



# La recherche, un accélérateur nécessaire vers la neutralité carbone

**S**elon la définition classique forgée au début de l'ère industrielle, l'énergie est la capacité d'un système à produire un travail. Aujourd'hui, dans nos sociétés modernes, cette définition semble bien limitée par rapport à ce que l'énergie offre réellement. Dans une perspective plus large et actualisée, nous pourrions la redéfinir comme la capacité à produire des biens à haute valeur ajoutée. De fait, grâce à l'énergie nous bénéficions de l'éclairage, de chaleur, d'eau propre, de nourriture abondante, de mobilité, d'information... En somme d'une simple pression sur un interrupteur ou d'une ouverture de vanne, nous profitons de tout le confort nécessaire, et bien plus encore, dans nos maisons et nos usines. Nous lui devons nos récoltes, leur conservation par le froid, leur transport, mais aussi l'éducation, la santé et la sécurité. Notre civilisation

repose sur l'accès à l'énergie. Le corollaire est qu'en son absence, tout s'effondre.

Absence ne signifie pas disparition, car, les lois de la thermodynamique sont formelles, l'énergie se conserve. Nous ne pouvons pas en fabriquer plus, nous ne pouvons que la déplacer et surtout la transformer. Le cœur de notre relation avec l'énergie se situe à ce niveau : exploiter à notre avantage ces transformations et contenir leurs impacts environnementaux. Or étendre à tous les bénéfices de l'énergie sans réchauffer l'atmosphère, acidifier les océans ni éroder les terres exige de réfléchir au développement de nouvelles solutions.

## LA COMPLEXITÉ DU MONDE

Dans notre monde moderne, nous avons chacun un rapport ambivalent avec l'énergie, entre exaltation et culpabilité : c'est un sérieux dilemme. Comment pouvons-nous retirer tous

## SOMMAIRE

### II LA RECHERCHE, UN ACCÉLÉRATEUR NÉCESSAIRE VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE

Michael E. Webber

### IV LES MOLÉCULES DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Ronnie Belmans et Jan Mertens

### VIII POUR UNE DÉCARBONATION OPTIMALE

Hugues de Peufelhous, Gauthier de Maere d'Aertrycke  
et Pierre-Laurent Lucille

### X LA RÉVOLUTION ATTENDUE DES BATTERIES

Rafael Jahn, Dominique Corbisier et Paulo Torres

### XII UN MARIAGE DE RAISON

Carole Le Henaff, Grégoire Hévin, Christian Huet et Delphine Patriarche

### XIV UNE MOBILITÉ ÉLECTRIQUE RÊVÉE

Laurent De Vroey

### XVI VERS DES CROISIÈRES PLUS PROPRES

Frédéric Legrand et Gabrielle Menard

### XVIII POUR UNE INDUSTRIE ZÉRO CARBONE

Ludovic Ferrand, Philippe Buchet et Jean-Pierre Keustermans

### XX L'AVENIR DES POMPES À CHALEUR

Akim Rida et Jean-Yves Druillenec

### XXII CHAUFFER SANS RÉCHAUFFER... LE CLIMAT !

Benjamin Haas et Mures Zarea

### XXIV UN MONDE DÉCARBONÉ... ET CLIMATISÉ

Rodolphe Desbois et Cristian Muresan

### XXVI VERS UNE AGRICULTURE NEUTRE EN ÉMISSIONS

Elodie Le Cadre Loret et Bérengère Genouville

### XXVIII POUSSER À L'OMBRE DU SOLAIRE

Jöran Beekkerk Van Ruth, Stijn Scheerlink, Rob Kursten et  
Claire Du Colombier

### XXX TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, L'INDISPENSABLE COMPLÉMENTARITÉ

Adeline Dutierque, Luc Goossens et Jan Mertens

les bienfaits de l'énergie sans les inconvénients associés de la pollution, de la volatilité des prix et des risques pour la sécurité nationale ?

La réponse est de reconnaître que chaque carburant ou technologie a ses avantages et ses inconvénients. La consommation d'énergie dans le monde est un système complexe qui comporte un grand nombre d'éléments. Le secteur de l'énergie est étroitement connecté à la société par de nombreux liens, évidents ou non.

S'il est une leçon que nous devons garder à l'esprit pour relever les défis associés à l'énergie, c'est qu'il n'existe pas de solutions universelles et immédiates. Nous avons besoin d'un ensemble de solutions adaptées à chaque territoire, car aucune option unique ne peut nous conduire vers un avenir décarboné sans un inconvénient majeur : un coût très élevé, un déploiement à une échelle insuffisante ou une faible fiabilité.

