE DU FUTUR. Il faudra donc attendre de nombreuses années avant de faire une croix sur le lithium-ion. Pour certains constructeurs, les alternatives sont trop incertaines pour les considérer sérieusement. Volkswagen a ainsi décidé de parier sur le lithium à long terme, allant jusqu'à le surnommer « l'élément irremplaçable de l'ère électrique... Le lithium est pour l'instant considéré comme un porteur de charge sans rival, et qui n'est pas remplaçable dans un avenir prévisible ».

Un avis partagé par BMW. « La production des cellules des batteries électriques n'est pas un sujet de dimension stratégique », explique Nicolas Peter, membre du directoire

de l'entreprise à La Tribune. « Personne n'a encore défini la technologie qui va dominer l'industrie d'ici 7 à 8 ans [...] il y a plus de sens stratégiquement parlant de travailler avec des fournisseurs asiatiques, d'autant que le marché chinois est le premier marché mondial de la voiture électrique. »

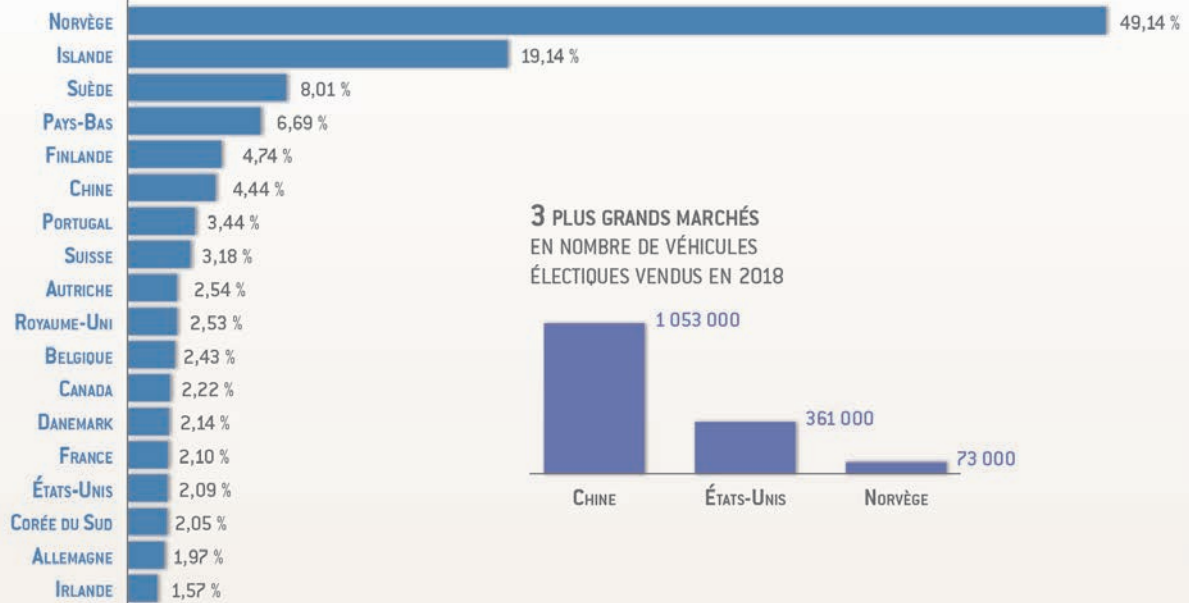
Les Français sont plus circonspects. Thierry Bolloré et Carlos Tavares, respectivement patrons des groupes Renault et PSA, s'accordent sur le fait que les technologies de remplacement doivent rester une priorité. « L'erreur serait de se lancer sur une technologie dont l'amortissement se fera sur 5 ou 7 ans. Il faut viser autre chose que le lithium-ion », explique Thierry Bolloré. Cela offrirait aussi l'opportunité de regagner la maîtrise de la production.

Mais Renault comme PSA sont conscients qu'une éventuelle nouvelle génération de batteries n'émergera pas avant une dizaine d'années. Le lithium-ion devrait garder l'avantage longtemps. Pour Marion Perrin, si une technologie véritablement différente doit s'imposer, c'est plutôt du côté des piles à combustible et de l'hydrogène qu'il faut se tourner. Si c'était le cas, le véhicule électrique à batteries pourrait avoir été seulement une technologie de transition. ■

L'Europe du Nord donne l'exemple

MOBILITÉ ÉLECTRIQUE PAR PAYS

PAYS AVEC LA PLUS GRANDE PART DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES RECHARGEABLES
DANS LES VENTES DE VOITURES PARTICULIÈRES NEUVES EN 2018

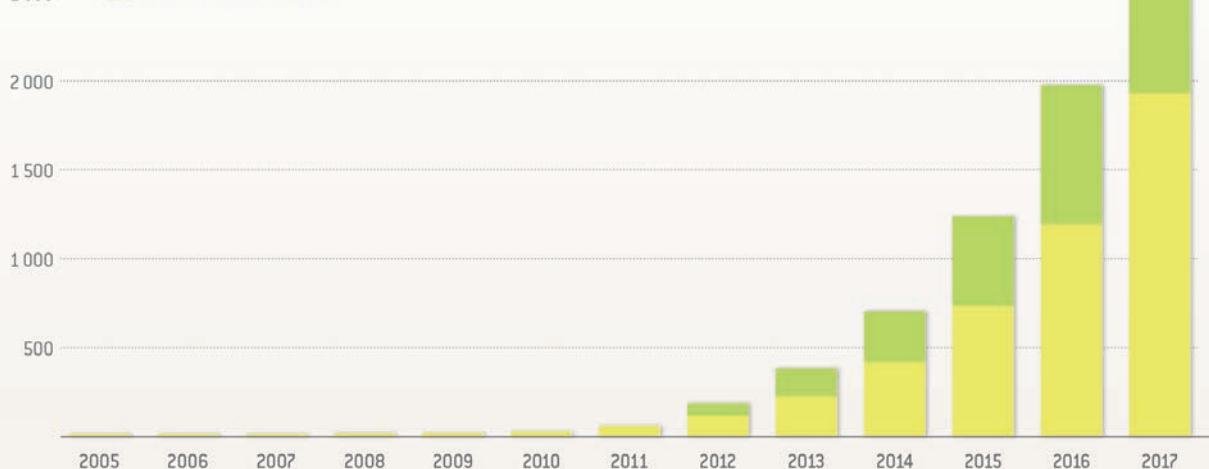


Le basculement vers l'électrique et l'hybride

En milliers

STOCK DE VOITURES ÉLECTRIQUES DANS LE MONDE PAR ANNÉE ET TYPE DE MOTEUR

VOITURE À BATTERIE ÉLECTRIQUE
VOITURE HYBRIDE RECHARGEABLE



Faire le plein : une question épineuse

par Catherine Bernard

**Plus les voitures électriques se substituent à leur équivalent thermique,
plus il devient crucial de pouvoir faire facilement le plein d'électrons.
Le réseau français est disparate et pas toujours adapté.**



Près de 26 000 points de recharge accessibles au public : si l'on s'en tient aux chiffres, l'hexagone semble plutôt accueillant pour les conducteurs de véhicules électriques. « Nous comptons une borne de recharge publique pour sept véhicules, quand l'Union européenne en recommande une pour dix », explique Joseph Beretta, président de l'Avere, l'Association nationale pour le développement de la mobilité électrique.

Points de recharge inaccessibles, ou occupés par des véhicules « ventouses » accrochés à leur prise comme une moule à son bouchot, stations parfois défaillantes : faire son plein d'électrons réserve pourtant son lot d'adrénaline à qui-conque s'aventure hors de ses sentiers électrifiés habituels.

INVESTISSEMENTS PUBLICS. La puissance publique, pourtant, n'a pas rechigné à investir. Entre 2013 et 2016, l'État a dépensé, dans le cadre des investissements d'avenir, presque 63 millions d'euros pour soutenir 82 projets de bornes de recharge venant de collectivités locales et de syndicats intercommunaux. Près de 15 000 points de recharge ont ainsi vu le jour.

« Résultat : nous n'avons plus de zones vraiment blanches. Mais le maillage reste inégal », poursuit Joseph Beretta. La visite de certaines zones du Massif central, du Grand Est ou de Bourgogne-Franche-Comté peut se révéler périlleuse pour le conducteur de voiture électrique.

Autre bémol : les emplacements n'ont pas toujours été judicieusement choisis. « Près de 60 % des recharges se font sur un quart des points de recharge. Le quart le plus délaissé ne réalise que 7,2 % des pleins électriques ! », constate Jérôme Almosni, chef du service transports et mobilités de l'Ademe.

UN MARCHÉ FRAGMENTÉ. Conclusion de Joseph Beretta : « Désormais, il faut adapter la recharge aux usages : autrement dit, l'installer au cœur des villes et dans des hubs de mobilité situés dans les zones commerciales et le long des grands axes. »

Problème : le marché français reste très fragmenté. « Sociétés de parkings, chaînes d'hypermarchés, distributeurs pétroliers, concessions automobiles, hôtels-restaurants, collectivités locales : l'on compte plus d'une centaine d'opérateurs », assure Bruno Lebrun, président de Gireve, qui tente de favoriser l'interopérabilité des stations (voir encadré). Ici, pas ou peu de chaînes de distribution à l'échelle nationale, comme pour l'essence ou le diesel.

À quelques exceptions près : Izivia (groupe EDF) gère le réseau Corri-Door, autrement dit, les 200 bornes installées tous les 80 km du réseau autoroutier français. L'hexagone compte aussi quelque 70 superchargeurs Tesla. Quant à Ionity, la joint-venture entre les constructeurs Volkswagen, Daimler, BMW Group et Ford Motor Company, elle vient d'ouvrir ses 8 premières stations de recharge ultra-rapides françaises¹.

Nul doute que le marché ne soit amené à se structurer. « Mais sans doute faudrait-il qu'un organisme d'État, régional par exemple, organise le déploiement », estime Joseph Beretta. En attendant le développement de technologies de recharge alternatives : à Satory, dans les Yvelines, le centre de recherche Vedecom a équipé une portion de route de bobines électriques, pour permettre la recharge en plein roulage, par induction. Une technologie prometteuse. Mais encore lointaine... ■

¹ Réseau au 15 avril 2019 selon Ionity.eu.

QUAND L'ÉLECTRON FAIT SON ROAMING

« Notre métier ? Faire le roaming des points de recharge électrique. Autrement dit, autoriser les conducteurs à faire leur recharge n'importe où, avec un abonnement unique. Exactement comme en matière de téléphonie mobile. » Si la mission de Bruno Lebrun, président de Gireve, est simple à expliquer, elle se révèle délicate à mettre en œuvre. Fondée en 2013, Gireve propose aux opérateurs de recharge de rejoindre sa plate-forme logicielle. Ainsi, toutes les transactions réalisées sur leurs bornes lui remontent automatiquement. Le conducteur ne reçoit, en fin de mois qu'une facture, éditée par son opérateur (Izivia par exemple) ou le constructeur de son véhicule (tel Renault). Actuellement, Gireve connecte près de 160 réseaux en Europe et 45 000 points de charge (dont environ 16 000 en France).



CHAdemo, Combo ou Tesla ?

Avant de planifier son itinéraire, mieux vaut vérifier le standard des bornes de recharge rapide situées sur son itinéraire. Il en existe trois types : tout d'abord, le standard européen, de type 2 en courant alternatif, et baptisé CCS Combo en courant continu. Ensuite, le CHAdemo (courant continu) développé par les

constructeurs japonais. Quant aux Tesla, elles se rechargent exclusivement sur les superchargeurs de la marque. Un décret de début 2017 impose que les bornes rapides soient toutes tri-standard (type2, CCS Combo, CHAdemo). Il n'est cependant pas rétroactif. Impossible également de contraindre Tesla à changer sa technologie.

La recharge, pour quelle empreinte carbone ?

Le droit à la prise, un enjeu pour le décollage du marché

Si la France compte 25 000 points de recharge accessibles au public, environ 80 % de la recharge se fait à domicile, dans plus de 100 000 points de recharge privés. Un mode de recharge peu impactant pour le réseau électrique, et compatible avec l'usage quotidien du véhicule. Charger son véhicule lorsque l'on habite en immeuble collectif n'a cependant rien de l'évidence. Depuis 2014, l'occupant d'un logement collectif peut certes demander l'exercice d'un droit à la prise : autrement dit, le droit d'installer une borne de recharge à ses frais. Mais outre que l'opération peut se révéler coûteuse, « le processus se révèle si long et complexe qu'il peut nuire à l'acte d'achat », estime Joseph Beretta.

L'équation est simple : la voiture électrique n'est (relativement) « propre » que si elle utilise une électricité décarbonée, et si la recharge ne se fait pas aux heures de pointe : il faudrait alors, non seulement augmenter la capacité des lignes électriques, mais aussi faire tourner de polluantes centrales à gaz, ou d'importer une électricité carbonée venant de chez nos voisins.

D'où l'importance de piloter la recharge : de la même façon que les chauffeurs ne se mettent, généralement, en route qu'aux heures creuses, les bornes ne s'activent alors qu'au moment judicieux pour le réseau. Dans ces conditions, nul besoin de construire de nouvelles tranches nucléaires, ni même de nouvelles lignes à haute tension, promet RTE, le gestionnaire du réseau de transport de l'électricité.

Mais *quid* de la multiplication des bornes à très grande puissance – 350 kW par exemple pour le réseau Ionity-le long des grands axes ? Jérôme Almosni, à l'Ademe, est réservé : « Cela crée un enjeu de puissance du réseau », estime-t-il. Et l'on pourrait voir apparaître de nouvelles heures de pointe, par exemple lors des grandes migrations estivales...



La Norvège, un exemple difficile à suivre

par Catherine Bernard



La Tesla modèle 3.

© DR

EN MARS 2019, les véhicules électriques ont atteint une proportion record des nouvelles immatriculations en Norvège : 58,4 % ! Dans ce pays de tout juste 5,2 millions d'habitants, la Tesla 3 s'est ainsi écoulée à plus de 5 000 exemplaires. Aux États-Unis, les ventes n'ont pas dépassé le double !

Depuis quelques années, le moteur électrique emballe les Norvégiens. Il devrait équiper 50 % des voitures vendues en 2019, après 37 % en 2018. Au point que les véhicules « zéro émission » (électrique et hydrogène) représentent déjà 7,9 % du parc roulant.

Les propriétaires de Tesla, Nissan Leaf ou Renault Zoé, sont, il est vrai, particulièrement chouchoutés : depuis presque vingt ans, ils sont exemptés de TVA, de frais d'immatriculation, de vignette annuelle et de péages d'autoroute, empruntent gratuitement les ferrys et se garent sans frais dans les parkings municipaux. Ils peuvent même circuler sur les voies de bus... qui risquent désormais l'embouteillage !

