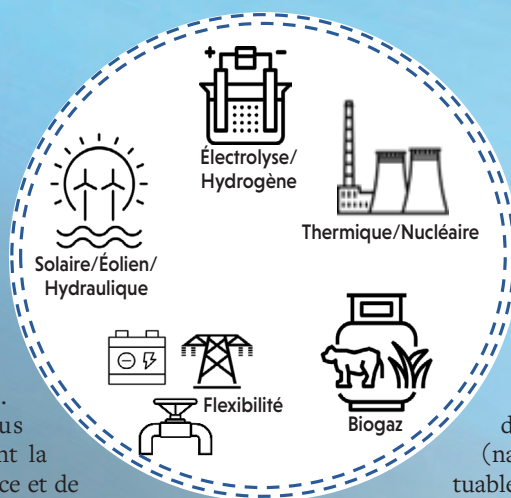


pas horaire, est un progrès décisif. Grâce à cette étude, on a désormais accès à l'impact réel des contraintes techniques et économiques, comme la saisonnalité de la consommation et de la production, les pics de consommation, ainsi qu'à l'interdépendance économique des sources de production.

Cinq scénarios ont été modélisés. Intéressons-nous aux deux plus représentatifs de ceux qui réussissent la transition : ceux d'électrification précoce et de transition multiveurs équilibrée. Dans le premier, l'Europe substitue son mix actuel essentiellement par de l'électricité verte, en comptant uniquement sur ses ressources domestiques pour des questions d'indépendance. L'Europe électrifie tôt et fortement l'ensemble des usages finaux pour atteindre la décarbonation complète. Ce scénario requiert une électrification intense, supérieure à 60 % des besoins énergétiques contre 25 % aujourd'hui.

Dans le second scénario, l'Europe promeut le développement de l'électricité verte et celui des gaz verts (biométhane, hydrogène vert...). Le continent peut cette fois importer du gaz vert de certains partenaires commerciaux. Les importations concerneraient en majeure partie du méthane de synthèse élaboré à partir d'électricité verte destiné aux pays du Nord. Mais même dans ce scénario ouvert aux importations, l'indépendance de la zone Europe étudiée serait bien supérieure (82 % à 2050 contre 17 % aujourd'hui).

Dans les deux scénarios, la flexibilité du système électrique est analysée, résultant de la mobilisation optimale de chacune des ressources, des batteries disponibles jusqu'aux centrales thermiques alimentées par des gaz verts. La tension maximale n'est plus comme aujourd'hui l'heure de plus forte demande absolue, mais la période où la différence entre cette demande et la contribution des ressources renouvelables intermittentes est la plus forte, ce qui correspond par exemple à plusieurs jours sans vent en hiver. Le scénario d'électrification précoce est plus sensible à ces effets et doit déployer davantage de ressources de flexibilité pour y faire face. Quels sont les principaux enseignements ?



Les contributeurs de la transition énergétique.

D'abord, et c'est rassurant, la neutralité carbone est possible selon plusieurs scénarios plus ou moins électrifiés. Dans tous les cas, la transition repose sur trois piliers : l'efficacité énergétique, le développement massif des énergies renouvelables électriques et une répartition optimisée des usages par vecteur. Ce dernier point conduit à l'utilisation du gaz (naturel, puis vert) là où il est peu substituable et plus compétitif.

DES COÛTS IDENTIFIÉS EN DÉTAIL

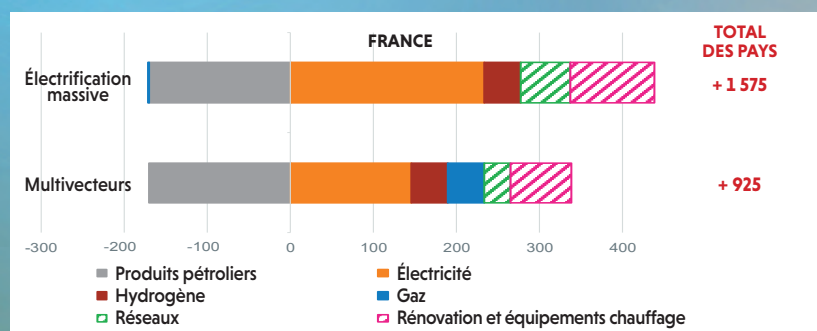
Autre enseignement, la décarbonation selon le scénario multiveurs bénéficie de coûts plus optimisés (voir la figure ci-dessous) qu'avec l'électrification. L'écart s'élève à 650 milliards d'euros, les coûts étant calculés en valeur nette actualisée de l'ensemble du système énergétique. Comment expliquer ce surcoût ? Parce que le scénario multiveurs n'impose ni de développer de nouvelles capacités de production flexibles ni de surdimensionner le réseau de transport et de distribution électriques pour compenser l'intermittence de l'électricité renouvelable.

