

Chapitre 1

Reconfigurer l'infrastructure et le système énergétique



Un nouveau souffle dans la lutte contre le réchauffement climatique grâce à une massification de la production d'énergie solaire, éolienne ou géothermique? Une maison offrant accompagnement et confort pour les personnes âgées ou les malades chroniques dans tous les actes de leur vie quotidienne? Des usines économes en énergie et en matières premières? Des bâtiments produisant leur propre énergie? Des villes faiblement polluées, où la circulation des habitants est facilitée?

Dans les années à venir, l'énergie sera plus efficiente, plus sûre et plus propre: au tournant du ^{xxi}^e siècle, le monde de l'énergie est entré dans une révolution majeure qui va profondément modifier la qualité de vie dans les habitations ou les lieux de travail, le mode de vie urbain ou la forme des usines. On appelle cette mutation «Energiewende» en Allemagne, «transition énergétique» en France, «Green deal» au Royaume-Uni... Les citoyens en entendent parler dans la presse: énergies renouvelables, compteurs intelligents, économies d'énergie, voiture électrique... Mais ces éléments ne constituent encore qu'une partie de la révolution en cours. De nombreux services accélérateurs de cette révolution sont en train d'émerger. Leur objet: améliorer la productivité des entreprises, et la santé, le confort et la sécurité des usagers.

Dans l'habitat, les particuliers peuvent dorénavant bénéficier d'une qualité de l'air intérieur améliorée, de services de santé personnalisés, de l'automatisation de certaines tâches pénibles, mais aussi d'un accroissement de leur sécurité, grâce à une détection améliorée des intrusions, des fuites de gaz ou d'eau... Les entreprises, quant à elles, sont en situation d'optimiser la consommation énergétique de leurs locaux et de gérer de façon coordonnée leur sécurité, leur température, leur luminosité, le confort de leurs occupants, ainsi que la

capacité de stocker et de diffuser des informations. Enfin, l'usine d'aujourd'hui voit son fonctionnement transformé : elle devient capable de produire de façon flexible et agile, en minimisant les gaspillages de matières premières et les déchets produits.

Quelle est l'ampleur exacte de cette révolution ? Quels en sont les principaux ressorts ?

– 1 –

UNE NOUVELLE VAGUE DE PROGRÈS ÉNERGÉTIQUE

Une crise énergétique sans perspectives ?

Les systèmes énergétiques actuels sont actuellement peu satisfaisants, tant l'énergie est mal partagée et mal répartie. Alors que le monde de l'énergie se concentre aujourd'hui sur la question de l'offre et du mix, c'est avant tout la question de la consommation et de l'usage qui doit être considérée. L'énergie est tout d'abord massivement gaspillée : dans l'ensemble des pays développés, 20 à 30 % de l'énergie consommée annuellement pourrait être économisée grâce aux technologies actuelles. Par exemple, en France, la simple diffusion à l'ensemble des bâtiments d'outils de pilotage énergétique (capteurs de température, thermostats, compteurs intelligents...) permettrait d'économiser 44 % de la consommation finale d'électricité¹. Le cabinet McKinsey & Company a révélé que les États-Unis pourraient économiser 1 200 milliards de dollars d'ici

1. Filière éco-électrique, *L'efficacité énergétique, levier de la transition énergétique*, 2013. Voir le résumé sur <http://www.efficacite-electrique.fr/2013/01/transition-energetique-eco-electrique>

à 2020 en investissant dans des opérations d'efficacité énergétique². Cette opération permettrait de réduire la consommation d'énergie américaine d'environ 23% d'ici à 2020 – un gain équivalant à la consommation actuelle du Canada. Mais l'accès à l'énergie, notamment électrique, constitue aussi un problème majeur dans de nombreux endroits du monde. En 2010, selon l'Agence internationale de l'énergie, plus d'1,4 milliard de personnes n'ont pas accès à l'électricité. Dans les pays en voie de développement, l'utilisation de l'électricité permet de diminuer l'exposition aux dangers associés aux feux de cuisson et à la fumée. Le chauffage des habitations réduit la prévalence des maladies respiratoires. La conservation des aliments par le froid diminue la survenue des maladies digestives. Dans les pays développés, il existe également une précarité énergétique qui touche un nombre croissant de consommateurs. Enfin, difficile à stocker, l'électricité est, selon les moments, disponible en quantité insuffisante ou produite en excès. Lors des périodes de pointe (« peak load »), les systèmes de production permettent de plus en plus difficilement de faire face à la demande, notamment lors d'épisodes climatiques extrêmes (vagues de froid, canicules) ou en fin de journée.