Car ce succès met le pays sous pression : « *En 2025, seuls les véhicules sans émission locale pourront encore être vendus* », explique Henrick Harbroe, ministre conseiller de l'ambassade de Norvège en France. « *La Norvège comptera alors plus d'un million de véhicules électriques !* », anticipe Christina Bu, présidente de la puis-

sante association norvégienne des véhicules électriques.

Le parc actuel des stations de recharge ouvertes au public n'y suffira pas : avec quelque 11 000 bornes, l'on compte déjà 18 véhicules par points de charge, quand la Commission européenne en recommande dix. « *58 % de nos adhérents se plaignent d'avoir dû, occasionnellement au moins, faire la queue* », poursuit Christina Bu.

Or, les véhicules électriques ne sont plus ici des véhicules d'appoint : ils roulent en moyenne 12 000 km par an, soit à peine moins que leurs équivalents diesel (environ 14 000) et plus que les modèles essence (quelque 9 000 km). Il devient urgent de construire un réseau national de stations de recharge rapide. L'allemand Ionity a inauguré, début avril, un réseau de recharge ultra-rapide le long de la route Oslo-Stavanger. « *Mais les zones moins denses risquent d'être délaissées* », craint Christina Bu. Elle est également consciente que les privilèges dont jouissent les véhicules électriques devront un jour disparaître. Car, remarque laconiquement Henrick Harbroe, « *il faut bien entretenir les routes...* » ■

Le royaume scandinave affiche la plus grande densité mondiale de véhicules électriques. Au point d'être dépassé par ce succès.

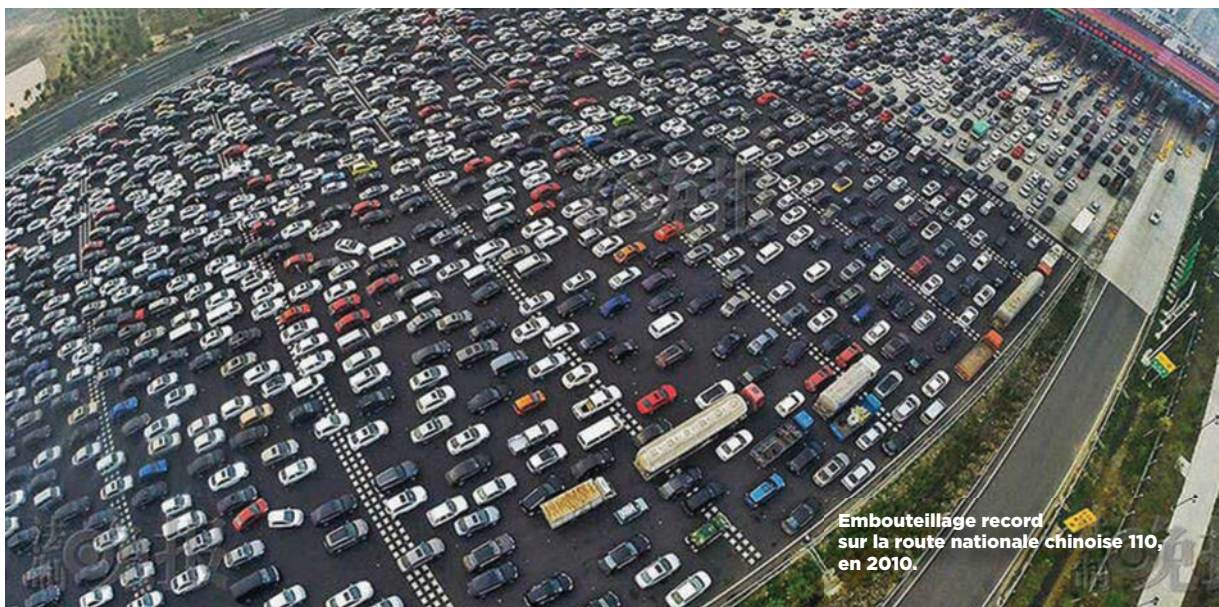
En Chine, les consommateurs se rebiffent

La Chine est devenue l'usine du monde. Au point, selon les experts, d'utiliser environ 50 % de l'aluminium, du fer et du cuivre consommés chaque année sur terre. Dans le domaine de la voiture électrique, la Chine écrase aussi la concurrence... Elle possède 76 % des capacités de production des batteries lithium-ion. Elle a enregistré au dernier trimestre de 2018 plus de 60 % des ventes dans le monde de véhicules électriques pour un total de 1,1 million de voitures commercialisées sur l'ensemble de l'année. Toujours à la fin de l'année dernière, elle avait installé sur son territoire la moitié des infrastructures de recharge des bornes de la planète.

Mais il est loin d'être sûr que la marche triomphale de la voiture électrique en Chine continue à ce rythme. D'abord, le gouvernement a annoncé la fin des aides à l'achat de ces véhicules d'ici 2020. Il entend maintenant encourager selon ses propres termes les constructeurs à miser sur l'innovation et la qualité de leurs produits pour les vendre. Les aides seront déjà réduites de moitié dans les prochains mois et ramenées de 50 000 à 25 000

yuan (3 333 €) par véhicule. Par ailleurs, pour obtenir une subvention à l'achat, un véhicule électrique devra avoir une autonomie d'au moins 250 kilomètres contre 150 kilomètres précédemment. Par ailleurs, les autorités locales devront supprimer leurs propres subventions qui représentaient environ 10 000 yuan (1 333 €) par véhicule.

Autre problème à venir pour la voiture électrique en Chine, les consommateurs sont très loin d'être satisfaits. Selon une étude qui circule sur internet dans le pays, près de 70 % des acheteurs regrettent d'avoir choisi un véhicule électrique. Ils dénoncent pêle-mêle leur faible qualité, une autonomie annoncée trompeuse et des doutes grandissants sur leur sécurité. Les courts-circuits sont fréquents et des dizaines de véhicules auraient été victimes de combustions spontanées. L'an dernier, sur les 1,1 million de véhicules électriques vendus, 137 000 ont été rappelés par les constructeurs pour des défauts majeurs... et plus de 23 000 avaient déjà été rappelés sur les deux premiers mois de l'année 2019. La stratégie consistant à privilégier la quantité sur la qualité n'est plus tenable.



Embouteillage record sur la route nationale chinoise 110, en 2010.

© DR



« La voiture électrique est victime des préjugés »

Frédéric Pereira est un spécialiste de la vente automobile.

Il a exercé d'importantes fonctions dans de grands réseaux de concessionnaires, et travaillé tout au long de sa carrière pour un grand nombre de marques : Volkswagen, Audi, Seat, BMW, Mini, Jaguar, Land Rover en passant par Bentley ou Infiniti.

Propos recueillis par **Éric Leser**

► Vous avez décidé il y a quelques mois de lancer un réseau spécifique de vente de voitures d'occasion électriques et hybrides. Pourtant, les chiffres montrent que le consommateur français

renâcle à passer à la voiture électrique. Cette situation va-t-elle changer ?

► Je pense que les mentalités commencent à évoluer face au véhicule électrique. Mais cela prend du temps. La

voiture électrique est victime des préjugés. Le principal problème à mon sens est le manque d'informations.

Il y a une partie des automobilistes qui par principe ne veut pas entendre parler de l'électrique et d'autres qui ne croient pas à l'utilité écologique de

l'électrique. Il y a aussi un nombre important d'automobilistes qui considèrent qu'ils n'ont pas les moyens de s'y intéresser. C'est justement pour cela que j'ai lancé Green Car. Le prix moyen des véhicules d'occasion que nous commercialisons est de 12 000 euros et nous vendons des Renault Zoe d'occasion de première génération à 6 000 euros sans les aides. Cela change beaucoup de choses. Avec un coût de recharge de 2 euros pour 100 kilomètres et un coût d'entretien extrêmement limité, c'est imbattable économiquement.

Mais nous devons avant tout faire de la pédagogie. Car un grand nombre d'automobilistes ne connaît pas ces véhicules et cette technologie et a des préjugés. C'est souvent pour cela qu'ils considèrent que cette voiture n'est pas pour eux. Ils ne se rendent pas compte qu'elles peuvent être parfaitement adaptées à l'utilisation qu'ils font d'une voiture 85 % à 90 % du temps. On craint ce qu'on ne connaît pas.

En moyenne, un automobiliste fait 17,5 kilomètres par jour en Île-de-France et 32 kilomètres en province. Une voiture électrique d'occasion comme une Renault Zoe de première génération ou une Nissan Leaf ont une autonomie de 120 à 150 kilomètres qui convient largement.

Et quand un automobiliste franchit le pas et passe à l'électrique, il regrette souvent de ne pas l'avoir fait plus tôt tant la conduite et l'utilisation sont agréables. C'est tellement souple, silencieux, avec un couple instantané. Cela change un peu la méthode de conduite car le frein moteur est beaucoup plus présent. Vous usez beaucoup moins les pneumatiques et les plaquettes de frein. Les gens qui ont deux voitures aujourd'hui et sont passés à l'électrique ne se servent quasiment plus que de l'électrique dans leur vie de tous les jours.

Maintenant, il ne faut pas vendre une autonomie qui n'existe pas. Il faut présenter tout de suite les contraintes, notamment le temps de recharge et l'accessibilité des bornes. Mais si vous êtes prêts à les accepter, vous n'aurez que des avantages.

► Justement dans les contraintes, la plus inquiétante peut-être pour les éventuels acheteurs est celle de la recharge. À la fois la question de l'emplacement des bornes ou de leur installation et du temps ensuite d'immobilisation du véhicule.

► À partir du moment où l'automobiliste habite dans une maison individuelle, il n'y a aucun problème. Avec la prise de courant classique de 220 volts, on recharge la voiture dehors ou dans un garage sans problème. Il faut entre 8 et 10 heures et cela revient à deux euros pour 100 kilomètres. Après vous avez des bornes spécifiques installées chez vous qui vous permettent de passer à 3 heures 30.

Contrairement aux idées reçues, la voiture électrique est de ce fait plus attractive en province, car le logement en

maison y est bien plus répandu. Et pourtant, on ne cesse de dire que c'est un véhicule adapté aux grandes villes, même si l'espace pour des bornes est limité et si dans les immeubles d'appartement il est plus difficile de recharger une batterie. L'urbain quand il ne peut pas se garer, quand il vit dans un appartement, c'est plus compliqué.

► Les concessionnaires jouent-ils le jeu?

► Ils ont du mal. D'abord parce que les commerciaux n'ont pas l'habitude et souvent pas l'envie ou le temps de faire la pédagogie de l'électrique ou même de l'hybride. Car ce sont des véhicules qu'on doit vendre en fonction des besoins précis de l'acheteur.

Ensuite, ces véhicules posent un problème de fond aux concessionnaires. S'ils vendent un véhicule électrique, son entretien est très réduit et peu coûteux. Or l'entretien représente une grande part des marges des concessionnaires. Il y a beaucoup moins de pièces que dans un véhicule à moteur thermique et ils sont très fiables.

Et les investissements qu'il faut dans une concession, les bornes de recharge rapide, la formation des techniciens et des vendeurs, tout cela coûte et ne rapporte rien, en tout cas dans l'immédiat. Mais pour un marché de 1 % à 2 % des véhicules neufs vendus, cela n'a pas de sens.

► Combien de kilomètres sont capables de faire ces véhicules et quelle est l'usure des batteries et leur perte progressive de capacité ?

► Aux États-Unis, il y a des Tesla qui ont dépassé 600 000 kilomètres. J'ai vu passer des Renault Zoé, Nissan Leaf ou BMW I3 ayant 150 000 à 200 000 kilomètres et fonctionnant parfaitement. Ces voitures s'usent très peu. On ne parle pas de kilométrage avec une voiture électrique. La fiabilité est meilleure que sur une thermique. Il y a beaucoup moins de pièces en mouvement et en frottement, et donc moins de pièces à changer.

Concernant les batteries, elles sont garanties huit ans et 160 000 kilomètres. On parle de garantie, pas de durée de vie. Elles perdent un peu de leur capacité au fil des années, pas en puissance mais en autonomie. Et contrairement à ce qu'on dit, ces batteries sont réparables si certains composants ont lâché.

► Où trouvez-vous les véhicules d'occasion pour alimenter votre réseau?

► J'achète des voitures seulement à partir de 2013, la deuxième génération avec des batteries lithium-ion. On commence à en trouver, mais il n'y a pas que la France. Je vais chercher, par exemple, des véhicules en Norvège. ■

Faire rouler les voitures hydrogène à base d'énergie renouvelable

par Julia Mainka et Robin Vivian¹

Une transition énergétique pérenne nécessitera d'impliquer, dans le processus de développement, de nombreux domaines scientifiques : sciences physiques, humaines, économique, sociale ou encore sciences de la vie avec comme préoccupation principale de replacer l'utilisateur au centre du dispositif.

Au travers du projet ULHyS, l'université de Lorraine fédère une dizaine de laboratoires multidisciplinaires autour de cinq axes thématiques allant de la production d'hydrogène au déploiement territorial. Différents acteurs du projet ULHyS ont été invités à visiter la station de recharge d'hydrogène FaHyence de Sarreguemines. Depuis le 6 avril 2017, FaHyence est la première station de recharge en Europe à produire sur site de l'hydrogène par électrolyse à partir d'électricité d'énergies renouvelables fournie par EDF lors des pics de production en couplant un électrolyseur et une station hydrogène d'une capacité de 40 kg par jour, représentant les besoins de 20 à 25 véhicules par jour pour des charges de 350 à 420 bars.

DES AUTONOMIES DE 350 KILOMÈTRES, SANS ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE. Au niveau national, le projet HyWay est opérationnel depuis l'été 2018 sur le site du CEA de Grenoble et deux autres sont en développement à Rodez et Nantes. FaHyence est lui le fruit d'un partenariat entre EDF, EIFER, McPhy, Symbio Fcell et la Communauté d'Agglomération de Sarre-

guemines Confluences (CASC). Afin d'assurer une utilisation régulière de la station, une dizaine de véhicules circulent actuellement dans l'agglomération : des Kangoo ZE électriques équipés par la société Symbio d'une pile à combustible qui fonctionne comme un prolongateur d'autonomie.

Les piles à combustible à membrane polymère (PEMFC) consomment de l'hydrogène pur sans émission de gaz à effet de serre. Les autonomies sont de l'ordre de 350 km, dont 200 km grâce à une batterie Li-ion de 33 kWh et 150 km en hydrogène grâce à une PEMFC de 5kW.

La station de recharge, sans être en accès libre, est ouverte à tout véhicule, français ou étranger, roulant à l'hydrogène après une demande d'autorisation à l'agglomération. Avantage non négligeable dans le cadre de cette expérimentation : le plein d'hydrogène est totalement gratuit. De ce fait, se sont rajoutés à la flotte captive de la CASC, neuf utilitaires supplémentaires achetés par des partenaires et des particuliers allemands et belges se sont réjouis de pouvoir remplir leur réservoir à Sarreguemines.

