

La révolution du numérique dans le domaine de l'énergie

Par Jean THERME

CEA

La montée en puissance des énergies renouvelables dans le monde, et en particulier du solaire, modifie profondément les modèles économiques du secteur de l'énergie. Décentralisation des décisions, usagers replacés au cœur des systèmes, autoconsommation, pilotage et gestion de l'énergie dans le bâtiment, nouvelles formes de mobilité, ce sont là autant d'attentes que les technologies du numérique peuvent satisfaire.

Alors, numérique-énergie : une convergence naturelle... ou une révolution ?

Sûrement une révolution, mais à conduire, en premier lieu, dans les esprits !

Introduction

La transition énergétique constitue un enjeu politique, géostratégique et économique majeur. Face à des ressources fossiles limitées et au phénomène sans précédent du changement climatique, de nouveaux modèles de production et de consommation s'imposent.

En Allemagne, ce virage a déjà été pris avec l'*Energiewende*. Il démontre la complexité des phénomènes en jeu et ses impacts pour l'Europe. Ainsi, par exemple, l'insertion des énergies renouvelables intermittentes dans un réseau électrique continental.

Dans le domaine de l'énergie, la recherche et l'innovation portent sur l'infrastructure physique, dont il s'agit d'améliorer les performances et de baisser les coûts (recherches sur les composants et les systèmes de production solaire, les batteries et autres systèmes de stockage, les systèmes de gestion et d'insertion des productions intermittentes sur le réseau électrique, les composants des réseaux de chaleur, etc.). Des transformations profondes amènent néanmoins la recherche et l'innovation à relever de nouveaux défis.

Deux évolutions fondamentales sont aujourd'hui à l'œuvre. Elles modifient considérablement le modèle économique du secteur de l'énergie : d'une part, la décentralisation de la production d'énergie introduite par les énergies renouvelables entraîne un rapport entre consommateur et producteur radicalement différent puisque l'on peut être les deux à la fois et, d'autre part, l'émergence de nouveaux modes de consommation d'énergie s'appuyant sur la vague du numérique vont profondément modifier la dynamique de ce secteur.

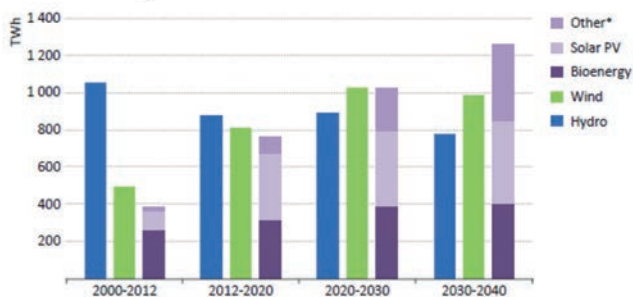
Grâce au numérique, responsabilité individuelle et responsabilité collective peuvent être liées, constituant les germes d'une révolution sociétale. Les modèles d'innovation dans l'énergie en seront bouleversés.

Un paysage énergétique nouveau : la montée en puissance des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables, qu'elles soient dédiées à la production d'électricité, de carburant ou de chaleur, représentent, selon l'AIE ⁽¹⁾, 14 % de la demande en énergie primaire mondiale en 2013 (142 Mtep). En 2040, l'agence, dans son scénario médian, estime que les énergies renouvelables représenteraient 19 % de la demande primaire, en croissance continue (918 Mtep). L'électricité est le vecteur le plus concerné, avec une stabilisation des capacités de production d'hydroélectricité, mais une croissance très forte de l'éolien et du solaire photovoltaïque, comme l'indique le Graphique 1 de la page suivante.

La production de chaleur connaîtrait une croissance identique : en faisant abstraction de la biomasse solide « traditionnelle » (renouvelable, mais aux conséquences sanitaires négatives - pollution de l'air intérieur et extérieur), les renouvelables « modernes » représentent, d'après l'AIE, 345 Mtep de chaleur produite en 2012 et devraient atteindre 715 Mtep en 2040.

(1) World Energy Outlook, Agence Internationale de l'Énergie, 2014.



* Other includes geothermal, concentrating solar power and marine.

Graphique 1 : Productions d'électricité renouvelable (hydraulique, éolien, biomasse, solaire photovoltaïque et autres) dans le monde 2000-2040 - Source : AIE WEO 2014.

La lame de fond des renouvelables est inéluctable : la baisse du coût de ces énergies, la gestion efficace de l'intermittence solaire en lien avec la maîtrise des consommations et, surtout, l'équivalence, dans de nombreux pays, entre consommation électrique et production solaire en milieu de journée sont autant d'éléments sur lesquels nous avons des retours d'expérience positifs, en particulier grâce aux projets réalisés en Savoie par l'Institut National de l'Énergie Solaire (INES).