Pour bien comprendre la mutation en cours, il est nécessaire d'examiner les termes du débat qui oppose certains des plus brillants intellectuels et entrepreneurs de ce début du XXI^e siècle: après les progrès fantastiques que l'énergie nous a apportés au XX^e siècle en termes de qualité et d'espérance de vie, que peut-on attendre de plus de cette ressource, devenue avec le temps quasiment aussi indispensable que l'eau que nous buvons et l'air que nous respirons ?

2. Hannah Choi Granade, Jon Creyts, Anton Derkach, Philip Farese, Scott Nyquist, Ken Ostrowski, *Unlocking Energy. Efficiency in the U.S. Economy*, McKinsey, juillet 2009.

L'innovation technologique en panne d'inspiration... ?

« Nous voulions des voitures volantes, et nous avons eu 140 caractères³ » : il n'est pas rare aujourd'hui de voir un entrepreneur pourtant féru de technologie rappeler cette citation dans les séminaires les plus pointus de la Silicon Valley. Elle a été exprimée pour la première fois en 2010 par Peter Thiel, l'investisseur en capital-risque à l'origine du « Founders Fund ». Elle fait référence à l'application sociale Twitter, l'un des médias sociaux à succès de ces dernières années. Qu'arrive-t-il donc au futur, pour que le doute se fasse entendre dans l'un des épïcêtres de la créativité mondiale ? Le progrès s'est-il arrêté au tournant du siècle ?

En décembre 2012, le professeur américain en sciences sociales Robert J. Gordon notait dans un article fameux du *Wall Street Journal*⁴ que, « pendant plus d'un siècle, l'économie américaine a connu une croissance robuste grâce à de grandes inventions ; cette époque est finie ». L'innovation technologique connaîtrait aujourd'hui un plateau, après une phase de créativité accélérée commencée au milieu du XVIII^e siècle. Plus inquiétant peut-être : selon le chercheur de la Northwestern University, les « deux cent cinquante dernières années de progrès pourraient bien constituer une expérience isolée

3. Voir le manifeste du Founders Fund, "What Happened To The Future?", accessible en ligne : <http://www.foundersfund.com/the-future>

4. Robert J. Gordon, "Why Innovation Won't Save Us; for more than a century, the U.S. economy grew robustly thanks to big inventions ; those days are gone", *The Wall Street Journal Online*, 22 décembre 2012. Lire aussi son ouvrage, *Beyond the Rainbow: The American Standard of Living Since the Civil War*, Princeton University Press, 2012.

dans l'histoire humaine⁵». Après une première révolution industrielle fondée sur la machine à vapeur et le train de 1750 à 1830, le monde aurait connu une deuxième révolution, entre 1870 et 1900, qui aurait entraîné une croissance rapide de la productivité de 1890 à 1970. Ces gains de productivité auraient permis une amélioration importante de la qualité et du niveau de vie. Grâce à l'hygiène, une meilleure conservation des aliments, l'amélioration de la qualité de l'air et la réduction des maladies par manque de chauffage, ces améliorations seraient directement responsables d'un doublement de l'espérance de vie (de 40 ans au début du xx^e siècle, on passe à 80 ans dans les années 2000, dans les pays industrialisés). Ils ont aussi déchargé une partie de l'humanité de tâches répétitives ou ardues, grâce aux machines puis à l'informatique, et engagé ainsi une transformation sociale sans précédent. Dans l'usine ou dans les bureaux, cette révolution a permis d'améliorer les conditions de travail et d'opérer un développement considérable du secteur des services. Même si cette croissance est portée par des innovations variées (moteur à explosion, méthodes d'assainissement de l'eau, chimie), l'électricité joue le rôle principal dans cette aventure, en permettant l'invention du télégraphe et des appareils de communication qui lui ont succédé, de l'ampoule à incandescence, du moteur électrique, des appareils électroménagers et des ordinateurs. Dans cette deuxième période, la croissance annuelle moyenne de la productivité du travail aux États-Unis s'est élevée à 2,33% de 1891 à 1972.

Ce chiffre chute à environ 1,30%, de 1976 à 1996 et de 2004 à 2012, ce qui, selon Robert J. Gordon, serait principalement dû

5. Robert J. Gordon, "Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds", *NBER Working Paper*, Paper N° 18315, août 2012.

à un défaut d'innovation. Si l'électricité a été l'un des éléments décisifs de la deuxième révolution industrielle, Peter Thiel et son « Founders Fund » réservent au contraire certaines de leurs critiques les plus sévères à notre gestion de l'énergie pour la période la plus récente : selon eux, un monde aspirant à davantage de confort consommera nécessairement plus d'énergie, alors que les progrès réalisés n'ont pas permis jusqu'à présent de baisser le coût de production de cette énergie.