1. Maîtres de conférences, université de Lorraine.



Un réservoir
d'hydrogène liquide.

tion. Comparé aux heures de recharge des véhicules électriques conventionnels, les quatre minutes nécessaires à un plein d'hydrogène semblent anecdotiques.

La station comporte un électrolyseur alcalin d'une capacité de production de 1,8 kg/h ce qui nécessite environ 50 litres d'eau par kilogramme d'hydrogène produit. À ceci s'ajoute une station de compression à deux niveaux, un premier allant jusqu'à 30 bars, le second, équipé d'un système de refroidissement à -20 °C, permettant d'atteindre des pressions de 420 bars.

Ce système de compression apporte deux atouts majeurs à la station à hydrogène. Le premier est qu'il est possible de ravitailler, avec certaines restrictions de volume, des véhicules Hydrogène allant de 350 bars (cas des FC-EV comme la Kangoo ZE) à 700 bars, standard des voitures de tourisme roulant à hydrogène pur avec des autonomies de l'ordre de 450 km (les FCV comme la Toyota Mirai, la Honda Clarity Fuel Cell et la Hyundai Nexo). Le second avantage du système de refroidissement est de réduire à quatre minutes le temps d'un plein contre sept minutes pour une station non-refroidie.

UNE STATION SOUS-EXPLOITÉE QUI POURRAIT AISÉMENT DEVENIR COMPÉTITIVE.

« La technologie à hydrogène, n'est pas le facteur limitant, commente Christian Hector, responsable des services techniques de Confluences et initiateur du projet FaHyence, ce qui est le plus contraignant techniquement est l'électrolyseur. »

Avec 2,2 ravitaillements en moyenne par jour représentant environ 5 % de sa capacité d'utilisation, la station est en nette sous-exploitation, ce qui entraîne des problèmes techniques comme la défaillance de capteurs électroniques. Cela a pour conséquence un coût de recharge trop élevé pour être compétitif avec des systèmes classiques (le prix dépend du contexte local, à Sarreguemines on est à 10 €/kg et en moyenne nationale à environ 6 €/kg d'hydrogène ; pour rappel, il faut environ 1kg pour parcourir 100 km).

Pour être rentable, il faudrait 30 véhicules minimum à s'alimenter quotidiennement. « Mais la rentabilité économique n'était pas l'objectif du projet. Il s'agissait de tester la mobilité électrique à hydrogène dans un contexte transfrontalier, ainsi que de valider la fiabilité technique d'une station à hydrogène couplée à un électrolyseur sur site. » Même si l'avenir de la station, dont le projet se termine en 2020, reste incertain, les objectifs visés ont été atteints et ceci grâce à l'opiniâtreté de Christian Hector et son équipe de la mobilité verte de la CASC. ■

[Cet article est republié à partir de *The Conversation* sous licence Creative Commons.]

FaHyence fait partie du projet européen H2ME FCH-JU, qui vise à déployer 49 stations-service à hydrogène et 1400 véhicules d'ici à 2020. À côté de l'électro-mobilité et le bio-méthane, l'hydrogène est le troisième axe du volet mobilité durable de FaHyence. Il reste un laboratoire d'observation privilégié et un démonstrateur de procédés.

LE PLEIN EN QUATRE MINUTES CHRONO.

L'appropriation par les utilisateurs ne semble pas avoir posé de problème. L'aspect classique de la station et un mode opératoire de remplissage semblable à un approvisionnement conventionnel ont permis de limiter au minimum les phases de formation des utilisateurs. Certes, des améliorations pourraient être apportées dans l'ergonomie du raccordement et dans les interactions avec l'utilisateur, mais force est de reconnaître que le système reste d'une grande simplicité d'utilisa-



FORMULE E : L'AVENIR DU SPORT AUTOMOBILE

**Après cinq années d'existence,
la Formule E a trouvé une maturité technologique
et une forme de reconnaissance avec l'arrivée massive
de grands constructeurs.**

La déclaration faite en avril dernier n'est pas passée inaperçue. Pour Lewis Hamilton, champion du monde de Formule 1 en 2018, titré à cinq reprises, « *la Formule E va être de plus en plus l'avenir du sport automobile* ». Il faut dire que son employeur, Mercedes, débarque en Formule E.

Cette compétition de monoplaces électriques, raillée à ses débuts, a franchi un à un les obstacles pour s'imposer. Les principaux problèmes étaient technologiques. Pendant ces quatre premières années, la FE a dérouté les amateurs de course automobile. Le pilote devait rentrer au stand non pour remettre de l'essence – et pour cause – ni pour changer de pneus mais pour changer... de voiture. La manœuvre du pilote sortant d'un cockpit pour sauter dans un autre ayant les batteries pleines pouvait condamner cette compétition à rester marginale. L'électricité n'arriverait donc jamais à vaincre son démon : le manque d'autonomie.

Mais les techniciens sont parvenus, en année 5, à effacer cette tare initiale. Les monoplaces de GenII ont assez d'autonomie pour couvrir l'intégralité d'un ePrix de 45 minutes +

1 tour. Illustration des progrès accomplis, la batterie première version n'autorisait que 28 kWh d'énergie... À peine 25 minutes de vie et un poids d'environ 250 kg ! Avec la GenII, l'énergie est doublée : 54 kWh. Et les batteries sont les mêmes pour tous sans guerre stratosphérique des budgets.

Le moteur électrique – convertisseur, moteur (rotor et stator) et transmission – est lui ouvert à la concurrence, dans les limites fixées par le règlement. Chaque constructeur doit se conformer aux 250 kW en qualifications (340 ch), 200 kW en course (271 ch), 225 kW (305 ch) en « Attack Mode ». Le moteur tourne jusqu'à 20 000 tours/minute.

En parallèle, le freinage mécanique est devenu électronique. Le pilotage s'en trouve modifié et amélioré. Les blocages de roue dus à la récupération de l'énergie ont disparu.

Le championnat a eu la bonne idée d'accompagner ce pas de géant d'une refonte complète du look de la voiture. D'une lointaine copie de monoplace standard, la voici plongée dans l'univers de Batman. L'aérodynamisme privilégie les appuis venant majoritairement du dessous de la voiture, via un

énorme extracteur à l'arrière. Cela a permis de remodeler entièrement l'aileron arrière. Une vraie réussite lui donnant aussi des airs de F-Zero. Les fans du mythique jeux des années 1980 sont ravis, le « Boost Power » sortant également du virtuel pour devenir, dans la réalité, l'« Attack Mode ».

La Formule électrique atteint ainsi une forme de maturité mais a perdu un attrait de ses débuts qui était la gestion de l'énergie disponible et les stratégies allant avec. Il n'est presque plus nécessaire aujourd'hui... d'économiser de l'énergie ! Ce fut le cas lors de la plupart des premières courses de l'année 2019, du fait d'interventions de la voiture de sécurité.

L'autre évolution majeure qui signe également le changement de dimension de cette compétition est l'arrivée massive de grands constructeurs. Ils prennent peu à peu la place des petites équipes. Les indépendants Jarno Trulli, Aguri Suzuki, Andretti & Co, sont remplacés par Jaguar, Audi, Renault, Nissan, DS... BMW a déjà un pied dans la discipline de même que Mercedes et bientôt Porsche.

Dans un an, la grille de Formule E sera au moins aussi riche en grands noms que celle de la Formule 1. Une évolution qui semble presque logique. La vocation du sport automobile depuis sa naissance est d'être un laboratoire technologique. À partir du moment où tous les grands constructeurs se lancent dans le véhicule électrique, le sport auto leur offre un banc d'essais des matériaux, du rendement, de l'autonomie, des pièces et une arène pour s'affronter à armes égales.

T. L.

Les caractéristiques d'une Formule E

- Châssis carbone Spark (avec Dallara).
- 3,1 mètres d'empattement.
- Poids : 900 kg.
- Moteur électrique libre, de 250 kW en qualif' (soit 340 cv), 200 kW en course (soit 271 cv) et 225 kW (soit 305 cv) lors de l'Attack Mode.
- Batterie lithium (54 kW/h d'énergie, 209 cellules) McLaren Applied Technologies.
- Boîte de vitesse : 1, 2 ou 3 rapports (selon choix technique).
- Freins à disque Brembo, à contrôle électronique à l'arrière.
- Pneus Michelin.

Le E-Prix de Paris jusqu'en 2022

Pour la quatrième fois de son histoire, l'épreuve française de Formule E s'est déroulée à Paris les 26 et 27 avril sur un circuit situé au cœur du quartier des Invalides. Vingt-deux voitures se sont affrontées sur un tracé de 1,93 kilomètre, composé de quatorze virages et deux lignes droites propices au dépassement. Le spectacle était au rendez-vous, notamment parce que la pluie a causé de nombreux rebondissements et accidents. Le Néerlandais Robin Frijns (Envision Virgin) en a profité pour s'imposer devant André Lotterer, l'Allemand de l'écurie DS. Il s'agit du huitième vainqueur en huit courses. Le Français Jean-Éric Vergne, également sur DS, se classe 6^e à l'arrivée. L'événement sera reconduit lors des trois prochaines années. Le contrat qui lie la Mairie de Paris et la Formule E a été prolongé jusqu'à la saison 2022.



LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE NE SAUVERA PAS LA PLANÈTE

par Loïk Le Floch Prigent



**Pour beaucoup de politiques et de commentateurs,
l'avenir de l'automobile est tracé, ce sera le véhicule électrique,
et ceux qui résistent encore sont les héritiers des nostalgiques
des diligences et des voitures à chevaux.**

Et si c'était plus compliqué que cela ?

**Et si l'enthousiasme de ces « modernes » avait pour conséquence
un carnage de l'industrie automobile française (et allemande)
sans bénéfice ni pour le consommateur, ni pour le contribuable,
ni pour la planète ?**

Commençons par bousculer une idée répandue mais erronée, à savoir que le véhicule électrique sauve la planète car il ne rejette pas pendant son utilisation de gaz à effet de serre. La science nous apprend à regarder l'ensemble du cycle carbone depuis la production des matières premières, la fabrication, l'utilisation et le recyclage avant d'affirmer la « neutralité carbone ». Les calculs faits sur le véhicule électrique à cet égard ne plaident pas en sa faveur car les matériaux utilisés pour fabriquer les batteries sont très énergétivores, de même pour le recyclage, tandis que l'infrastructure nécessaire à la recharge est un problème complexe. Par ailleurs tout dépend de l'origine de l'électricité, la disponibilité obligatoire aux périodes de recharge pour les consommateurs conduit à privilégier les sources pilotables et donc nucléaires, fossiles ou hydrauliques. Ce n'est pas à partir du bilan carbone que l'on peut trouver les arguments pour favoriser le véhicule électrique.

Sa promotion vient d'un autre côté, celui de la pollution des villes avec les véhicules au gazole ou à l'essence et surtout des grosses conurbations, qui ont densifié l'habitat et multiplié les embouteillages et donc les consommations inutiles de carburants et leurs rejets hostiles à la qualité de l'air. Les remèdes utilisés ont été au cours des dernières années la coercition financière avec les paiements de stationnement, les amendes, les couloirs de circulation, les zones piétonnières, jusqu'à interdire certains types de véhicules et créer des péages urbains... L'automobiliste est devenu l'ennemi à abattre. La première réponse de l'industrie a été le véhicule hybride, roulant à l'essence mais électrique dans les villes, ce qui ne modifie pas l'infrastructure et permet au consommateur de ne pas tomber en panne autrement que faute de carburant. La deuxième réponse, poussée par les responsables des grandes villes, a été le véhicule électrique pour lequel les constructeurs constatent une résistance de leurs clients qui ont peur de la panne électrique et des difficultés de la recharge.

Il n'en reste pas moins que la densité urbaine et la pollution conséquente demandent des mesures qui passent sûrement par la multiplication des flottes de véhicules d'entreprises avec une propulsion plus « propre ». Les bus, les cars, les transports de marchandises, les postes... auraient du passer à l'électrique depuis très longtemps et c'est ainsi que les Chinois, confrontés à ce problème, ont exercé leur pouvoir de coercition pour devenir les leaders en ce domaine, en particulier dans le secteur des batteries où ils ont désormais un quasi-monopole (avec les Sud-Coréens).

Il y a donc la possibilité de promouvoir la propulsion électrique, pour des raisons qui n'ont rien à voir avec la lutte

contre les émissions de gaz à effet de serre car on ne fait, au mieux, que déplacer les rejets. Le véhicule électrique est essentiellement une façon de traiter le problème de la pollution de l'air dans les métropoles, mais est-ce la seule solution ?

Une autre idée consiste à aménager l'espace avec la multiplication des transports collectifs. On peut aussi revenir aux véhicules thermiques imaginés lors du choc pétrolier de 1973 : faible vitesse, un litre d'essence ou de gazole aux cent kilomètres.

Le plus facile est de contraindre à l'achat du véhicule électrique par coercition. La Chine a tenté cette séquence en multipliant en plus les incitations. Pour 26 millions de véhicules vendus, elle est arrivée à 900 000 véhicules électriques l'an dernier. Mais elle commence à reconsidérer sa politique d'incitation à l'achat et augmente les contraintes sur les constructeurs. C'est dans le même registre ce que la Commission européenne a fait, mais avec l'hypocrisie injustifiée du sauvetage de la planète. Et sans vraiment mesurer les conséquences industrielles et sociales.

Il faut en revenir aux réalités de l'industrie automobile française (et européenne) cherchant à satisfaire le client... celui qui achète la voiture. C'est le moteur thermique qui a permis son développement, avec ses centaines de milliers d'ouvriers et ses millions de conducteurs. L'excellence est, à cet égard, européenne, copiée par tous les pays du monde, en particulier asiatiques. Les attaques contre le diesel ont été une première catastrophe, mal assumée et mal négociée, la seconde salve qui « oblige » au véhicule électrique va conduire à des drames industriels en cascade, car 40 % du prix réside dans la batterie et il va falloir dix ans pour revenir sur nos retards industriels.

Le devenir du véhicule électrique universel ne va pas de soi, car il ne répond pas aux critères essentiels du client : disponibilité et flexibilité, liberté.

L'automobile est, certes, un instrument de mobilité, mais c'est autre chose aussi et pour effectuer une transformation drastique des habitudes, il faut plus que des postures et des anathèmes. Il faut en tous les cas plus que des affirmations mensongères. L'avenir va être à la cohabitation de véhicules aux systèmes de propulsion variés selon les réalités de chaque univers et de chaque consommateur, personne n'en détient les clés.

Contraindre, interdire, tout cela est illusoire. Les régimes autoritaires conduisent toujours à la rébellion et à la demande de liberté, cela prend, hélas, du temps, mais l'humanité brise ses chaînes. ■

Si l'éolien ne décolle pas en France, c'est la faute aux procédures

par Gilles Bridier

Il faut près de dix ans pour faire aboutir un dossier en France, deux fois plus qu'en Allemagne et trois fois plus qu'en Espagne.