Cela signifie que nous avons besoin d'architectes énergétiques innovants pour développer davantage d'options, réduire le coût de celles existantes et optimiser la façon dont elles s'articulent. L'un des enjeux d'avenir pour les pouvoirs publics sera de soutenir financièrement le monde de la recherche, dans le domaine de l'énergie, pratiquée en laboratoires industriels, nationaux et universitaires à travers le monde afin d'accélérer le rythme de l'innovation. Et parce que le défi est complexe et trop important pour qu'une entreprise ou un gouvernement puisse le relever seul, nous devons collaborer par-delà les secteurs, les disciplines universitaires et les frontières.

La solution passe par l'abandon des vieux cliqués qui opposent les combustibles fossiles aux énergies renouvelables, l'électricité au gaz et bien d'autres conflits stériles. Nous avons besoin d'une vision plus précise. Les anciennes stratégies qui nous ont conduits là où nous en sommes – forer plus, construire plus de routes, consommer plus – ne nous seront d'aucun secours. Une ferveur technologique dépassée en des gadgets plus « intelligents » ne sera pas d'une plus grande utilité. L'efficacité énergétique est une manière de réduire notre empreinte carbone sans réduire notre qualité de vie mais ce n'est pas assez.

Le moyen le plus rapide, le moins cher et le plus fiable d'atteindre la neutralité carbone des énergies repose sur un mix d'électricité et de combustibles à faible teneur en carbone. Nous avons besoin, d'une part, de nouvelles formes d'énergie plus propres et, d'autre part, d'une réduction des émissions des formes d'énergie conventionnelles avec, par exemple, la capture et le stockage du carbone, afin de maintenir et même d'élargir l'accès à l'énergie sans « brûler notre maison ».

Les domaines sur lesquels nous pouvons agir rapidement sont nombreux. Citons la production d'électricité à faible teneur en carbone issue de l'éolien, du solaire et de la géothermie, les gaz à faible teneur en carbone comme le biométhane, le méthane synthétique, l'hydrogène et les

vecteurs d'hydrogène (l'ammoniac, l'acide formique et le méthanol). D'autres leviers importants résident dans les technologies diminuant les quantités de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par le biais du piégeage du carbone, le captage direct de l'air et la séquestration du carbone dans le sol, ainsi que dans les outils transversaux, notamment les drones, les robots, les capteurs et l'intelligence artificielle. On peut enfin compter sur les utilisations intelligentes et efficaces de l'énergie s'appuyant sur le stockage de l'énergie, les appareils intelligents et l'éducation des utilisateurs pour modifier les comportements et les habitudes.

Chez ENGIE, les programmes de recherche portés par nos équipes de chercheurs sont organisés autour de ces thèmes, et notre analyse des travaux des principaux laboratoires nationaux et des plus grandes entreprises internationales du secteur révèle que nous ne sommes pas les seuls à envisager l'avenir de cette façon. De fait, nous sommes tous confrontés aux mêmes problématiques. Peut-être pourrions-nous agir collectivement et donc plus rapidement ?

L'adoption d'un ensemble de solutions plus propres tout en améliorant l'accès à l'énergie et en fermant nos actifs les plus polluants est le chemin que nous devons emprunter vers l'avenir. Le changement est une chose souhaitable, et nous devons nous y atteler, mais sa mise en place est lente. Il est largement temps de nous y mettre. C'est ici que le besoin de recherche est le plus prégnant : accélérer la transition.

## LE TEMPS PRESSE

Des décennies, voire des siècles, sont le plus souvent nécessaires pour passer d'un combustible ou d'une technologie dominante à un autre. Aux États-Unis, le charbon est devenu la source d'énergie la plus populaire en 1885 et n'a été dépassé par le pétrole que soixante-cinq ans plus tard, en 1950. Le pétrole est toujours en tête aujourd'hui, mais pourrait bien être dépassé par le gaz naturel dans la prochaine décennie, ce qui mettrait fin à quatre-vingts ans de règne.

Si le gaz naturel présente des avantages notables en termes d'environnement et de performance, nous n'aurons pas quatre-vingts ans pour le remplacer par des options plus propres, comme l'électricité sans carbone ou d'autres gaz à faible empreinte environnementale. La course est lancée, à vive allure, et notre tâche, dans le monde de la recherche, est d'atteindre la dimension industrielle de ces alternatives et d'en diminuer les coûts afin qu'elles puissent être adoptées à grande échelle le plus rapidement possible.

Maintenant la mission de nos équipes est d'accélérer le rythme afin de relever les défis énergétiques aux côtés de nos partenaires scientifiques et académiques et de contribuer à développer les solutions énergétiques d'avenir qui permettront de préserver la biodiversité, le climat et l'inclusion sociale. ■