Cette période de faible croissance de la productivité, qui dure maintenant depuis une quarantaine d'années, n'aurait été interrompue que pendant ce que Robert J. Gordon présente comme une troisième révolution industrielle, la vague de la « nouvelle économie », de 1996 à 2004, huit années pendant lesquelles la croissance moyenne de la productivité a atteint 2,46 %. Twitter a été créé en mars 2006. Depuis huit ans, « on voit des ordinateurs partout, sauf dans les statistiques de productivité », pour paraphraser la fameuse formule du prix Nobel d'économie Robert Solow.

Nous pourrions donc avoir atteint un plateau dans le progrès technologique, après la mutation des conditions de vie apportée par les révolutions industrielles, un plateau marqué par une progression quasiment nulle de l'espérance de vie et des gains de productivité. L'espérance de vie aux États-Unis est passée de 49 ans au début du xx^e siècle à 74 ans en 1980. En 2011, elle se situait à seulement 78,7 années⁶. Nous serions donc peut-être en train de vivre l'essoufflement d'un modèle économique et technologique, voire de subir les conséquences néfastes de ses excès : obésité, réchauffement climatique, pollution, raréfaction des ressources, extinction des espèces, maladies dues à l'environnement industriel.

6. "Has the ideas machine broken down?", *The Economist*, 12 janvier 2013.

Faut-il pourtant, en ces temps de crise économique et financière, céder au pessimisme? Ce serait se méprendre sur le sens de la phrase de Peter Thiel: l'entrepreneur ne prétend bien évidemment pas renoncer à ses rêves de voiture volante. Il en appelle au contraire au retour de la «fée électricité». Il n'hésite pas à se réclamer du best-seller international du Français Jean-Jacques Servan-Schreiber⁷, qui, dans son ouvrage de 1967 *Le Défi américain*, annonce de manière prophétique la société de l'information telle qu'on la connaît aujourd'hui, et appelle les forces de chaque pays à concentrer leurs moyens pour accoucher de ce nouveau monde. «Cette capacité précieuse d'imaginer le futur séduisait les audacieux et effrayait les timorés et les conservateurs», dira de lui l'avocat et homme politique français Robert Badinter⁸. Ce débat passionnant concernant la conception que l'on peut avoir du futur n'est pas anodin: il a le mérite de rappeler qu'il est de la responsabilité des acteurs d'aujourd'hui d'inventer et de bâtir le monde de demain.

... ou prémices d'une gigantesque révolution ?

De nombreux entrepreneurs et experts détaillent aujourd'hui les potentialités de la troisième révolution industrielle, c'est-à-dire des outils numériques. Certains voient même le futur de façon très optimiste: plutôt qu'une longue période de stagnation, ne serions-nous pas à la veille d'une ère de progrès infini rendue possible par l'essor des technologies

7. George Packer, "No death, no taxes. The libertarian futurism of a Silicon Valley billionaire", 28 novembre 2011, *The New Yorker*, http://www.newyorker.com/reporting/2011/11/28/111128fa_fact_packer#ixzz2OK9HpOeR

8. Hommage de Robert Badinter, église Sainte-Clotilde, 9 novembre 2006.

intelligentes, de la robotique, de la puissance de calcul et des nano- et biotechnologies? Ray Kurzweil⁹, directeur de l'ingénierie chez Google, estime que le progrès des technologies devrait nous faire converger vers un moment de « singularité ». Ce moment serait déclencheur d'une période soumise à une « loi des rendements croissants », c'est-à-dire d'une accélération continue du progrès technologique.

Ray Kurzweil a-t-il raison? Il est trop tôt pour le dire. Tout indique aujourd'hui que la révolution de l'Internet ne s'est pas arrêtée, comme le pense Robert J. Gordon, en 2004, mais qu'elle est en train de se diffuser au monde de l'énergie, ouvrant la voie à une nouvelle révolution des services et des usages. J'ai eu à plusieurs reprises l'occasion d'échanger sur ce sujet avec l'un des plus fervents partisans de cette idée, Jeremy Rifkin¹⁰. Compte tenu de nos expériences dans le secteur de l'énergie, nous sommes tous deux d'accord pour dire que les technologies du numérique sont en train de converger avec les technologies électriques et énergétiques, ce qui crée les conditions d'une véritable troisième révolution industrielle, d'un « Internet de l'énergie ». Si l'on suit Jeremy, ce que Robert J. Gordon présente comme une courte troisième révolution industrielle, qui n'aurait duré que de 1996 à 2004, serait en réalité un mouvement de transformation beaucoup plus large, qui modifierait en profondeur le système énergétique hérité du XIX^e siècle: « La jonction de la communication par Internet et des énergies renouvelables engendre une troisième révolution industrielle (TRI).