La part des énergies renouvelables dans la consommation française d'électricité a doublé en dix ans. Elle a atteint 22,7 % en 2018. Pour autant, l'éolien et le photovoltaïque se développent relativement lentement. L'électricité renouvelable d'origine hydraulique représente encore plus de la moitié du total (58 % en 2018). Mais ses marges de progression sont quasiment nulles.

C'est donc le vent et le soleil, épaulés par les bioénergies et la géothermie, qui doivent se développer rapidement pour que l'objectif de 40 % d'énergies dites vertes dans la production d'électricité, fixé par la programmation pluriannuelle de l'énergie, soit atteint à l'horizon 2030. L'éolien terrestre dont la puissance installée a plus que quadruplé en dix ans pour atteindre 15,1 GW à la fin de l'année dernière, est une priorité. Il n'assure encore que 5,8 % de la production totale d'électricité du pays.

L'objectif serait atteignable... s'il n'y avait pas un empilement très français de procédures administratives qui retardent l'installation de toute nouvelle capacité de production. En France, le délai moyen pour faire aboutir un dossier dans l'éolien terrestre sont compris entre six et neuf ans, deux fois plus qu'en Allemagne et près de trois fois plus qu'en Espagne. Cette situation n'est pas créée par les enquêtes publiques, diligentées par les autorités territoriales et menées par la Commission nationale des commissaires enquêteurs (CNCE). Cette étape est prévue par la loi dès l'instant qu'un projet est susceptible d'avoir un impact sur l'environnement ou la qualité de vie des riverains. Mais les promoteurs des projets se heurtent à la détermination des opposants à l'installation des éoliennes, qui dénoncent les pollutions visuelle et acoustique de ces machines de 150 m de hauteur équipées de rotors dont le diamètre peut atteindre 100 m. Aussi multiplient-ils les contentieux.

EMPILEMENT DE PROCÉDURES. Les anti-éoliens ne faiblissent pas, regroupés dans de multiples associations qui forment le gros des bataillons de la Fédération environnement durable avec ses quelque 1 300 membres, ou Vent de colère qui fédère plusieurs centaines de réseaux locaux de toutes les régions de l'hexagone. Leur cible : les promoteurs des projets et les industriels regroupés au sein du Syndicat des énergies renouvelables (SER) ou de l'association France énergie éolienne (FEE). On estime à 70 % la proportion de projets qui font l'objet de contentieux. Mais dans un pays où au moins sept français sur dix soutiennent les énergies renouvelables selon un sondage OpinionWay, les pouvoirs

publics ont décidé d'introduire plus de « fluidité » dans le traitement des dossiers. Rétorquant aux opposants qu'une seule machine peut fournir sur un an l'électricité consommée par 800 ménages.

C'est l'objet du décret du 29 novembre 2018 qui, à travers deux mesures, simplifie et clarifie le droit à l'environnement. La première mesure supprime le premier échelon de juridiction lors d'un contentieux. Elle confie aux cours administratives d'appel la compétence pour traiter les litiges. Ce qui pourrait « *faire gagner environ deux années à la réalisation des projets éoliens français* », estime l'Observatoire des énergies renouvelables (Observ'ER). La seconde mesure permet de ne plus invoquer de moyens nouveaux dans le cadre d'une procédure contentieuse, passé un délai de deux mois. Ce qui devrait limiter les opportunités de multiplier les recours.

Pour autant, le cadre réglementaire des nouveaux programmes n'a pas vraiment été simplifié... Entre l'étude de préfaisabilité et la concertation avec les élus, l'étude d'impact, l'enquête publique, le dépôt du permis de construire et la demande d'autorisation d'exploiter « ICPE » (installation classée pour la protection de l'environnement)... pas moins d'une vingtaine d'administrations différentes doivent être sollicitées.

À l'issue de ce périple administratif, le promoteur du projet obtient le permis de construire qui implique la conformité aux règles d'urbanisme du secteur concerné, et l'autorisation d'exploiter délivrée par arrêté préfectoral. Il doit encore déposer une demande de raccordement au réseau, avec à la clé de nouvelles procédures et des discussions pour fixer la répartition des charges.

Ce qui explique que, pour mener à terme un projet éolien, il faut compter 5 à 7 ans entre la réponse à un appel d'offres et l'entrée en exploitation d'un parc de machines dont la durée de vie ne dépassera pas guère une vingtaine d'années. Or, à l'occasion de la dernière PPE, le gouvernement s'est fixé comme objectifs pour l'éolien terrestre d'atteindre une puissance de 24,6 GW à fin 2023 (soit 2 GW de plus par an, ce qui semble déjà compromis), et entre 34,1 et 35,6 GW à fin 2028 (soit plus du double par rapport à fin 2018).

L'OFFSHORE ENCORE PLUS À LA TRAÎNE. Il n'y a pas que l'éolien terrestre qui soit concerné. L'éolien maritime doit aussi concourir à l'objectif fixé pour 2030. Là encore, l'instruction des dossiers... traîne en longueur. En 2010, un rapport parlementaire rappelait que, pour mettre en œuvre les conclusions du Grenelle de l'Environnement, il



**Entre 5 et 8 oiseaux
seraient tués par éolienne
et par an.**

faudrait installer 9 000 éoliennes en France avant 2020, dont quelque 1 200 en mer. À ce jour, aucune machine en mer n'est opérationnelle!

En 2011, tandis que neuf pays européens avaient déjà installés une cinquantaine de parcs off-shore, la France, qui bénéficie du deuxième gisement d'éolien maritime en Europe, lançait ses premiers appels d'offres. Et c'est seulement début 2016 que les projets de parcs éoliens en mer au large de Saint-Nazaire, de Courseulles-sur-Mer et de Fécamp reçurent un avis favorable des commissions d'enquêtes publiques. Certains, plus récents, viennent tout juste d'être clos comme pour Dieppe-Le Tréport

Une loi d'août 2018 a procédé à une refonte de la consultation publique. Elle définit notamment le concept « d'enveloppe technique » qui permet d'introduire certaines modifications à un projet déjà autorisé sans qu'une nouvelle décision administrative soit nécessaire.

Les contraintes spécifiques à l'éolien maritime expliquent aussi, en partie, ce retard. Elles pourraient évoluer. Car après les éoliennes posées, une nouvelle étape devrait être franchie avec les éoliennes flottantes. Les démonstrateurs de quatre fermes pilotes sont en cours de réalisation en Méditerranée, dans le golfe du Lion et au large de la Bretagne. Mais à ce stade, les professionnels de la filière appuyés par des présidents de Régions demandent à l'État de manifester une plus grande ambition pour les accompagner dans des projets qui représentent, en capacité, le double des projections du gouvernement d'ici à 2028.

À condition que l'État soit capable de changer son mode de fonctionnement, de contraindre ses administrations et de créer le choc de simplification si souvent promis. Sans accélération des procédures et sans installation d'une nouvelle autorité environnementale, les objectifs ne seront jamais atteints. ■

Les technologies de l'hydrogène prêtes pour la transition énergétique

par Laurent Antoni¹

L'usage de l'hydrogène comme vecteur énergétique reste aujourd'hui encore très limité. Mais la lutte contre le réchauffement climatique qui implique le recours à des énergies primaires « décarbonées » nécessite la généralisation de nouvelles sources d'énergie, sûres et respectueuses de l'environnement.

Gaz très répandu, l'hydrogène, produit à partir d'énergies renouvelables, apparaît comme une solution complémentaire aux vecteurs énergétiques plus largement utilisés : électricité et chaleur. Il permet, en effet, de relier les différents secteurs d'énergie (électricité, chaleur, carburants liquides et gazeux) et les réseaux de transport et de distribution. Ceci conduit à accroître la flexibilité opérationnelle et la résilience des futurs systèmes énergétiques à bas carbone.

On peut faire le compte de ce que peut apporter l'hydrogène dans la réalisation de la transition énergétique : sept rôles, répartis entre le soutien à l'intégration des systèmes à énergies renouvelables et « décarbonation » des usages.

1. Favoriser l'intégration des énergies renouvelables et la production d'énergie à grande échelle

L'hydrogène favorise l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans les systèmes énergétiques. L'électrolyse de l'eau ou de la vapeur d'eau produit de l'hydrogène en consommant l'énergie électrique lorsqu'elle est en excès. Cet hydrogène peut être valorisé soit dans d'autres secteurs, soit stocké

massivement avant d'être reconverti en électricité en période de déséquilibre entre production et demande d'énergie.

Les électrolyseurs alcalins, produits commerciaux, consomment de 50 à 60 kWh/kg H₂. Dans l'optique d'une production massive d'hydrogène, le CEA s'est focalisé ces dernières années sur la technologie très prometteuse d'électrolyse à haute température qui ne consomme que de 35 à 40 kWh/kg H₂ et permet de produire, avec le même réacteur, des gaz de synthèse par coélectrolyse de vapeur d'eau et de CO₂. Des premiers systèmes ont été validés en laboratoire.

2. Distribuer l'énergie entre divers secteurs et régions

La production et la consommation d'énergies n'étant pas forcément situées au même endroit, il est nécessaire d'adapter les infrastructures à l'intégration des énergies renouvelables pour assurer la sécurité d'approvisionnement en énergie. Le

1. Responsable du programme « Hydrogène et piles à combustible » au CEA/Liten et président de l'Hydrogen Europe Research Association, commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), université Paris-Saclay.

besoin de transfert transfrontalier d'énergie va perdurer avec des pays plus ou moins producteurs et des capacités de stockage d'électricité variables. L'émergence d'un nouveau « mix » de centrales de production d'énergie centralisées et décentralisées nécessitera également d'ajuster les infrastructures aux niveaux régional et local.

Les différents modes de stockage (gaz, liquide, solide) et de transport (réseaux, voies maritimes ou routières) de l'hydrogène permettront de redistribuer l'énergie de manière efficiente et durable sur de longues distances ou localement.

3. Servir de stockage tampon pour améliorer la résilience des systèmes énergétiques

La différence entre demande et production intermittente d'énergie nécessite d'adapter les capacités de stockage des vecteurs énergétiques pour assurer la stabilité des systèmes. En complémentarité avec l'électricité, l'hydrogène présente l'avantage de pouvoir être stockée sans perte, en grande quantité dans des réservoirs ou des cavernes et sur de longues durées comme réserve tampon ou stratégique.

La connexion des électrolyseurs au réseau électrique offre, en outre, un service de stabilisation du réseau qui conduit à une réduction de 40 % à 60 % de la durée de retour sur investissement. Dans ce contexte, la définition et le dimensionnement des systèmes énergétiques apparaissent de plus en plus complexes.

Le CEA a développé Odyssey, un logiciel de modélisation-simulation pour l'optimisation des systèmes énergétiques sur la base d'une aide à la décision multi-échelles (composants, systèmes, site ou territoire), multicritères (technique, économique, réglementaire, environnemental) et multi-énergies (hydrogène/gaz, électrique, thermique). En termes de stockage, un couplage batterie/chaîne hydrogène constitue généralement la meilleure solution.

4. Décarboner les transports

Les véhicules électriques à hydrogène (FCEV) ont un rôle important à jouer. La combinaison de véhicules électriques à batterie et à hydrogène permet de concilier « zéro émission », « confort du conducteur » et « flexibilité des usages ». Les FCEV seront pertinents pour les usages très intensifs en énergie comme la traction ou la fourniture d'électricité à bord (grands rouleurs, camions, bus, cars, bateaux, trains...) et nécessitant des vitesses de remplissage comparables aux véhicules thermiques actuels.

Une combinaison de véhicules électriques à batterie et à hydrogène réduira les coûts d'investissement d'infrastructure pour la recharge des véhicules. En fin de compte, même si la mobilité hydrogène n'est pas l'unique solution pour relever les trois défis de la pollution, des gaz à effet de serre et de la



transition énergétique, elle est un outil efficace pour leur répondre de façon simultanée.

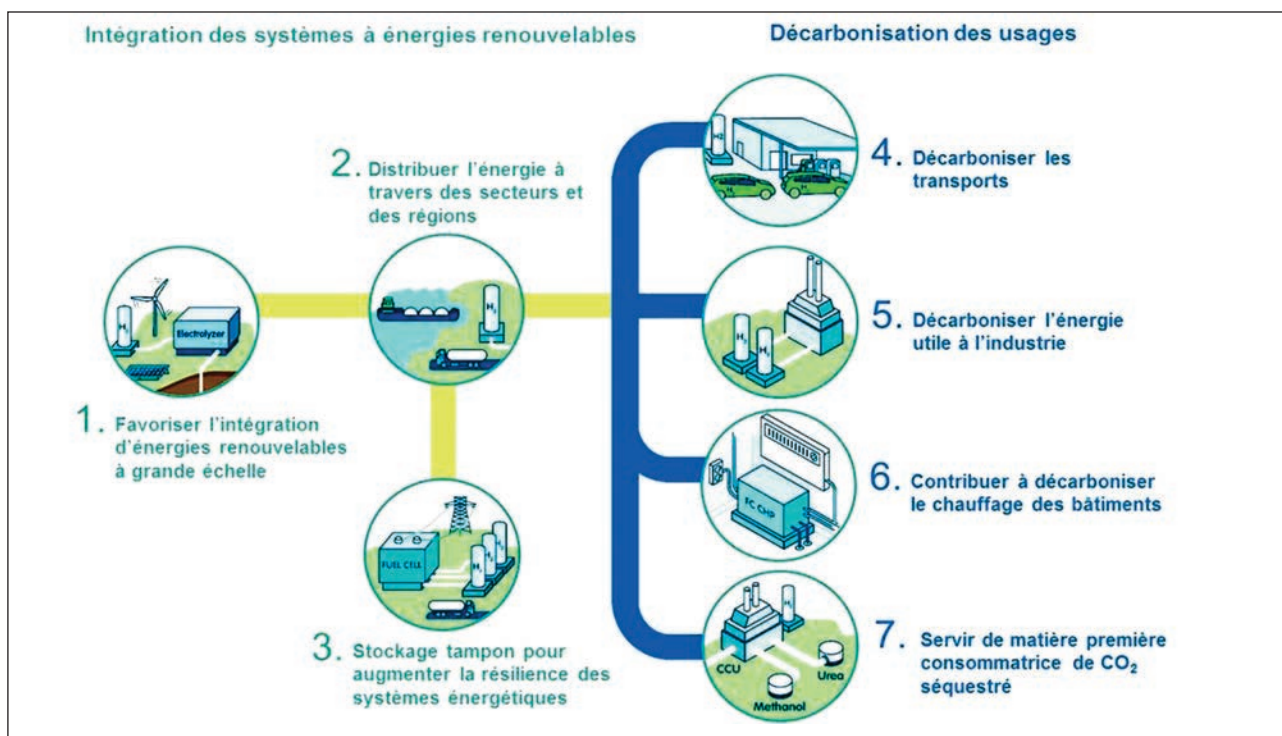
5. Décarboner l'énergie utile à l'industrie

Le vecteur hydrogène renouvelable est un atout pour « décarboner » l'industrie en fournissant d'une part l'hydrogène nécessaire aux procédés industriels (notamment pour les raffineries, premiers consommateurs d'hydrogène), d'autre part l'électricité et la chaleur avec des piles à combustible de puissance ou des brûleurs, en particulier pour des sites disposant d'hydrogène comme coproduit.