Un nouveau modèle économique dans le domaine de l'énergie

De nouveaux modèles de production

L'appropriation par le citoyen de sa production d'énergie est un des éléments moteurs du rôle croissant des renouvelables dans la transition énergétique.

En Allemagne, cette évolution est devenue une réalité. Plus de 50 % de la capacité électrique renouvelable installée (53 GW entre 2000 et 2010 provenant de l'éolien, du solaire photovoltaïque et de la biomasse) est désormais la propriété de personnes privées (40 %) et d'agriculteurs (11 %) (2). Pour le solaire photovoltaïque, c'est 61 % de la capacité installée qui est la propriété de ces mêmes acteurs. Les quatre grands électriciens allemands ne possèdent que 7 % de cette capacité renouvelable. De plus, la structure décentralisée de l'État allemand a permis l'émergence d'initiatives locales et de processus citoyens de type *bottom-up* dans le domaine de la production d'énergie.

En France, les énergies renouvelables bénéficient d'une perception positive : 88 % des sondés souhaitent consommer l'électricité photovoltaïque qu'ils produisent, 81 % estiment que les renouvelables leur permettent de réaliser des économies sur leur facture (3). Malgré cela, les projets citoyens qui ont vu le jour en Allemagne ou au Danemark peinent à émerger en France en raison d'un cadre réglementaire et financier moins favorable et trop rigide (4).

Au-delà de ces différences, l'évolution de la société en faveur d'une plus grande participation citoyenne et d'une autonomie accrue dans les choix de production et de consommation d'énergie est une tendance lourde. Cette évolution pourrait s'accélérer avec la pénétration des nouvelles technologies

du numérique dans le secteur de l'énergie. Les technologies qui ont permis l'émergence et la démocratisation d'Internet pourraient en effet être transposées au secteur de l'énergie. Ce faisant, le numérique pourrait faciliter la mise en place d'une économie post-carbone fondée sur des relations plus coopératives.

De nouveaux modèles liés à l'autoconsommation

La banque UBS estimait en 2013 que 18 % de la demande en électricité en Allemagne, en Italie et en Espagne pourraient être assurés en 2020 par du solaire autoproduit sans tarif incitatif (5). En Allemagne, des dispositions incitatives en faveur de l'autoconsommation ont été renforcées, depuis le 1^{er} mai 2013, au travers d'une subvention favorisant le stockage d'électricité d'un montant de 660 euros par kilowatt pour les systèmes photovoltaïques d'une puissance inférieure à 30kW.

En France, l'autoconsommation est également en voie d'exploration. Un groupe de travail réuni en 2014 par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie a proposé d'expérimenter un dispositif de soutien à l'autoconsommation pour le tertiaire/industriel de puissance, les « îlots urbains » et les zones non interconnectées. Ce nouveau modèle économique (6), qui, en France, exclut le résidentiel (ce dernier bénéficiant d'un tarif d'achat pour le solaire photovoltaïque), implique de maîtriser la demande en énergie et le stockage. Sur le plan réglementaire, la loi sur la Transition énergétique (7) prévoit également l'expérimentation de territoires dits « à énergie positive pour la croissance verte » afin d'accompagner et d'encourager la couverture des besoins en énergie par les ressources locales. Les acteurs locaux de l'énergie (régies locales, agglomérations, métropoles) peuvent ainsi décider de leur propre avenir énergétique. Comme l'a montré l'expérience dans certains territoires européens (Autriche, Danemark, Allemagne), cette évolution passe par un recours accru aux renouvelables et par une participation active des citoyens (8).

Ainsi, les conséquences de l'irruption de nouveaux modes de production et de consommation sont multiples. À cet égard, l'évolution du secteur de l'énergie pourrait être comparée à celle connue par les télécommunications à la fin des années 1990. De 20 millions d'abonnés au service « 2G » de téléphonie mobile numérique en 1992 dans le monde (9), on est passé à près de 7 milliards d'utilisateurs en 2013. Parmi les raisons

(2) Trend Research 2012, cité par l'IDDRI, voir note (4).

(3) Sondage IFOP pour Qualit'ENR, janvier 2014.

(4) « Projets citoyens pour la production d'énergie renouvelable : une comparaison France-Allemagne », Noémie Poize (RAEE) & Andreas Rüdinger (IDDRI), working paper, IDDRI, n°1, 14 janvier 2014.

(5) UBS Investment Research, The unsubsidised solar revolution, 15 janvier 2013.

(6) Le calcul des primes se base sur les quantités d'énergie autoproduites et vendues et sur la puissance maximale injectée dans le réseau.

(7) La loi sur la transition énergétique a été adoptée par l'Assemblée Nationale, le 14 octobre 2014.