9. Ray Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*, Viking/Penguin Books, 1999; *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*, Penguin, New York, 2005.

10. Jeremy Rifkin, *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, Palgrave Macmillan, 2011.

Au XXI^e siècle, des centaines de millions d'êtres humains vont produire leur propre énergie verte dans leurs maisons, leurs bureaux et leurs usines et la partager entre eux sur des réseaux intelligents d'électricité distribuée – sur l'inter-réseau –, exactement comme ils créent aujourd'hui leur propre information et la partagent sur Internet¹¹. »

Jeremy Rifkin identifie cinq éléments fondamentaux nécessaires à la transition énergétique : l'adoption à l'échelle planétaire des énergies renouvelables, la transformation de chaque bâtiment en mini-centrale énergétique, le développement de systèmes locaux de stockage de l'énergie, la création de réseaux intelligents (« smart grids ») de l'énergie à l'image de l'Internet – tout bâtiment excédentaire pouvant vendre son énergie grâce à ces réseaux – et enfin le développement de véhicules électriques connectés aux réseaux, afin de pouvoir stocker ou vendre l'énergie.

Né à la fin du XIX^e siècle dans le cadre d'une vision du monde tayloriste et centralisée, le système énergétique serait en train de s'adapter au nouveau mode de fonctionnement apporté par les technologies de l'information¹².

11. Jeremy Rifkin, *op. cit.*

12. Dans la lignée de Thomas Kuhn, dans *La Structure des révolutions scientifiques*, éditions Champs Flammarion, 1983, cette vision pourrait être appelée « paradigme », qu'il soit défini comme un « âge de l'information » (M. Castells), un « nouvel esprit du capitalisme » (L. Boltanski, E. Chiapello), une « société du savoir » (R. Reich), une « pollinisation » (Y. Moulrier-Boutang).

– 2 –

LA NAISSANCE DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE ACTUEL

Pour bien comprendre la mutation du système énergétique que nous sommes en train de vivre, il nous faut d'abord comprendre les choix dont nous avons hérité : voici donc l'histoire de la création du système énergétique qui a généré la période de croissance sans précédent du xx^e siècle.

Thomas Edison : un génie visionnaire transforme notre vie

Au tournant des années 1870, un jeune employé télégraphiste de la Western Union Telegraph Company, Thomas Edison, s'installe à New York et se voit rapidement confier une mission d'amélioration du téléscripteur de la Bourse de New York. Mais l'un de ses grands projets a trait à la lumière électrique : il cherche à améliorer l'ampoule à incandescence inventée aux alentours de 1830. En 1879, avec le soutien de J. P. Morgan, Thomas Edison crée à New York la société Edison Electric Light Company afin de diffuser et valoriser son invention dans l'éclairage. L'ancêtre de General Electric est né.

Le choix d'un modèle centralisé...

Cette innovation dans l'éclairage est suivie par d'autres inventions, comme la lampe néon du Français Georges Claude en 1902. Mais le défi principal reste l'alimentation des bâtiments en électricité. Selon le sociologue Mark Granovetter, de

l'université de Stanford, Thomas Edison «défend fortement l'idée que l'électricité doit être un bien de commodité et [que] les équipements devraient être construits et vendus à des unités électriques centralisées, plutôt qu'à chaque propriétaire de bâtiment, évitant à celui-ci de produire sa propre électricité¹³». Pour des raisons de coût et de simplicité, il construit donc la première centrale électrique pour alimenter New York en 1882; à l'origine, celle-ci n'alimente que 85 clients et 400 lampes. À partir de cette expérience, les systèmes énergétiques mondiaux se structurent autour d'un modèle centralisé rendu possible par l'amélioration des capacités de transport de l'électricité grâce à la haute tension.

Le modèle centralisé ne triomphe cependant que par l'action simultanée de plusieurs capitaines d'entreprise qui inventent les modèles économiques et œuvrent pour créer des environnements réglementaires propices au développement des technologies. Samuel Insull, d'abord secrétaire d'Edison, est l'un des principaux acteurs de la centralisation du système énergétique américain. Dirigeant d'une centrale électrique à Chicago, il décide d'investir dans la construction de la plus grande centrale du monde, la Harrison Street Station. En 1892, il rapporte d'un voyage en Irlande l'idée de compteurs capables de fixer des tarifs différents en fonction de l'heure de la journée¹⁴. Cela lui permet de réduire

13. Mark Granovetter, Patrick McGuire, "The Making of an Industry: Electricity in the United States", in Michel Callon, ed., *The Laws of The Markets*, Blackwell, Oxford, 1998.