L'électrolyse à haute température permet également de valoriser la chaleur industrielle en produisant de l'hydrogène à haute valeur ajoutée et ce avec un rendement amélioré grâce à cet apport de chaleur.

6. Contribuer à décarboner les bâtiments

Au Japon, plus de 200 000 systèmes de micro-cogénération à pile à combustible, fonctionnant à partir de gaz naturel,



ont été installés dans des habitations depuis 2010 pour une prévision de 5,3 millions en 2030. Avec les énergies renouvelables, nombre de nouveaux bâtiments sont conçus pour limiter leur consommation énergétique, voire en produire une partie ou même plus qu'ils n'en consomment. Ils restent cependant tributaires du réseau électrique car, du fait de l'intermittence des énergies renouvelables, ils en ont besoin en temps réel soit pour s'y alimenter, soit pour y injecter le surplus d'électricité.

Une chaîne hydrogène permet de pallier cette intermittence en stockant les surplus et en les réutilisant au besoin. Un bâtiment peut ainsi être alimenté en continu avec de l'énergie produite localement. Sur la base des recherches du CEA/Liten sur la pile à combustible et l'électrolyseur à haute température réversible, la start-up Sylfen a développé une solution hybride appelée Smart Energy Hub à l'échelle de bâtiments dans un premier temps, puis de quartiers ou territoires. Le système doté d'une réserve permanente peut basculer instantanément de la charge à la décharge et répondre aux pics de consommation.

7. Servir de matière première consommatrice de CO₂ séquestré

Le pétrole brut et ses dérivés sont actuellement utilisés comme matière première dans l'industrie chimique, des carburants, des plastiques et des produits pharmaceutiques. Si les technologies de séquestration ou d'utilisation du CO₂ se déploient, elles nécessiteront de l'hydrogène renouvelable

pour convertir, dans le cadre d'une économie circulaire, le CO₂ capturé en produits chimiques de base comme le méthanol, le méthane, l'acide formique ou l'urée. D'autres industries comme la cimenterie ou la sidérurgie pourront également en bénéficier.

Il existe des projets pilotes comme en Islande pour produire du méthanol. La technologie d'électrolyse à haute température développée au CEA a été testée avec succès en mode co-électrolyse de la vapeur d'eau et du CO₂ pour produire du syngas H₂+CO, précurseur pour la synthèse des molécules précédemment mentionnées. Ceci confirme le potentiel très important de cette brique technologique.

En tant que vecteur énergétique, l'hydrogène est une brique technologique clé de la transition énergétique vers une économie bas carbone. Il favorise les systèmes à zéro émission, facilite les liens entre les différents secteurs, contribue à la sécurité d'approvisionnement en énergie.

Les technologies de l'hydrogène sont matures et prêtes au déploiement dès aujourd'hui dans de nombreuses applications de l'énergie et des transports.

L'hydrogène pourrait ainsi contribuer d'ici 2050 à 18 % de la demande totale en énergie (moins de 2 % actuellement) conduisant à un abattement annuel de 6 gigatonnes d'équivalent CO₂ pour un marché mondial de 2 500 milliards de dollars et la création de 30 millions d'emplois. ■

[Cet article est republié à partir de *The Conversation* sous licence Creative Commons.]

Comment expliquer la hausse de la consommation de charbon dans le monde ?

Publié en décembre 2018,
le récent rapport de l'Agence internationale de l'énergie
indique que la consommation mondiale de charbon
est repartie à la hausse (+1 % par rapport à 2017).

Par Carine Sebi¹

Cette tendance est inquiétante car malgré une prise de conscience globale sur les dangers du réchauffement climatique causé par l'accumulation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, certaines grandes économies ne parviennent pas à substituer leur électricité produite à partir du charbon par une énergie moins carbonée.

L'utilisation principale du charbon concerne en effet la production d'électricité, avec les deux tiers de la consommation mondiale destinés à cette fin ; cette proportion atteint les trois quarts si l'on exclut la Chine et l'Inde qui ont des usages traditionnellement plus répandus ; le reste de la consommation va à l'industrie (sidérurgie principalement).

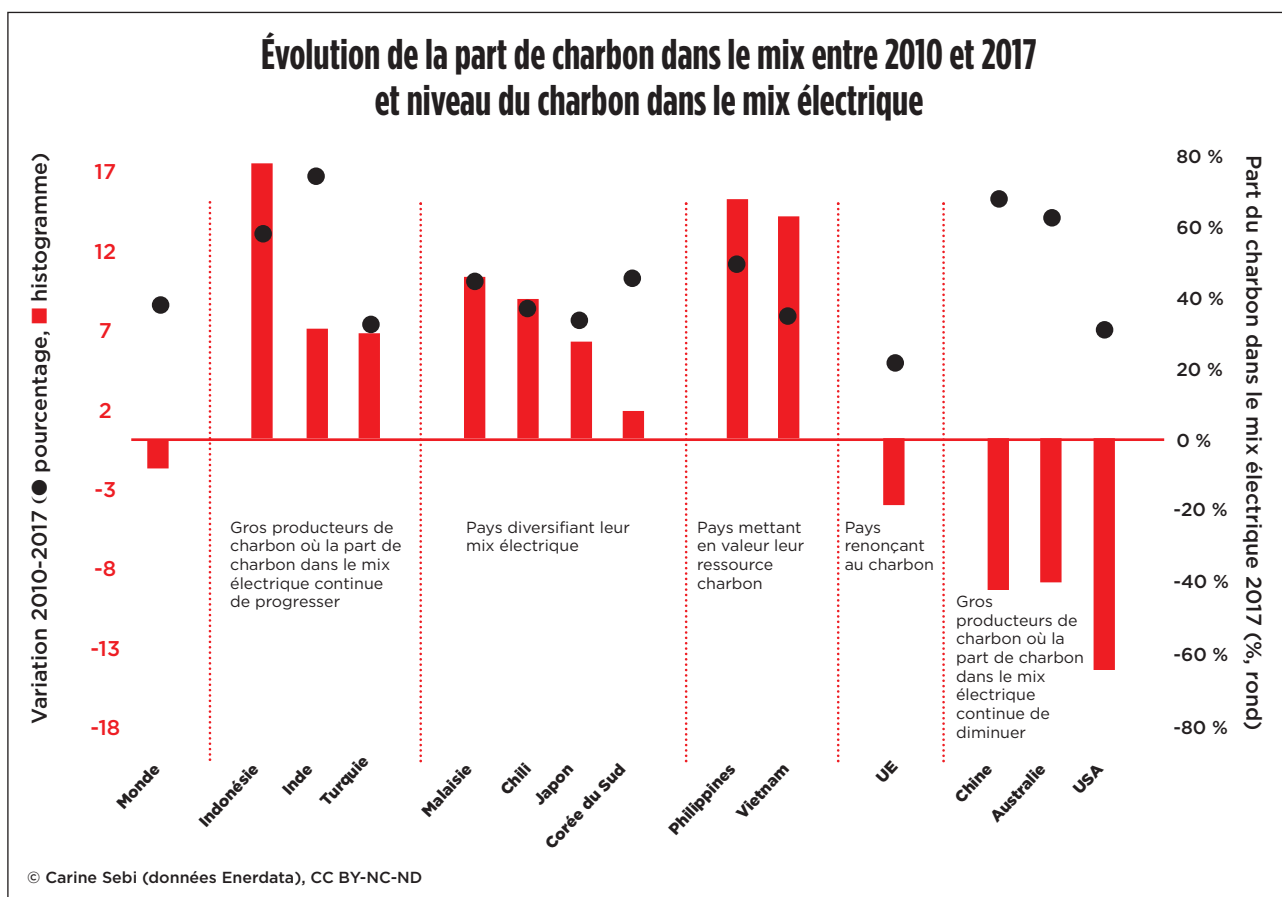
Le charbon reste la source d'énergie la plus polluante : elle émet généralement deux fois plus de CO₂ que le gaz naturel, son principal concurrent.

Comment expliquer la hausse de la consommation de charbon dans le contexte du changement climatique ? Nous nous appuyerons sur les différentes bases de données émises par le bureau d'études spécialisé dans le domaine de l'énergie Enerdata pour décrypter les grandes tendances mondiales.

LA PREMIÈRE ÉNERGIE POUR PRODUIRE L'ÉLECTRICITÉ. Dans le monde, la consommation de charbon utilisée pour produire de l'électricité croît au même rythme que la consommation globale d'électricité (2,8 %/an versus 3 %/an entre 2000 et 2017). De ce fait, la part du charbon dans le mix électrique mondial est restée globalement stable autour de 40 % depuis vingt ans. Même si l'on note une légère baisse de deux points depuis 2010, comme le montre la figure ci-contre, cela n'empêche pas le charbon d'être la source d'énergie la plus utilisée pour produire de l'électricité dans le monde.

Mais l'on observe des tendances opposées au sein des plus grandes économies : aujourd'hui, les efforts et les promesses de certaines régions pour renoncer à l'utilisation du charbon pour produire de l'électricité sont mis à mal par un lot de pays qui, au contraire, voient la part du charbon augmenter dans leur mix électrique.

1. Assistant Professor Economics, Grenoble école de management (GEM).



C'est notamment le cas des gros pays producteurs de charbon : Indonésie (58 % d'électricité produite à partir du charbon en 2017, +18 points de progression entre 2010 et 2017- voir la figure ci-dessus), Turquie (33 %, +7 points) ou encore Inde (75 %, +7 points), le second producteur mondial derrière la Chine. Dans ce pays, le développement des énergies renouvelables et la construction de centrales au charbon plus performantes ne suffisent pas à absorber la hausse de la demande d'électricité qui croît en moyenne de 7 % par an depuis 2005.

D'autres pays, cherchant à diversifier leur mix énergétique, ont un recours croissant au charbon pour produire leur électricité : c'est le cas de la Malaisie (45 %, +10 points), du Chili (37 %, +9 points), de la Corée du Sud (46 %, +2 points) ou encore du Japon (33 %, +6 points). Du fait d'un manque de ressources disponibles sur son territoire, ce pays est l'un des plus gros importateurs de pétrole, de gaz naturel et de charbon. Entre 2011 et 2015, la part du charbon dans la production d'électricité nipponne a dû significativement augmenter pour faire face à la fermeture des centrales nucléaires suite à l'accident de Fukushima.

Enfin, certains pays disposant de réserves nationales de charbon, comme les Philippines (50 %, +15 points) ou le Vietnam (34 %, +14 points), mettent en valeur cette ressource pour produire leur électricité et améliorer leur indépendance énergétique.

RECU EN CHINE, AUX ÉTATS-UNIS ET DANS L'UE. Inversement, la part du charbon dans le mix électrique a fortement baissé dans la plupart des pays de l'Union européenne, en Chine et aux États-Unis. Les pays de l'UE réduisent fortement l'utilisation de ce combustible pour lutter contre le changement climatique (21 %, -10 points depuis 2000). Le charbon garde encore un poids dominant dans certains pays charbonniers de l'UE, comme la Pologne (78 %), la République tchèque (49 %) ou l'Allemagne (39 %), quoique en forte baisse.

La Chine, qui est de loin le pays qui consomme le plus de charbon dans le monde pour produire son électricité, met en place des politiques environnementales et énergétiques restrictives sur l'utilisation du charbon (68 %, -10 points) pour

Évolution en % de la part de charbon dans le mix électrique dans le monde

	2016	2020	2030	2040
Monde	37,6	34,0	31,2	27,6
Union européenne	23,8	19,0	11,3	7,4
Turquie	33,3	33,5	25,6	26,0
Amérique du Nord	31,4	26,9	20,2	17,5
Pays OCDE et Pacifique	43,5	34,7	27,2	21,5
Japon	40,9	31,7	25,5	21,1
Moyen-Orient	2,8	2,5	2,0	1,9
Afrique	31,0	27,7	24,8	24,6
Amérique latine	6,9	5,4	4,3	4,0
Inde	71,0	66,1	59,1	54,2
Chine	63,3	56,8	49,6	38,7
Indonésie	58,3	42,7	46,4	44,3
Pays Asie non-OCDE (excluant Chine, Inde et Indonésie)	31,3	27,6	28,4	31,2
Russie	15,6	14,6	19,4	18,3

© Enerdata (Enerfuture, scénario Enerblue, janvier 2018), CC BY-NC-ND

améliorer la qualité de l'air et contribuer aux efforts de lutte contre le changement climatique.

Les États-Unis qui, comme la Chine, sont un gros pays producteur de charbon, ont significativement réduit l'importance de cette source d'énergie dans leur mix électrique (31 %, -15 points), mais pour d'autres raisons. Ici, le recul du charbon s'explique par le développement et l'abondance d'une autre énergie carbonée, à savoir le gaz de schiste.

Au niveau mondial, la capacité des centrales électriques au charbon a progressé de 1 000 GW depuis 2000 et de 500 GW depuis 2010. Cette augmentation est principalement due à la Chine (+850 GW depuis 2000, soit 80 % de la variation mondiale) et dans une moindre mesure l'Inde (+150 GW depuis 2000).

La baisse sensible aux États-Unis et dans l'Union européenne (de 40 GW chacun depuis 2000) est compensée par une progression au Japon, en Corée et en Turquie (+70 GW dont 40 GW au Japon).

LES NOUVEAUX PAYS DU CHARBON. Fait plus étonnant dans un contexte de lutte généralisée contre le changement climatique, une vingtaine de nouveaux pays – dont neuf en Afrique (RDC, Égypte, Côte d'Ivoire, Kenya, Maroc, Mozambique, Niger, Sénégal et Tanzanie), trois en Amérique centrale (Panama, Salvador et République dominicaine), deux au Moyen-Orient (Émirats arabes unis et Jordanie) et trois en Asie (Bangladesh, Cambodge et Myanmar) se tournent vers le charbon.

D'ici à 2025, plus de 65 centrales thermiques pourraient être mises en service dans ces pays, représentant une capacité de 50 GW (équivalente à plus de 2 % par rapport à la capacité mondiale de 2017). La plupart de ces pays n'ont même pas de ressources charbonnières, mis à part le Bangladesh et la Tanzanie. Le plus souvent, ils développent leurs projets avec des financements indiens ou chinois, depuis que les grands organismes de financement internationaux ne soutiennent plus ce type de projet. On peut citer ici le mégaprojet de centrale à



La Chine, l'Inde et l'Indonésie resteront encore longtemps dépendants du charbon.