(8) Voir note (4).

(9) Wireless and Mobile Communication, Sanjeev Kumar, New Age International Ltd, 2008.

Produits de Deltadore et de Vesta system



DeltaDore propose un produit de gestion et de pilotage domotique sur les quatre fonctions suivantes : éclairage, énergie, volets et sécurité. Un produit qui inclut une application sur *smartphone*, comme de nombreuses entreprises du secteur.

La *start-up* grenobloise Vesta System propose des solutions logicielles d'accompagnement de l'utilisateur dans sa découverte du pilotage énergétique par une présentation intuitive des données.



Sources : Deltadore et Vesta system.

de cette croissance figurent l'adoption d'un standard, la déréglementation du marché, la baisse des coûts des terminaux, l'évolution rapide des technologies, le changement de modèle de vente (forfaits avec terminal inclus), et surtout les nouveaux modes de consommation, le consommateur devenant producteur de contenus multimédia. Autant d'éléments dont la similitude avec la situation actuelle dans le domaine de l'énergie est frappante. Dans un secteur énergétique déjà en cours de décentralisation, le numérique constitue dès lors un puissant facteur d'évolution vers l'émergence de services nouveaux, comme on peut le vivre aujourd'hui dans le secteur des communications.

Le numérique bouleverse le monde de l'énergie

« Peut-être que l'énergie n'est plus une offre industrielle à l'utilisateur final, mais un service d'usage qui sera porté constamment par le consommateur dans sa mobilité, aidé en cela par les outils numériques »⁽¹⁰⁾. La révolution du numérique dans le secteur de l'énergie est déjà en marche. La convergence entre technologies numériques et technologies de l'énergie se trouve renforcée par la décentralisation des modes de production dans les deux domaines précités, avec pour conséquence un nouveau modèle d'énergie plus coopératif, basé sur le partage et l'interdépendance.

Un renouveau pour la domotique

Avec 44 % du bilan énergétique français, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est le plus gros consommateur d'énergie (les deux tiers de cette consommation sont dus au

secteur résidentiel)⁽¹¹⁾. Contribuant à 20 % des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES), il constitue le premier gisement d'économies d'énergie, et donc de réduction des émissions de GES.

Le consommateur se place au centre de toute stratégie de pilotage. Son rôle est essentiel : responsable, il est conscient de ses choix et de leur impact, guidés par des motivations individuelles (réduire sa facture) et collectives (écologie). De très nombreux acteurs économiques l'ont compris.

Tout d'abord, les grands de l'Internet ont massivement investi ce domaine, à commencer par Google, qui a procédé à de nombreuses acquisitions, dont la plus emblématique est celle de la *start-up* NestLabs : achetée en 2014, pour 3,2 milliards de dollars, cette entreprise est spécialisée dans les objets « intelligents » (alarmes anti-incendie et thermostats connectés à Internet). Grâce au thermostat à apprentissage Nest, pilotable *via* un *smartphone*, Google entend ainsi élargir ses activités à l'habitat connecté en se basant sur sa connaissance des comportements des utilisateurs.

Les industriels des équipements électriques voient ainsi venir la vague du numérique dans leurs métiers⁽¹²⁾, et de nom-

(10) Dominique Chauvin, animateur du groupe Énergie Climat au sein du think tank Idées (fondation Tuck), cité par Nidam Abdi, *Le Cercle, Les Echos.fr*

(11) Chiffres clés Climat Air Énergie 2013, ADEME.

(12) Par exemple, la Fédération des industries électriques, électroniques et de communication - FIEEC (« Les industries électro-technologiques au service de la société ») ou le Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés - GIMELEC (« Efficacité énergétique, levier de la transition énergétique »).



Photo © Lydie Lecarpentier/REA

Inauguration de « SMART ZAE », premier réseau électrique intelligent testé à l'échelle d'une zone d'activité en France, Toulouse, septembre 2014. « Le rôle du consommateur actuel est essentiel : responsable, il est conscient de ses choix et de leur impact, guidés par des motivations individuelles (réduire sa facture) et collectives (écologie). De très nombreux acteurs économiques l'ont compris. »

breuses sociétés proposent déjà des solutions en matière de domotique et de gestion de l'énergie.

La domotique « nouvelle ère » est en plein développement : elle s'incarne dans des équipements simples et des services numériques complexes dotés d'interfaces intuitives répondant au besoin d'ubiquité de l'usager dans le contrôle de sa consommation énergétique.

Néanmoins, cette domotique plus connectée n'impliquera pas nécessairement un gain majeur en termes de consommation énergétique du secteur ou de réduction des émissions de GES : la véritable innovation en rupture avec les modes constructifs actuels et la rénovation du parc des logements existants n'interviendra qu'à la seule condition de savoir mesurer avec confiance la performance énergétique d'un bâtiment dans le temps ⁽¹³⁾, avant d'optimiser le pilotage fin de ses consommations.