14. Voir notamment Daniel Yergin, *The Quest, Energy, Security, and the remaking of the modern World*, Pearson, 2012; John F. Wasik, *The Merchant of Power: Sam Insull, Thomas Edison, and the Creation of the Modern Metropolis*, Palgrave Macmillan, New York, 2006.

la facture de ses clients de plus de 30% en une année¹⁵ et d'élargir considérablement sa clientèle, en proposant des tarifs accessibles aux ménages et aux petits commerces. Dans les années 1920, l'empire qu'il dirige s'étend sur trente-deux États américains. Samuel Insull cherche aussi à convaincre les États de considérer les entreprises du secteur énergétique comme des monopoles naturels, leur permettant de se développer dans un environnement faiblement concurrentiel, de vendre à des segments élargis de marché et de générer des économies d'échelle par la création de grandes centrales de production électrique.

... et un mode de production taylorisé

Le modèle dessiné par les pionniers du système énergétique est donc celui de l'énergéticien intégré, capable d'assurer à la fois la production, le transport et la distribution d'énergie, grâce à de grandes infrastructures permettant de réaliser des économies d'échelle. Ce modèle se révèle adapté à un mode de production taylorisé, fait d'usines produisant de grandes quantités de produits standardisés. Les États encadrent la création de gigantesques réseaux de transport, qui maillent le territoire. Les secteurs énergétiques des différents pays industrialisés voient l'émergence de structures oligopolistiques, voire monopolistiques. Les équipements électriques du bâtiment se standardisent en plusieurs dizaines d'années. Les moteurs électriques apparaissent et rendent possibles des innovations comme l'ascenseur nécessaire aux gratte-ciel des nouveaux paysages urbains, l'aspirateur (1906)

15. Harold Evans, *They Made America: From the Steam Engine to the Search Engine: Two Centuries of Innovators*, Little, Brown and Company, 2004.

ou la machine à laver (1904). Ces inventions, massifiées après la Seconde Guerre mondiale, ont changé la vie dans les pays industrialisés, diminuant le temps imparti aux tâches ménagères.

Nous vivons encore aujourd'hui dans un monde inventé par des créatifs, des banquiers et des entrepreneurs de la fin du XIX^e siècle, des choix de technologies et de modèles économiques qu'ils ont faits : un système centralisé fondé sur de grandes centrales de production d'énergie. La nouvelle révolution énergétique en cours est un bouleversement du système dessiné au XIX^e siècle.

– 3 –

LA RENCONTRE DE L'ÉNERGIE ET DU NUMÉRIQUE

L'origine du modèle décentralisé et déverticalisé

À partir des années 1970, le système énergétique centralisé commence à être remis en cause. D'un point de vue économique, la diffusion des idées libérales au Royaume-Uni et aux États-Unis dans les années 1980 conduit les pouvoirs publics à scinder les opérateurs énergétiques, afin de stimuler la concurrence. Ce mouvement de « déverticalisation » (ou « unbundling »), qui se généralise aux États-Unis et en Europe au cours des années 1990, débouche sur une transformation du secteur énergétique : les activités de production d'énergie, de transport et de distribution sont progressivement séparées. Cette séparation se déroule dans une époque où l'accroissement de la consommation et l'augmentation des coûts de

production de l'énergie due aux chocs pétroliers successifs fragilisent les investissements de production et de transport. Des black-out surviennent à New York, en Allemagne ou en Inde. Cette tension sur les prix des matières premières pose la question de l'équilibre financier des énergéticiens.

D'un point de vue social, les citoyens s'inquiètent de l'impact environnemental et sanitaire des activités industrielles. Ils se sentent concernés par le réchauffement climatique et se révèlent favorables aux énergies renouvelables. Dès le milieu des années 1970, l'inquiétude à l'égard des impacts négatifs du progrès industriel (tension sur les ressources naturelles, pollution, accidents industriels) remet en question la modernité et la conception du progrès, comme le souligne le sociologue allemand Ulrich Beck en 1986¹⁶. Le phénomène NIMBY («not in my backyard», «pas dans mon jardin») se développe et freine les investissements de production et de transport : il est de plus en plus complexe d'installer des lignes haute tension dans les territoires.

La révolution Internet

Au tournant du ^{xxi}^e siècle, le modèle énergétique issu du ^{xix}^e siècle est donc en crise. Une autre révolution industrielle vient de débiter, appelée à le transformer fondamentalement : la révolution numérique. On peut faire remonter l'histoire d'Internet à l'année 1974, quand les chercheurs américains Robert Kahn et Vinton Cerf imaginent le

16. Ulrich Beck, *Risikogesellschaft*, Suhrkamp Verlag, Francfort, 1986. Traduction française : *La Société du risque. Sur la voie d'une autre modernité*, Éditions Aubier, Paris, 2001.

protocole de communication TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol¹⁷), dans le cadre d'un projet d'une agence du Département américain de la Défense, la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency).