© Peter Vrabel / Shutterstock

charbon de Lamu, construite par la China Power Global, avec l'aide de la Banque africaine du développement au Kenya.

ET À PLUS LONG TERME ? Les projections du service de prévisions Enerfuture s'avèrent moyennement optimistes, indiquant que d'ici 2040, la part du charbon dans le mix électrique au niveau mondial ne devrait diminuer que de 10 points.

L'Union européenne – qui vise la neutralité carbone d'ici 2050 – semble sur la bonne voie malgré la réticence de la Pologne qui souhaiterait subventionner ses centrales charbon au-delà de 2030. La Chine, l'Inde et l'Indonésie, pour qui l'électricité est produite majoritairement à partir de cette énergie fossile, diminueront très fortement la part de charbon dans leur mix électrique, mais ne parviendront pas à réduire leur part au-delà de 35 %, du fait de l'abondance du combustible dans leur réserve nationale et son attractivité économique.

Avec l'augmentation du taux d'électrification poussée par le développement de certaines économies émergentes et le déploiement de nouveaux usages électriques partout dans le

monde (on pense notamment à la mobilité électrique), la demande d'électricité continuera d'augmenter à court et moyen termes.

Si les pays et régions du monde ne mettent pas les moyens pour remplacer cette énergie très polluante par des modes de production « plus verts », maintenir le réchauffement climatique dans des mesures acceptables semble compromis. L'enjeu se joue principalement au niveau des gros pays, à la fois producteurs et consommateurs tels que la Chine ou l'Inde, qui essayent de réduire leur dépendance à ce minéral.

Mais ces efforts seront-ils suffisants face à l'engouement pour un charbon abondant, facile à transporter et peu cher dans de nouveaux pays, comme au Bangladesh ; ou encore face à la mise en place de plans favorables au développement de cette énergie fossile, comme aux États-Unis, où les réserves de charbon sont conséquentes ? ■

[La version originale de cet article a été publiée sur *The Conversation*.

Bruno Lapillonne, directeur scientifique d'Enerdata, bureau d'études spécialisé dans le domaine de l'énergie, a participé à la rédaction de cet article.]

TRANSITION « HEUREUSE », NOBLE MENSONGE

Par Bertrand Alliot

Il est des livres célèbres qui vous tombent des mains. Le *Principe responsabilité* de Hans Jonas en fait partie. Heureusement, des passages savoureux vous surprennent parfois au milieu de l'ennui. C'est le cas lorsque le philosophe allemand compare les vertus de la « tyrannie communiste » à celles du « complexe capitaliste-démocratique-libéral » remarquant que les premières sont sans aucun doute plus à même que les secondes de relever le défi écologique.

Pour Jonas, l'impératif écologique nous met dans la position de devoir réaliser des « buts inconfortables » consistant à revoir sérieusement à la baisse notre niveau de vie. L'avantage du système communiste est qu'il est capable de supporter de grands sacrifices au profit d'un avenir meilleur, exactement ce qu'exigera bientôt, selon lui, la situation environnementale. Quant au capitalisme, il est loin de pouvoir contrarier la passion des masses pour le bien-être matériel : il semble au contraire uniquement qualifié pour l'encourager !

Cependant, relève-t-il, un obstacle se dresse pour empêcher les noces de l'écologie et du marxisme. Celui-ci parvient à « animer ses adeptes » car il sait créer l'enthousiasme, un « enthousiasme pour l'utopie ». Autrement dit, les privations ne sont que des moyens, secondaires ou supportables, en vue d'une fin joyeuse ! Rien de comparable dans le cas de l'écologie, car le moyen se confond avec la fin. Comment pourrait-elle créer l'enthousiasme alors qu'elle recherche « une fin nullement reluisante de l'auto-modération de l'humanité » ?

L'écologie fait valoir la nécessité d'accomplir une corvée qui, par définition, est la plus ennuyeuse des tâches. Elle ne propose ni aventure ni accomplissement, mais simplement de descendre les poubelles ! C'est là que sans trop y croire mais avec malice, le philosophe envisage une solution politiquement incorrecte : utiliser « le noble mensonge » de Platon. Un pouvoir autoritaire détenu par une élite éclairée peut mys-



tifier les masses en invoquant un « idéal prétexté » et ainsi « donner de l'influence au principe Crainte sous couvert du principe Espérance » ! Il s'agirait d'un « complot au sommet en vue du bien », une manière de donner à la citrouille des allures de carrosse.

Ce passage du Principe responsabilité retrace le chemin intellectuel et politique emprunté par l'écologie depuis sa naissance. Ses adeptes ont toujours su leur cause ennuyeuse et la nécessité de l'habiller de beaux atours. Le

développement durable, cette utopie proposant joyeusement de garantir en même temps la protection de l'environnement, la croissance économique et la justice sociale est un des plus beaux exemples de « l'idéal prétexté ». Les écologistes de tous bords sont sans cesse pris la main dans le sac de la mystification comme lorsque les partisans de la décroissance promeuvent la sobriété ou la frugalité « heureuse » ou lorsque Nicolas Hulot affirme par l'entremise de son ministère que la transition est écologique, mais aussi « solidaire ». Sans cesse on les surprend à tenter de créer l'enthousiasme, à vouloir transformer la misérable corvée en un formidable projet...

Aux lecteurs et admirateurs de Jonas ne manquent que l'assurance et le cynisme d'un Machiavel : ils n'osent jamais choisir, ce qui explique l'ambivalence de leurs actions et de leur discours, entre le « complexe capitaliste-démocratique-libéral » et le régime autoritaire ressemblant à la « tyrannie communiste ». Ainsi, privé de port d'attache, le « noble mensonge » se promène au gré des vents et des courants d'air sans retenir vraiment l'attention. Les écologistes, lâcheurs de baudruches, sont les seuls à penser qu'ils puissent servir de phare. Il faudrait cependant leur dire que le sort de la transition n'est pas suspendu à l'espoir qu'elle puisse être « heureuse » ou « solidaire », mais simplement au fait qu'elle soit ou non nécessaire... ■

Hans Jonas, *Principe responsabilité*, Éd. Champs, 2013.

Paroles d'experts...

► La transition énergétique stagne dans le monde

**Forum économique mondial
Mars 2019**

Depuis cinq ans, la transition énergétique fait du surplace. C'est la principale conclusion d'un rapport du Forum économique mondial qui établit un état des lieux de la transition dans le monde pays par pays.

En cause notamment, « l'utilisation continue du charbon pour produire de l'énergie en Asie, la hausse du prix des matières premières et les améliorations de l'intensité énergétique qui sont plus lentes qu'il ne le faudrait ».

Les dix meilleurs élèves du classement établi par l'étude restent sensiblement les mêmes que l'an dernier, tous situés en Europe du Nord et occidentale. La Suède, la Suisse et la Norvège composent le trio de tête et la France arrive en 8^e position.

Problème de taille toutefois, ces dix pays ne font pas partie des principaux pollueurs. Les États-Unis apparaissent au 27^e rang, en recul de deux places : le pays a réduit son utilisation du charbon en le remplaçant par du gaz, mais il suscite des craintes du fait notamment de l'augmentation du prix de l'énergie pour les ménages. L'Inde et la Chine qui sont avec les États-Unis de gros pollueurs sont pour leur part classés respectivement 76^e et 82^e du classement qui recense 115 pays.

Le rapport du Forum économique mondial souligne enfin une situation apparemment paradoxale : si les habitants de la planète sont de plus en plus nombreux à avoir accès à l'électricité, son prix augmente dans de nombreux pays, notamment les économies les plus avancées.

► La transition énergétique doit être rapide

**CSIS (Center for Strategic and International Studies)
Septembre 2018**

Pour le Centre pour les études stratégiques internationales, « le monde doit changer de système énergétique pour atteindre les objectifs fixés pour le climat ». La demande d'énergie doit ralentir et les émissions de CO₂ doivent diminuer. « Les transitions énergétiques du passé ont pris beaucoup de

temps, nous devons donc conclure que le défi auquel nous faisons face est sans précédent historique et va demander des actions sans équivalents », écrit le CSIS. Mais l'étude ajoute que nous avons tendance à tort à considérer que les systèmes énergétiques sont plus statiques et stables qu'ils ne le sont en réalité. Cela signifie que la transition pourrait être bien plus rapide que nous l'imaginons.

« Il n'y a aucune raison de penser que l'énergie n'est pas exposée aux forces de disruption qui ont transformé de nombreuses autres industries. L'histoire nous montre que quand le changement se produit, il peut être rapide et dramatique », conclut le CSIS.

► La France n'a pas de stratégie énergétique cohérente

**Cour des Comptes
Rapport Soutien aux énergies renouvelables
Avril 2018**

Déjà en 2013, les magistrats de la Cour des comptes jugeaient sévèrement la politique de soutien aux énergies renouvelables du gouvernement. Ils dénonçaient le caractère « difficilement atteignable » des objectifs publics d'implantation d'éoliennes, de panneaux solaires et autres dispositifs de production d'énergie verte, ainsi que le « montant très élevé des engagements financiers consentis par l'État ».

Cinq ans plus tard, en mars 2018, selon la même Cour des comptes et faute de « ... définir une stratégie énergétique cohérente », la situation a empiré.

En 2013, rappelle la Cour des comptes dans son rapport, l'Union européenne avait fixé un objectif de 27 % d'énergies renouvelables en 2030 dans la production d'électricité. La France a décidé d'aller plus loin. En 2015, Ségolène Royal, alors ministre de l'Environnement, impose un objectif de 32 %. Mais il s'y ajoute une difficulté de taille : la nécessité de baisser dans le même de 75 % à 50 % la part du nucléaire dans la production d'électricité d'ici à 2025. Une décision prise par François Hollande et confirmée par Emmanuel Macron. Et cela coûte très cher.

Pour la seule année 2016, la Cour des comptes estime la somme des dépenses publiques consacrée aux énergies renouvelables à 5,3 milliards d'euros. En 2023, cette somme devrait

atteindre 7,5 milliards. L'État a multiplié les aides et les incitations, surtout avant 2011, avec des tarifs garantis de rachat de l'électricité et des subventions. Autant d'engagements financiers de long terme pour des résultats qui ne sont pas à la hauteur, dénonce la Cour des comptes : l'État doit ainsi payer chaque année 2 milliards d'euros pour produire via le solaire... 0,7 % du mix électrique français. Soit, d'ici à 2030, pas moins de 38,4 milliards d'euros, pour une goutte d'eau énergétique.

La critique de la Cour des comptes est d'autant plus rude qu'en dépit de l'argent public dépensé, aucune filière industrielle de poids n'a été créée. « *Contrairement à d'autres États européens, la France n'est pas en effet parvenue à se doter de champions dans ce secteur* », écrit la Cour des comptes.

► Les marchés financiers anticipent le changement climatique

Columbia University
Février 2019

Une étude de l'université Columbia s'est intéressée aux prix et aux cours des produits et des instruments financiers directement liés aux évolutions du climat et notamment aux contrats à terme à Chicago. Elle conclut que si les opinions publiques sont de plus en plus concernées, c'est le cas aussi des investisseurs.

« *Quand de l'argent est en jeu, les agents anticipent de façon précise les évolutions climatiques en ligne avec le consensus scientifique et les modèles climatiques* », écrivent les chercheurs de Columbia.

► L'intermittence du solaire et de l'éolien renchérit considérablement le coût de l'électricité

Université de Chicago
Avril 2019

Une équipe d'économistes de l'université de Chicago a publié en avril 2019 une volumineuse étude détaillant les raisons pour lesquelles l'électricité solaire et éolienne a renchérit considérablement le coût de l'électricité dans les États américains qui ont suscité son développement. Elle compile des données récoltées de 1990 à 2015.

Il en ressort que les États ayant investi et incité à investir

dans les renouvelables ont vu en moyenne les prix de l'électricité augmenter en moyenne de 11 % au bout de sept ans et de 17 % au bout de douze ans par rapport aux États n'ayant pas fait ses choix.

Le coût au total pour les consommateurs est considérable : « *Tout compris, sept ans après le virage des renouvelables dans 29 États, les consommateurs ont payé 125,2 milliards de dollars en plus pour leur électricité qu'ils ne l'auraient fait sans le choix des renouvelables* ».

Pour Columbia, les études précédentes étaient trompeuses, car elles ne prenaient pas en compte trois types de coûts : l'intermittence des renouvelables, la quantité importante d'espace qu'ils nécessitent et la décision de renoncer à d'autres sources d'énergies comme par exemple le nucléaire.

► L'arrivée des véhicules électriques ne conduit pas nécessairement à une réduction des émissions de CO₂

Centre d'études économiques de Munich (IFO Institute)
Avril 2019

Selon une étude de l'IFO Institute de Munich, les véhicules électriques auront toutes les peines à réduire les émissions de CO₂ liées au trafic routier en Allemagne au cours des prochaines années. Les voitures électriques émettraient en fait entre 11 et 28 % de plus de CO₂ que leurs équivalents diesel. Ceci serait la conséquence de la quantité d'énergie utilisée dans la fabrication des batteries. Par exemple, la fabrication d'une batterie de Tesla Model 3 correspond à l'émission de 11 à 15 tonnes de CO₂. Cela revient à 73 à 98 grammes par kilomètre en prenant en compte une durée de vie de 10 ans du véhicule et une utilisation d'environ 15 000 kilomètres par an.

L'énergie produite pour recharger les véhicules entre également en compte, notamment en Allemagne qui à côté des éoliennes et des panneaux solaires utilise de nombreuses centrales au charbon. Ainsi, au total cette même Tesla Model 3 consommerait entre 156 et 181 grammes de CO₂ par kilomètre, plus qu'un véhicule diesel de taille comparable !

Enfin, l'étude dénonce la législation européenne. L'Union européenne autorise l'inclusion des véhicules électriques dans les calculs « zéro émission » de CO₂. Cela implique que les véhicules électriques ne génèrent pas d'émissions de ce type, ce qui est totalement faux !

Le chaos règne dans la « Gigafactory » de Panasonic et Tesla

BUSINESS INSIDER publie une enquête explosive sur la monumentale « Gigafactory » de Panasonic et Tesla qui fabrique les batteries pour les voitures du même nom. Il régnerait un indescriptible chaos dans ce très vaste bâtiment construit en 2016 dans le désert du Nevada où le japonais Panasonic produit les cellules que Tesla assemble pour fabriquer les batteries lithium-ion installées dans ses véhicules et notamment le fameux Model 3.

Business Insider dénonce des procédures de contrôle et de fabrication déficientes, une accumulation d'erreurs humaines potentiellement dangereuses et volontairement ignorées, le sabotage des systèmes destinés à suivre les produits et à s'assurer de leur qualité. Et tout cela pour tenir les cadences infernales de production.