L'étude montre également que les ressources européennes en biométhane sont pleinement valorisées dans tous les scénarios de décarbonation, associées à 500 térawattheures d'hydrogène vert, soit un peu plus que la consommation française actuelle en gaz naturel. Le complément est apporté soit par des importations de gaz verts dans le scénario multiveurs, soit par une production supplémentaire d'hydrogène en Europe dans le scénario d'électrification.

La France dispose en Europe d'un avantage concurrentiel sur les ressources renouvelables – vent, soleil et biomasse – et devra toutes les solliciter. S'appuyer sur seulement deux des trois ressources conduirait à surdimensionner inutilement le système électrique européen, alors même que les besoins en développement annuel de capacités renouvelables s'élèvent déjà à 44 gigawatts (27 pour le solaire et 17 pour l'éolien) pendant trente ans, ce qui constitue un défi majeur tant en termes d'investissement que d'acceptabilité.

Au final, si l'électrification de certains usages est indispensable, le curseur ne doit sans doute pas être poussé trop loin au risque d'une transition énergétique excessivement brutale sur le plan technique sans aucun gain environnemental. Utiliser pleinement les différents vecteurs décarbonés (dont les gaz verts) permet une transition plus résiliente et moins chère lorsqu'on mesure les effets tout au long de la chaîne de valeur, et pas seulement à la production ou à la consommation d'énergie. Transmis à la Commission européenne ! ■

Selon le scénario, électrification massive ou multiveurs, le surcoût (ici pour la France, en milliards d'euros, et en rouge pour l'ensemble des pays de l'étude) par rapport à une trajectoire inchangée dite « business as usual » diffère.



La station belge
Princesse Élisabeth,
en Antarctique.

La révolution attendue des batteries

L'essor des énergies renouvelables réclame un large déploiement de solutions de stockage de l'électricité. Les technologies actuelles sont performantes, mais encore insuffisantes. La recherche s'active pour y remédier.

Ancrée sur un éperon rocheux, la station Princesse Élisabeth trône en Antarctique. Cette base scientifique belge, inaugurée le 15 février 2009, a la particularité d'utiliser exclusivement les énergies renouvelables grâce à l'énergie solaire fournie par des panneaux photovoltaïques et des panneaux thermiques, complétée par neuf éoliennes. Cette prouesse a été rendue possible par les nombreuses batteries installées pour stocker l'électricité et en gérer les intermittences.

De fait, ces dispositifs seront incontournables pour réussir la transition énergétique vers le zéro carbone. Celle-ci requiert un essor important des sources renouvelables dont l'intermittence dépassera les limites de stabilité du système électrique actuel, au moins de façon locale. L'intermittence est une caractéristique plus complexe à gérer qu'on ne le pense. Aujourd'hui, le réseau électrique, les

LES AUTEURS

RAFAEL JAHN ET
DOMINIQUE CORBISIER,
ENGIE LABORELEC.
PAULO TORRES, ENGIE

productions classiques interconnectées et les réserves de production contractées par l'opérateur du réseau sont souvent suffisamment développés pour atténuer les intermittences rapides (de la seconde jusqu'au quart d'heure). Par ailleurs, la question se pose également pour les intermittences plus longues, pendant quelques heures nuageuses, durant la nuit et lors des journées sans vent ni grand soleil. Augmenter les productions classiques mises en attente ne peut être la seule solution.

PALIER LES INTERMITTENCES

Dans un monde idéal engagé dans la transition énergétique, nous aurons besoin de stockage bon marché, sécurisé et suffisamment performant pour atténuer des fluctuations tant rapides que lentes, favoriser le développement des productions individuelles locales, soutenir la stabilité du réseau par des moyens non carbonés, stocker massivement l'électricité pour une mise à disposition modulable de l'électricité verte... Dans cette gamme de besoins, le stockage par batteries a un rôle important à jouer, mais plusieurs défis restent à relever.

Aujourd'hui, le stockage de l'énergie électrique par batterie est essentiellement fondé sur la technologie lithium-ion. Cette technologie est assurément mature, mais pas complètement