Ce premier modèle d'Internet permet aux créateurs d'information, qu'ils soient professionnels ou amateurs, de rendre accessibles leurs contenus à un public de plus en plus large. Les entreprises traditionnelles s'adaptent à ce nouveau potentiel économique en cherchant essentiellement à dupliquer les modèles économiques traditionnels sur Internet : boutiques de e-commerce, déclinaisons des journaux papier, annuaires en ligne... Cette forme de l'Internet est essentiellement centralisée, comme l'est le modèle traditionnel de l'énergie : de grands acteurs diffusent un contenu « top-down » vers des utilisateurs essentiellement passifs et consommateurs. Elle entraîne une désintermédiation des chaînes de valeur classiques : la distribution physique traditionnelle est concurrencée par la distribution numérique, la grille de programmes télévisuels s'est progressivement délinéarisée grâce aux enregistreurs numériques et à la vidéo à la demande.

Mais, dans les années 2000, une nouvelle vague d'innovations conduit à décentraliser ces modes de fonctionnement traditionnels. Elle s'appuie sur l'avènement du réseau, de la production distribuée et de l'échange. Ce nouveau mode d'organisation se diffuse à l'ensemble de la société et des secteurs de l'économie, en partant originellement du monde de l'information. C'est lui que décrit Jeremy Rifkin, quand il parle de convergence entre le numérique et l'énergie.

17. Vinton G. Cerf, Robert E. Kahn, "A Protocol for Packet Network Intercommunication", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 22, N° 5, mai 1974, p. 637-648.

Dès 1999 apparaît en effet la notion de « Web 2.0 ». Il ne s'agit pas en réalité d'un nouvel Internet, mais du développement d'un certain nombre de caractéristiques inscrites fondamentalement dans le modèle originel d'Internet : les modes de production décentralisés, le partage et l'échange entre ces points décentralisés. Il faut donc nuancer cette tendance du « Web 2.0 », à l'instar du CEO de Google Eric Schmidt au Seoul Digital Forum d'août 2007, qui y voit une notion conçue à des fins commerciales. Il n'en demeure pas moins qu'elle permet de délimiter assez clairement une rupture des comportements et des modèles économiques par rapport au modèle centralisé : le « Web 2.0 » accroît le pouvoir de l'utilisateur final (« empowerment »), que celui-ci soit producteur d'informations (blogueur), artiste, pirate (réseaux « peer-to-peer »), activiste (les « hacktivistes » de Wikileaks ou des révolutions du monde arabe), vendeur d'objets...

Grâce aux technologies numériques, le monde de l'énergie est en train de converger vers un modèle proche du Web 2.0, décentralisé et distribué. Le réseau hérité de la fin du XIX^e siècle est optimisé pour lui donner des fonctionnalités similaires au réseau Internet, c'est-à-dire une caractéristique bidirectionnelle, à la fois en vente (« upload ») et en achat (« download ») : c'est le concept de « smart grid » ou réseau intelligent, qui peut se décliner aussi à une échelle locale (« microgrid »).

La convergence entre le numérique et l'énergie

Contrairement à ce qu'avait imaginé Thomas Edison, dans le nouveau système énergétique les bâtiments, jusqu'alors cantonnés à la simple consommation d'énergie, deviennent capables de la produire. Le premier levier du « Web 2.0 » est en effet le fait qu'une partie du contenu diffusé sur la Toile

est produite par l'utilisateur («user generated content»). Cette évolution a transformé les modèles économiques dans le monde de l'information (presse, édition, télévision) en accroissant le partage d'informations et la création distribuée. Dans le secteur de l'énergie, les bâtiments peuvent s'équiper d'unités de production d'énergie solaire, éolienne ou de cogénération, ainsi que d'outils de pilotage et d'optimisation de leur consommation. Ils deviennent alors capables de produire davantage d'énergie qu'ils n'en consomment, capacité dite «énergie positive» (bâtiment à énergie positive ou Bepos). En poursuivant la comparaison avec le monde de l'Internet, cette production d'énergie décentralisée pourrait être baptisée «user generated energy» (UGE).

Mais que faire de cet excédent d'énergie? Le deuxième levier des modèles «Web 2.0» est l'économie du partage («sharing economy»). Le partage entre les particuliers permet en effet de réduire les gaspillages: pourquoi voyager seul quand on dispose de quatre places dans sa voiture? Pourquoi ne pas louer son appartement quand on ne l'occupe pas? Le modèle sépare la notion de propriété et celle de l'usage: le propriétaire peut offrir ou monnayer l'usage de son bien quand il ne l'utilise pas. Il intègre une dimension de gratuité et vient concurrencer les modèles économiques traditionnels.