Selon trois salariés anonymes de l'usine, Panasonic mettrait ainsi au rebut tous les jours près de 500 000 cellules sur les 3 millions produites ! Il est arrivé à plusieurs reprises que le personnel fasse tomber divers objets (du scotch, des ciseaux, des outils...) dans les cuves géantes de 5 mètres de haut destinées à mélanger le lithium et les autres matériaux utilisés pour fabriquer les cellules. Ces différents objets sont retrouvés quand les cuves sont nettoyées ! Toute impureté peut rendre les batteries défectueuses et même dangereuses s'il s'agit d'un morceau de métal créant un court-circuit dans une cellule.

Une fuite d'huile détectée tardivement aurait conduit en septembre dernier Panasonic à rechercher pendant deux semaines, dans la panique et parmi les millions de cellules produites les



jours précédents d'éventuelles contaminations pouvant là encore être potentiellement dangereuses.

Le système de traçage de la production, qui repose avant tout sur la production de documents en papier à chaque étape de sa fabrication, serait totalement déficient. Il serait en outre régulièrement contourné par les salariés de l'usine qui substituent des documents. Des caméras installées pour détecter des erreurs de fabrication sont aussi parfois masquées afin de ne pas ralentir la cadence de production en cas d'incident.

Et il y en a des incidents. Ils sont fort heureusement détectés pour la plupart à la fin du processus de fabrication quand les feuilles sont enroulées pour fabriquer le cylindre de la cellule. C'est lors de cette phase que Panasonic mettrait au rebut un demi-million de cellules défectueuses par jour ! « Et pourquoi nous rejetons un

demi million de batteries par jour ? Parce que les gens ne savent pas travailler et les produits ne sont pas propres », déclare un ancien employé à Business Insider. Il ajoute : « Si Elon Musk savait ce qu'il se passe réellement, il péterait un câble. »

Le même Elon Musk a mis une pression considérable sur la production de la Gigafactory affirmant en juillet dernier que la production de batteries restreignait la sortie des Tesla Model 3 dont la cadence de fabrication est vitale pour le constructeur.

Il semble également que les relations entre Tesla et Panasonic se soient dégradées. Les deux sociétés ont annoncées en avril avoir gelé le projet d'extension de la Gigafactory. Enfin, Panasonic détient une bonne partie des 18 milliards de dollars d'obligations émises par Tesla dont 4,8 milliards arrivent à échéance cette année. ■

L'arme secrète chinoise pour dominer la production

Anjani Trivedi, spécialiste de l'industrie en Asie, explique dans une chronique publiée par l'agence Bloomberg quelle est la stratégie gagnante des constructeurs automobiles chinois dans le véhicule électrique. Les constructeurs chinois sont en train d'accumuler les « crédits verts » accordés par le gouvernement pour promouvoir la production de véhicules électriques baptisés « véhicules nouvelle énergie ».

Ces « crédits verts » sont attribués aux industriels en fonction de la production de voitures électriques et de la baisse de consommation de leurs véhicules à moteur thermique. Il faut au moins 10 crédits de véhicules nouvelle énergie pour avoir le droit de fabriquer et de vendre 100 véhicules thermiques. L'an prochain, il faudra 12 « crédits verts » pour avoir le droit de fabriquer 100 véhicules thermiques. L'an dernier, l'industrie a respecté ses contraintes et les 22 millions de véhicules fabriqués en Chine ont obtenu 17,5 crédits pour 100 véhicules fabriqués. Mais... ces crédits ont surtout été obtenus par les constructeurs locaux.

Les grandes marques chinoises BYD, Geely Automobile et SAIC Motor ont raflés 96 % de ces crédits. Les constructeurs étrangers implantés en Chine n'ayant pas les crédits suffisants pour fabriquer et importer leurs véhicules thermiques, ils sont contraints de les demander à leurs partenaires et concurrents chinois... Pour Anjani Trivedi, les constructeurs partenaires chinois disposent ainsi d'un moyen de pression sur les constructeurs étrangers notamment pour augmenter leurs parts dans les joint ventures.

LES ÉTATS-UNIS PERDENT LA BATAILLE DE LA VOITURE ÉLECTRIQUE

LES ÉTATS-UNIS sont en train de perdre la bataille industrielle la plus importante du moment, celle de la voiture électrique. Ce constat sans appel est fait dans Forbes par Paul Bledsoe, ancien responsable de la communication sur le climat à la Maison-Blanche sous la présidence de Bill Clinton, conseiller stratégique du Progressive Policy Institute et professeur à l'American University Center for Environmental Policy.

« Nous permettons à la Chine et à d'autres nations de s'emparer de la plus grande opportunité industrielle et environnementale. Les véhicules électriques vont assurer la croissance de l'industrie automobile mondiale au cours des prochaines années en passant d'environ 1,1 million de véhicules produits l'an dernier à 30 millions en 2030. La Chine domine le marché émergent des véhicules électriques avec environ 40 % de la production mondiale et a planifié un développement encore plus rapide. Les États-Unis produisent aujourd'hui seulement 20 % des voitures électriques dans le monde... »

Paul Bledsoe propose un plan massif et considère que « les incitations fiscales actuelles sont inadéquates et bénéficie surtout à un petit groupe d'acheteurs fortunés ». Il demande au Congrès d'accorder des crédits d'impôts plus généreux pour les véhicules bon marché que pour ceux qui sont chers. Il demande également d'inciter fiscalement à la revente des véhicules gros consommateurs d'essence avec un faible kilométrage pour l'achat de véhicules électriques afin de pousser les flottes à renouveler rapidement leur parc.

Il estime que le gouvernement fédéral et les États doivent investir rapidement en encourageant le développement d'infrastructures de recharge publiques et privées.

Enfin, les États-Unis doivent rapidement produire eux-mêmes les métaux qui sont cruciaux pour la fabrication des batteries.

Les choses sont d'ailleurs en train de changer au Congrès. La présidente de la Commission de l'énergie et des ressources naturelles, Lisa Murkowski, a l'intention de présenter une loi qui accélère l'obtention de permis d'exploiter des mines de lithium et de cobalt et d'encourager le recyclage de ces métaux.

« C'est une compétition que l'Amérique ne peut pas se permettre de perdre », conclut Paul Bledsoe.

Bataille boursière pour le pétrole de schiste américain

Le pétrole de schiste est devenu l'objet d'une bataille boursière entre deux géants américains de l'industrie pétrolière. À coup de dizaines de milliards de dollars, Occidental Petroleum et Chevron tentent chacun de prendre le contrôle de leur compatriote Anadarko.

Anadarko a d'abord dit oui à Chevron en éconduisant Occidental Petroleum. L'offre de 33 milliards de dollars de Chevron était la plus importante OPA du secteur pétrolier depuis 2015. Deux semaines plus tard, fin avril, Occidental est revenu à la charge avec une surenchère à 57 milliards de dollars. Anadarko a changé d'avis. D'autant plus qu'Occidental a reçu deux soutiens de taille : celui de la holding du milliardaire Warren Buffet, Berkshire Hathaway, et du pétrolier français Total.

Berkshire Hathaway promet d'investir 10 milliards dans Occidental en cas de rachat d'Anadarko. Et Total s'est engagé à racheter à Occidental pour 8,8 milliards de dollars les actifs africains d'Anadarko. Notamment un gisement de gaz au Mozambique, des puits de pétrole en Algérie, un champ offshore au Ghana et des droits d'exploration en Afrique du Sud. Mais le principal attrait d'Anarko est d'être l'un des pétroliers les mieux implantés dans le bassin permien situé aux États-Unis entre le Nouveau Mexique et le Texas. Son rachat permettrait à Occidental ou Chevron de devenir un acteur majeur de ce nouvel eldorado du gaz et du pétrole de schiste : le bassin pétrolier le plus productif au monde avec plus de 4,1 millions de barils par jour.

HYPERLOOP : UNE PREMIÈRE PISTE D'ESSAI À TOULOUSE

La société américaine Hyperloop Transportation Technologies (Hyperloop TT) a commencé en avril 2019 dans son centre de recherche de Toulouse, les essais de la première piste d'essai à taille réelle au monde de l'Hyperloop, ce train théoriquement capable de se déplacer à plus de 1 000 km/h dans un tube sous vide.

Les tests ont commencé par la phase de dépressurisation des tubes. Ils devaient être suivis par des essais de la capsule passagers. Cette dernière, baptisée Quintero One, mesure 2,7 mètres de diamètre, 32 mètres de long, et dispose d'un espace intérieur de 15 mètres.

Le projet Hyperloop a été lancé en 2013 par le fondateur de Tesla et de Space X, Elon Musk. Il promet un moyen de transport sûr et écologique, plus rapide que l'avion. Installés dans une capsule, les passagers seraient transportés par propulsion électrique à plus de 1 000 km/h. Il suffirait de 45 minutes pour relier Marseille à Paris...

Trois cent personnes travaillent à la conception de ce fantasme technologique. Hyperloop TT a réuni 295 millions de dollars grâce à de nombreux investisseurs dont la SNCF. Le groupe ferroviaire français dit vouloir apprendre de l'expertise technique d'Hyperloop pour développer son TGV de nouvelle génération.



Aramco, entreprise la plus profitable du monde

Aramco, le géant pétrolier saoudien, a été en 2018 et de loin l'entreprise la plus profitable au monde avec un bénéfice de 111 milliards de dollars, près du double de celui d'Apple (59,53 milliards de dollars). Pour donner un ordre d'idée, Aramco a dégagé l'an dernier un bénéfice supérieur à ceux combinés de J.P. Morgan Chase, Alphabet (la société qui détient Google), Facebook et Exxon qui représente 106 milliards de dollars. La société a produit

en 2018, 13 % du pétrole mondial. Autre illustration de la taille d'Aramco, ces réserves pétrolières sont cinq fois supérieures à celles combinées d'ExxonMobil, Shell, Chevron, Total et BP. Aramco a révélé ses comptes dans un prospectus pour émettre 10 milliards de dollars d'obligations. Cet argent doit permettre à Aramco de prendre une participation pour un total de 70 milliards de dollars dans la société pétrochimique saoudienne.

Le plus étonnant est qu'en dépit de ces profits massifs, Aramco n'a pas la meilleure note des agences de ratings comme Moody's du fait de sa dépendance envers l'économie saoudienne et le pouvoir politique de la monarchie au pouvoir dans le pays. Moody's attribue la note de risques A1 à Aramco tandis que par exemple Exxon Mobil à Aaa et Chevron Aa2 pour rester dans le pétrole. « Le fait que la note de crédit soit liée à celle de

l'Arabie Saoudite (A1) est significatif et résulte de notre décision de lier la note d'Aramco à celle du gouvernement saoudien », explique Moody's dans une note. « Bien qu'il existe un passé montrant qu'Aramco a été géré comme une société commercialement indépendante, le budget de l'État saoudien est très dépendant des contributions d'Aramco sous forme de royalties, de taxes et de dividendes », ajoute Moody's.

Dubaï : 13,6 milliards de dollars dans le premier parc solaire du monde

Le parc solaire le plus ambitieux du monde est entré dans sa huitième année de développement. Il devrait être terminé en 2030 dans le désert de Dubaï, la plus grande ville des Emirats arabes unis. Il s'agit d'un investissement colossal de la Dubai Energy and Water Authority de 50 milliards de dirhams soit 13,6 milliards de dollars. Les images satellites montrent déjà des kilomètres de cellules photovoltaïques alignés le long de lignes nettes est-ouest. Une fois achevée, la centrale solaire pourrait alimenter en électricité 1,3 million de foyers. Elle fournira alors 5 000 mégawatts. Les phases 1 et 2, sont déjà terminées. Elles comptent 2,3 millions de modules photovoltaïques d'une capacité de 213 mégawatts. La troisième phase en construction ajoutera plus de trois millions de modules photovoltaïques et 800 mégawatts de capacité. Elle sera livrée en 2020. EDF est partenaire de cette phase 3 du projet. Par ailleurs, la base de la plus haute tour CSP (tour d'énergie solaire concentrée) du monde est maintenant terminée. La centrale



Le schéma d'une tour d'énergie solaire concentrée.

utilisera des héliostats appelés miroirs pour concentrer la lumière du soleil au sommet de la tour afin de chauffer un flux de sels fondus. La chaleur dégagée sera utilisée pour entraîner les turbines à vapeur et générer de l'électricité. Le parc combinera ainsi les panneaux photovoltaïques et l'énergie solaire concentrée (CSP). Le CSP est

considéré comme énergétiquement plus efficace que le photovoltaïque et peut stocker de la chaleur pendant quinze heures donc produire de l'énergie même la nuit quand il n'y a pas de soleil. Dubaï entend produire 25 % de son énergie à partir de sources propres d'ici à 2030 et 75 % d'ici à 2050, soit 42 000 mégawatts.

LA FINANCE VERTE A ENCORE DU CHEMIN À FAIRE

SI LES « fonds verts » se multiplient, le manque de financement reste le premier obstacle à la transition énergétique selon le cabinet d'audit et de conseil Mazars. Il constate dans un récent rapport que de nombreux acteurs financiers conservent une attitude conservatrice à l'égard des investissements « verts », liés à la transition énergétique et au développement durable. Il y a clairement un décalage entre le monde financier et celui de l'industrie et des services.

Pour réaliser cette étude, Mazars a interrogé 270 dirigeants et décideurs sur leurs intérêts et leurs actions en lien avec la transition énergétique. Il en ressort que si la majorité des entreprises (57 %) placent la transition énergétique parmi leurs priorités, elles annoncent dans un même temps manquer de ressources pour initier de tels projets : seuls 29 % des PME et 53 % des grands groupes disent pouvoir financer leur pro-

pre transition. Car dans le même temps, 54 % des investisseurs ne voient pas l'intérêt d'investir dans les actifs bas carbone et 64 % des acteurs financiers n'en font pas une priorité.

Le problème est logiquement plus criant pour les PME dont 71 % ont indiqué éprouver des difficultés à dégager des ressources financières pour lancer des projets de transition énergétiques contre 47 % des grands groupes.

La frilosité des investisseurs interrogés par Mazars (fonds, gestionnaires d'actifs, banques, assurances, etc.) est frappante. Ils semblent conscients de l'enjeu énergétique (80 % considèrent qu'ils ont un rôle à jouer) mais ne souhaitent pourtant pas risquer d'investir dans de tels projets... Ainsi 54 % des investisseurs ne voient pas d'intérêt à investir dans des actifs bas carbone. Mais ils sont 80 % à continuer à investir dans les énergies fossiles, considérant qu'elles offrent toujours des rendements élevés !