Des systèmes de mobilité économes et optimisés

Avec les nouvelles formes de mobilité (électrique, auto-partage, covoiturage), il devient indispensable de planifier ses trajets, de pouvoir localiser une borne de recharge, d'adopter un mode de conduite économe, de gérer l'énergie à bord

d'un véhicule en fonction de l'environnement extérieur (relief, température...), de rejoindre ses passagers co-voitureurs lors d'un voyage, d'identifier le meilleur parking, de se connecter au système de transport public... Le nombre de véhicules connectés au Web devrait approcher les 150 millions en 2020. Le métier de constructeur automobile va évoluer, passant de fabricant d'objets à fournisseur de services de mobilité. Cette évolution est déjà engagée chez Renault autour du programme Zoé, qui ne pouvait plus être vu comme un véhicule traditionnel ⁽¹⁴⁾. Sur ce programme, Renault a expérimenté de nouvelles formes d'organisation en réintégrant le processus de conception du véhicule dans son écosystème (infrastructures, partenaires, clients).

Ces nouveaux services menacent parfois l'ordre établi : ainsi, UberPOP, un service de covoiturage urbain promu par l'en-

(13) La grande majorité des bâtiments pilotes ou démonstrateurs est en échec en termes de performance énergétique, celle-ci restant souvent très en deçà de la performance promise.

(14) Intervention de Christophe Midler et de Felix Von Pechmann lors du séminaire « Ressources technologiques et Innovation », sur le thème « Du véhicule électrique à l'électromobilité », organisé le 17 décembre 2014 par l'École de Paris du Management.

treprise californienne de véhicules avec chauffeur, Uber, a été interdit dans plusieurs pays, du fait de la menace de concurrence qu'il exerce sur la profession régulée des chauffeurs de taxi.

Gérer le foisonnement des productions

L'intermittence des énergies renouvelables reste un frein à leur insertion massive sur le réseau électrique. Gérer le foisonnement des productions photovoltaïques consiste à optimiser un « pool » de centrales pour maîtriser leurs variabilités individuelles et lisser cette intermittence. Par exemple, le projet EnRPool ⁽¹⁵⁾ a montré que si l'écart type de la variation de puissance d'une centrale photovoltaïque était de 10 % sur une année, il passait à 5 % pour un pool constitué de vingt de ces centrales, et à 4 % si l'on additionnait toutes les centrales photovoltaïques suivies par RTE (Réseau de Transport d'Électricité). En d'autres termes, s'il reste difficile d'estimer à l'avance la variabilité d'une seule centrale photovoltaïque, il est plus aisé d'estimer la variabilité du pool photovoltaïque national, et donc d'anticiper les stratégies de gestion à mettre en place (pilotage de la consommation, couplage à d'autres sources de production d'électricité, appel à du stockage). Cela requiert une synchronisation de l'ensemble des données de production, ce qui est désormais possible grâce au numérique.

Conclusion

Avec l'amélioration de l'infrastructure physique, l'enjeu majeur des modèles d'innovation dans l'énergie sera de réussir la convergence avec le numérique en remplaçant l'utilisateur au

cœur du système. Seuls les acteurs ayant réussi à adapter leurs modes d'ingénierie et d'innovation, ainsi que leurs modèles d'affaires seront en mesure d'en retirer les bénéfices.

On constate, grâce aux expérimentations menées au sein de la structure Ideas Laboratory à Grenoble, que les approches créatives sont encore peu développées dans le domaine de l'énergie. Pour réussir cette convergence entre numérique et énergie, les acteurs de l'innovation devront élaborer des stratégies d'usage déterminées par des imaginaires porteurs de sens. Or, le domaine de l'énergie est caractérisé par un imaginaire d'usages pauvre, voire parfois négatif (discours moralisateurs ou culpabilisants). Par exemple, donner du sens à une production décentralisée d'énergie pourrait signifier substituer à une perception négative (investissement spéculatif axé sur des réductions fiscales ou placement financier) un imaginaire positif fondé sur le don d'énergie, sur la solidarité et sur l'autonomie dans l'esprit d'un modèle *peer-to-peer*, soit au sein de la cellule familiale (même éloignée), soit au bénéfice de personnes ou de groupes en situation de précarité énergétique.

En un mot, il s'agirait de donner du sens aux technologies de l'énergie en jouant sur les valeurs de liberté, d'autonomie, de partage et de don social afin de renouveler cet imaginaire qui est le moteur de toute innovation.

(15) Projet financé par l'ADEME et coordonné par EnergyPool.