Dans le secteur de l'énergie et du bâtiment, les nouvelles technologies permettent aussi un partage optimisé de l'énergie. À l'échelle d'un groupe de bâtiments ou d'un quartier, l'enjeu est de permettre un échange entre des bâtiments en excès d'énergie et ceux en déficit, mais aussi de rendre possibles le stockage de l'énergie et son échange avec les véhicules électriques en stationnement, ce qui est le cas dans 90% du temps. Le bâtiment devient aussi plus intelligent: une série de capteurs (présence, luminosité, température, qualité de l'air, etc.)

permet de consommer l'énergie exactement nécessaire : pourquoi laisser la lumière allumée quand la lumière naturelle est suffisante ou quand il n'y a personne dans la pièce ? Ces nouvelles possibilités conduisent donc à la création d'écosystèmes décentralisés, rendue possible par les technologies numériques : l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau intelligent ou la capacité d'échanges entre bâtiments nécessitent d'installer des systèmes d'information, afin de piloter la consommation pour gérer l'offre et la demande.

De même que la révolution du « Web 2.0 » transfère du pouvoir à l'utilisateur, la révolution énergétique que l'on peut appeler « Énergie 2.0 » permet de redonner du pouvoir à l'utilisateur : alors que l'on demande de façon croissante de la sobriété au consommateur, la révolution numérique de l'énergie ouvre la voie à l'efficacité énergétique : au lieu de réduire l'utilisation de ses équipements et son confort, l'enjeu est de supprimer les gaspillages en consommant moins et mieux.

– 4 –

LE NOUVEAU MONDE DE L'ÉNERGIE SUR MESURE, FONDÉ SUR LA SIMPLICITÉ DES USAGES ET LA SYNERGIE DES INFRASTRUCTURES

Sous l'effet des technologies numériques, un nouveau modèle énergétique est donc en train d'apparaître. Quels sont les conséquences et prolongements de ces bouleversements ? Le déploiement de la révolution numérique ne s'arrête pas à la création d'écosystèmes de production décentralisée d'information ou d'énergie. Les potentialités d'Internet vont au-delà.

Une plaque tournante numérique intégrée : la combinaison de l'Internet des objets, l'apport des logiciels et les réseaux de partage

Trois évolutions technologiques concomitantes impactent le monde de l'énergie. Du domaine du numérique, elles sont de trois ordres: les objets communicants, les logiciels et les réseaux.

Interrogé au sujet de l'avenir du Web, ou «Web 3.0», par le quotidien *Le Monde* du 5 avril 2008, Vinton Cerf, co-inventeur du protocole TCP/IP, l'associe à l'Internet des objets, qui «permettra de déléguer la gestion des objets à des tiers. Il sera ainsi possible d'adresser à des sites de services des demandes telles que: "Enregistrer le film du soir", sans avoir à se plonger dans la liste des chaînes ni dans les programmes de diffusion. Les machines s'en chargeront. Elles communiqueront entre elles pour déterminer le prochain passage de ce film et l'enregistrer pour nous. Des milliards d'objets seront ainsi dotés de capacités de communication entre eux, ce qui permettra de masquer la complexité des technologies à l'œuvre. Tout se passera dans les coulisses». L'ensemble des objets, et non plus seulement les appareils d'information (ordinateur, téléphone, tablette), sera pourvu d'une capacité de communication (*via* une adresse IP ou fondée sur un autre protocole). Et l'évolution est en train de gagner le monde de l'énergie. En effet, ces objets peuvent être des capteurs et outils de mesure comme les compteurs d'électricité intelligents (tel le compteur électrique français «Linky»), des automatismes (par exemple une centrale domotique dans une habitation), des lignes de production dans les usines, ou même des robots capables de développer

des formes d'interaction avancées avec les êtres humains. Ces objets communicants permettent d'envisager une plus grande décentralisation de l'information, mais aussi de la production d'énergie (énergie solaire ou éolienne) ou de produits manufacturés (imprimantes 3D).