Energy Observer, le premier navire autonome en énergie

QUINZE années de course au large ont convaincu le navigateur malouin Victorien Erussard de la vitesse à laquelle le milieu marin se détériorait. Conscient de l'urgence de la transition énergétique – notamment dans le secteur du transport maritime, qui reste le plus gros producteur de particules fines –, cet officier de marine marchande a abandonné la compétition en 2013 pour se lancer, sous le double parrainage de Nicolas Hulot et de la directrice de l'institut de recherche CEA-Liten, dans un projet entrepreneurial inédit : tester en milieu extrême les technologies énergétiques afin de permettre leur application à grande échelle.

Avec le soutien d'Accor, Delanchy, thélem et Engie, Victorien Erussard a transformé, pour 5,5 millions d'euros, un ancien maxi-catamaran en laboratoire expérimental flottant. Mis à l'eau en 2016, *Energy Observer* est devenu le premier bateau autonome en énergie, propulsé grâce à une chaîne de production hydrogène complète, couplée aux énergies renouvelables.

Trois ans plus tard, *Energy Observer* emploie une vingtaine de personnes. Il a déjà fait escale dans seize pays et son village itinérant a été visité par plus de 200 000 personnes. Des centaines de maires, présidents de

région et de collectivités, ministres, industriels, journalistes ont découvert ce bateau explorateur de solutions technologiques propres. Plus de 10 000 milles parcourus par tous les temps ont permis de valider le système de production d'énergie à base d'hydrogène vert, en particulier les technologies d'électrolyse de l'eau de mer et de pile à combustible.



Des dizaines de reportages, une web série, un documentaire de 13 épisodes diffusés sur Canal+ ont été consacrés à cette odyssée. En juin dernier, *Energy Observer* a même fait l'objet d'un sujet de physique-chimie du baccalauréat série scientifique (« Estimer le nombre de jours qu'il faut pour produire la quantité de d'hydrogène nécessaire pour remplir la totalité des réservoirs alors que le bateau est

tracté par l'aile de kite géante... »). Les retombées médiatiques, qui touchent une soixantaine de pays, sont estimées à une vingtaine de millions d'euros en équivalent d'achat d'espace.

Communiquer par l'exemple a permis à *Energy Observer* de devenir l'ambassadeur officiel de la France pour les objectifs de développement durable de l'Onu, mais aussi de l'Irena (Agence internationale des énergies renouvelables), de l'Unesco, de la Commission européenne et de la Convention des maires.

Energy Observer doit encore parcourir le monde jusqu'en 2023, pour tester entre autres les Oceanwings®, deux ailes de propulsion éolienne de 31,5 m² chacune, rotatives, autoportées et 100 % automatisées.

« Ces ailes peuvent constituer une véritable rupture technologique dans la réduction des dépenses énergétiques des navires de commerce. Associées à l'hydrogène, c'est le combo gagnant pour un transport maritime propre », affirme Victorien Erussard, dont le projet entre dans une nouvelle phase. *Energy Observer* ambitionne de devenir l'un des acteurs majeurs de la métamorphose de la mobilité maritime en développant des écosystèmes portuaires d'hydrogène vert. ■

Lorraine Avel

LE LUXEMBOURG MISE SUR LA FINANCE VERTE

par Léon Thau

**Les besoins en capitaux pour financer la transition énergétique sont considérables.
Le Grand-Duché s'est doté de nombreux outils pour y contribuer.**

La transition énergétique nécessite de mobiliser des moyens financiers considérables pour développer à la fois les technologies et les infrastructures... et cela en quelques dizaines d'années. La mission de la finance verte est de parvenir à attirer les capitaux, à encourager les initiatives prometteuses et à accroître la rentabilité des actifs verts pour aligner les initiatives privées et publiques. Une tâche considérable. L'Accord de la COP21 signé fin 2015 prévoit de lever dans le monde pour la transition énergétique 100 milliards de dollars par an jusqu'en 2020 et 1 milliard de dollars, toujours par an, à l'horizon 2030.

Assez logiquement, le Luxembourg a décidé de se développer dans la finance verte et d'en faire même un axe stratégique important pour sa place financière. Partenaires publics et privés ont ainsi créé au cours des dernières années une sorte de boîte à outils contenant différents produits et services adaptés aux besoins des investissements verts.

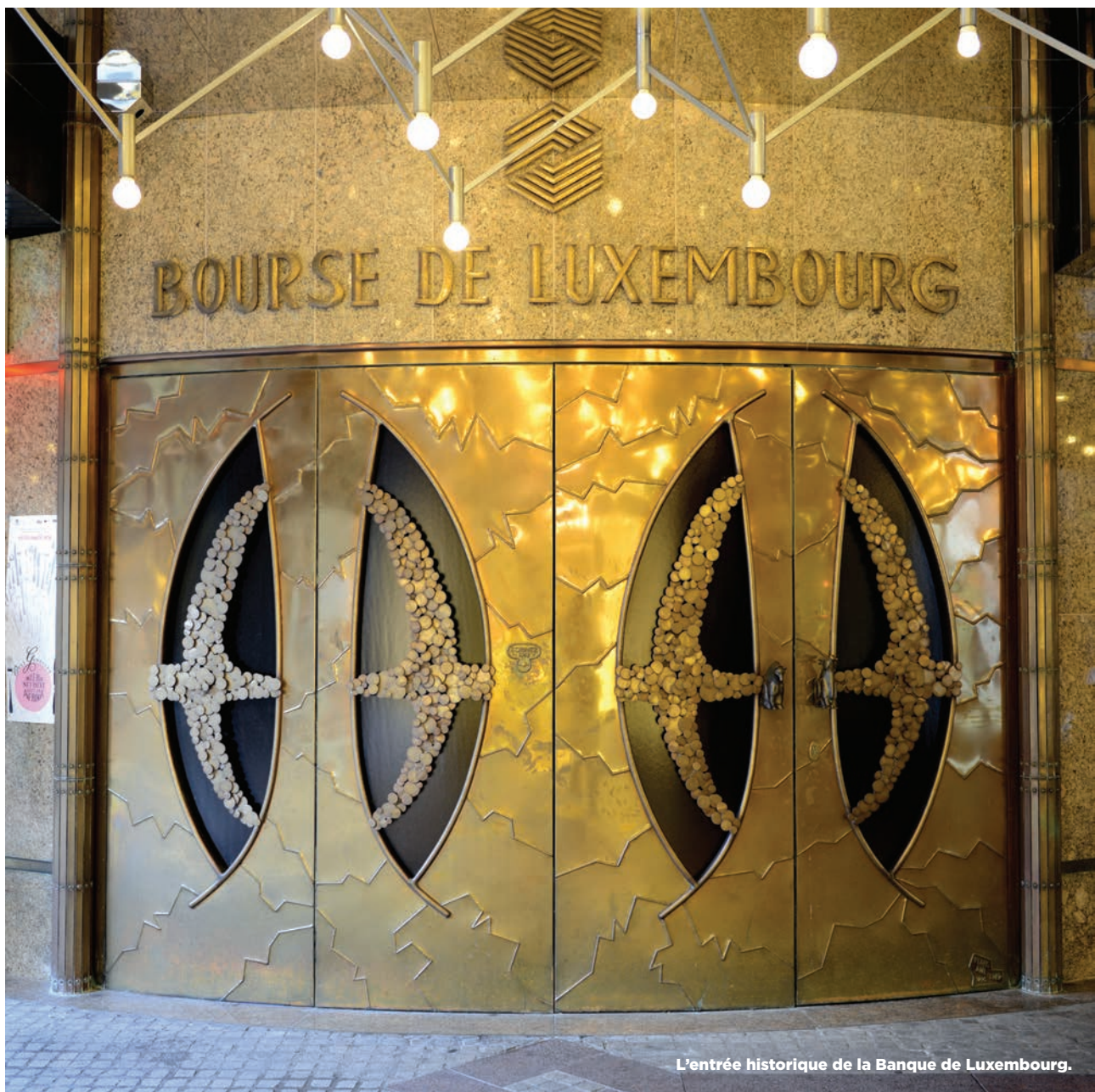
On y trouve des obligations vertes et des fonds d'investissement dédiés au développement durable. Une plate-forme de financement climatique a été créée en partenariat entre l'État luxembourgeois et la Banque européenne d'investissement (BEI). Il faut y ajouter la création de labels de qualité pour les produits de finance verte et le lancement d'une plate-forme boursière dédiée à ces instruments.

L'agence de labellisation LuxFLAG a vu le jour en 2016. Son label garantit que les fonds d'investissement consacrent réellement les ressources levées à la protection du climat. LuxFLAG a aussi créé en 2017 un label identique pour les obligations vertes.

La Bourse de Luxembourg s'est dotée du Luxembourg Green Exchange (LGX) où sont cotées la moitié des obligations vertes de la planète avec un encours supérieur à 100 milliards d'euros. Cela reste modeste, mais la croissance est rapide. En deux ans d'activité, le volume en montant des obligations vertes émises a été multiplié par trois et le nombre d'obligations cotées a plus que doublé pour atteindre 220 titres.

Le Luxembourg est ainsi devenu un acteur important de ce nouveau segment de la finance. Sa part de marché s'élève à 39 % en Europe en matière de fonds d'investissement responsable, et 61 % des actifs sous gestion de ces fonds sont domiciliés au Grand-Duché, selon l'agence de promotion de la place financière luxembourgeoise Luxembourg for Finance.

Le marché des obligations vertes est particulièrement prometteur. À ses débuts, les émetteurs et les investisseurs étaient seulement de grandes institutions comme la Banque mondiale. Cette dernière a en quelque sorte créé les « green bonds » en en étant le premier émetteur en 2007. En 2013, des acteurs



L'entrée historique de la Banque de Luxembourg.

privés sont arrivés sur ce marché. Il y a eu notamment Apple qui, voulant devenir son propre fournisseur d'énergie renouvelable, a émis des obligations vertes pour un montant qui atteint aujourd'hui 2,5 milliards de dollars. Depuis 2017, les États sont devenus aussi des émetteurs dont la France qui, avec 7 milliards d'euros, a émis la plus grande obligation verte.

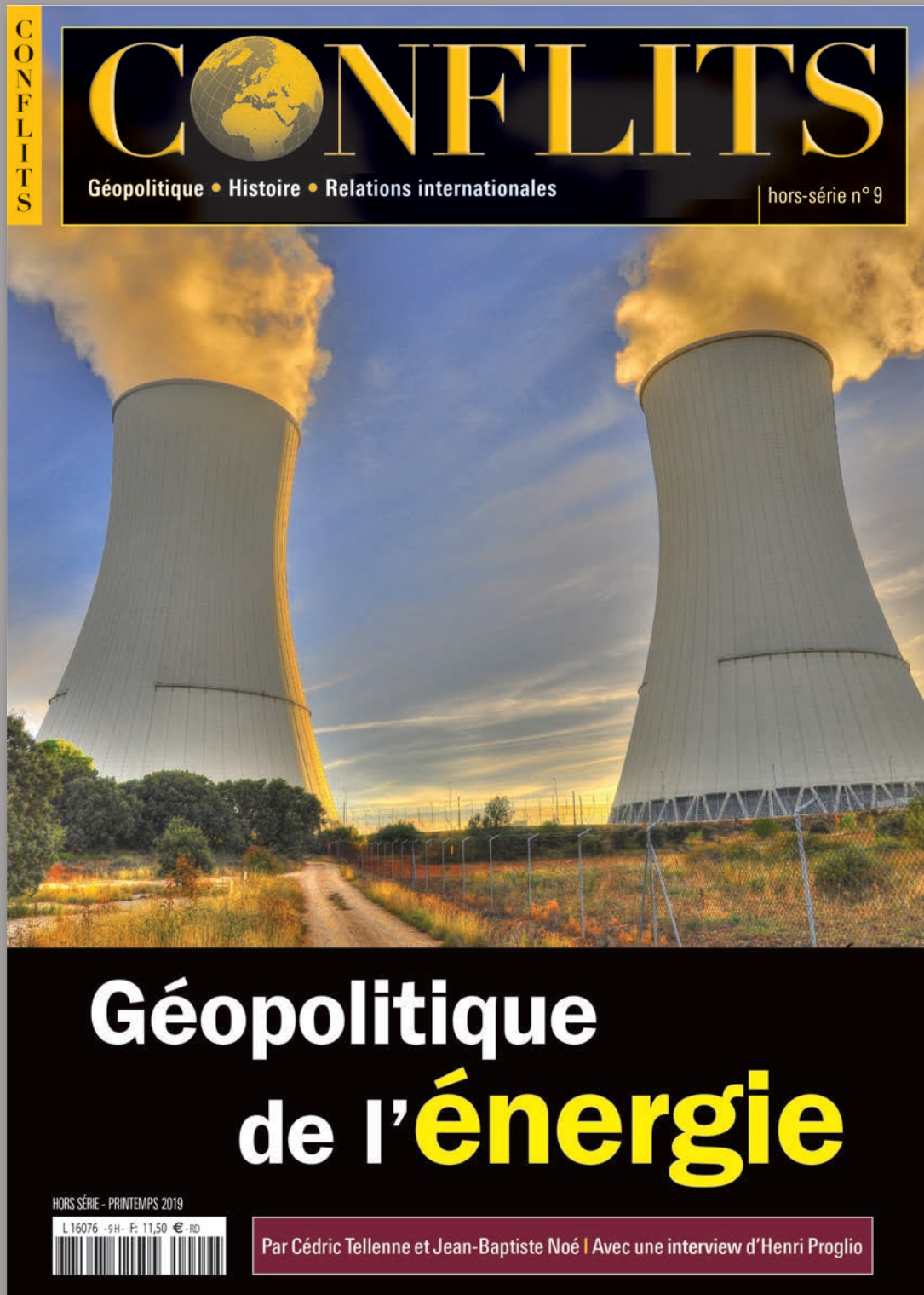
La valeur de l'ensemble des obligations cotées est de l'ordre de 1 000 milliards d'euros, une somme non négligeable mais marginale sur un marché obligataire mondial qui atteint plus de 100 000 milliards d'euros.

Mais la demande d'obligations vertes est forte de la part

des grands fonds de pension, des États ou des citoyens qui veulent des placements plus verts. La maturité longue des obligations vertes, plus de vingt ans pour la plupart, attire aussi des investisseurs de long terme en quête de stabilité.

La Commission européenne a décidé également d'apporter son soutien à ce marché. Elle est de train d'élaborer le « Green bond standard », une mise en commun sous son égide des initiatives privées de classification des actifs verts. Il s'agit d'obliger les gestionnaires d'actifs à renseigner les investisseurs sur la durabilité des investissements et de s'assurer qu'ils correspondent bien à leur objet annoncé. ■

Découvrez la revue **CONFLITS**



**En vente chez votre marchand de journaux
ou sur le site www.revueconflits.com**



GREEN AXXE **la plate-forme**

Médias • Communautés
Innovation • Expertise
Investissement • Conseil



Lancement fin septembre 2019

contact@greenaxxe.com