Mais l'Internet des objets n'est pas qu'une extension du modèle IP à l'ensemble des objets; c'est un changement de mode de fonctionnement. Au cœur de cette transformation, il y a l'idée que les objets et les ordinateurs génèrent leur propre information, qui se développe en une quantité plus importante que l'information développée par les humains. Cette information, ou « big data », est traitée par l'intermédiaire d'algorithmes, dont l'objet est de traiter un ensemble d'instructions et d'opérations en vue d'obtenir un résultat: par exemple, en fonction d'un scénario défini préalablement, si la température d'un bâtiment ou d'une machine augmente au-delà d'un seuil, le chauffage est baissé automatiquement et des dispositifs de climatisation ou de refroidissement sont activés. Tim Berners-Lee, l'inventeur de l'hypertexte, note à partir de 2001, dans un article de *Scientific American* de mai 2001, que l'évolution du Web, le « Web 3.0 », devrait être le « Web sémantique » qui « va apporter une structure au contenu et au sens des pages Web, générant un environnement où les agents logiciels qui circulent de page en page peuvent immédiatement remplir des tâches sophistiquées pour les utilisateurs¹⁸ ». Cette nouvelle structuration des informations, et pas seulement des documents, notamment grâce à l'ajout de données supplémentaires, permettrait d'améliorer les recherches en croisant les données de façon plus précise.

18. "Semantic Web will bring structure to the meaningful content of Web pages, creating an environment where software agents roaming from page to page can readily carry out sophisticated tasks for users".

Le moteur de recherche de demain cherchant le mot «grippe» identifiera naturellement les mots-clés «traitement, médecine, thérapie», mais aussi les horaires de consultation du médecin le plus proche. Dans un article célèbre du *Wall Street Journal*¹⁹, Marc Andreessen, l'inventeur du premier navigateur Web Mosaic, note que «les logiciels sont en train d'avaloir le monde»: en 2001, Borders vendait sa division Internet à Amazon, en estimant qu'elle était faiblement stratégique et importante. Aujourd'hui, Amazon, précisément une société de logiciel, est le plus gros distributeur de livres à l'échelle mondiale et Borders a fait faillite en 2011. La situation est similaire sur le marché des vidéos (Internet remplace la distribution physique), de la photographie (disparition de Kodak), mais aussi de la téléphonie ou de la grande distribution. Le secteur énergétique va être confronté au même bouleversement, les mauvaises décisions stratégiques pouvant fragiliser durablement les acteurs, qu'ils soient une multinationale ou un électricien de quartier.

Dans un environnement de «big data» généré par des objets communicants, les logiciels vont en effet être nécessaires afin de piloter et coordonner les objets. Cette situation est particulièrement prégnante dans l'énergie: selon Linda Jackman, vice-présidente de la stratégie produit et de la gestion du secteur «utility» d'Oracle, «les données des "utilities" seront 1,5 à 2 fois plus importantes que celles de l'industrie traditionnelle de la communication²⁰». D'une lecture par mois pour un compteur traditionnel, le nombre de relevés va dépasser les 3 000 relevés mensuels avec les

19. Marc Andreessen, "Why Software Is Eating The World", *The Wall Street Journal*, 20 août 2011.

20. The Soft Grid Conference in San Francisco, 14-15 août 2012.

compteurs intelligents. Plusieurs milliards de dispositifs seront connectés aux réseaux énergétiques. De nombreuses start-up se sont lancées dans le développement d'algorithmes prédictifs pour piloter les systèmes énergétiques des bâtiments, comme BuildingIQ, qui a levé 9 millions de dollars de fonds en provenance d'Aster Capital. Ces logiciels sont reliés entre eux, capables de s'interfacer. Ils peuvent être accessibles, ainsi que l'ensemble des informations dans le « cloud », c'est-à-dire sur le réseau Internet.

Mais la révolution n'est pas seulement sur le terrain des logiciels. Une autre avancée se situe à l'échelle des réseaux et les protocoles associés : devant la multiplication des produits (capteurs, moteurs, compteurs, éclairages, alarmes...) fonctionnant avec des technologies différentes en fonction de leur fabricant, il devient fondamental d'être capable de faire communiquer entre eux tous ces produits. La boucle IP est aussi l'un des leviers potentiels, les objets n'étant souvent plus seulement connectés au réseau électrique, mais aussi aux réseaux de données. En effet, les ruptures technologiques ouvrent un champ de nouvelles applications, à condition que les différentes boucles énergétiques et de données soient interconnectées. À ce titre, il ne faut pas seulement se concentrer sur les nuages, le « cloud », c'est-à-dire le stockage des données et applications sur le réseau Internet, mais aussi sur les racines, les « roots », la capacité à faire dialoguer les outils matériels. Les analystes s'intéressent probablement trop aux logiciels et aux applications permettant de faire fonctionner et interagir les différents automatismes des bâtiments ou de la ville hébergés dans le « cloud ». Or, l'enjeu est aujourd'hui de rendre compatibles les différents protocoles et de créer des dispositifs multi-protocoles, multi-usages, multi-fabricants

afin de pouvoir s'adapter à l'ensemble du matériel installé dans le bâtiment : éclairage, solaire thermique, boucle d'air et ventilation, chaudière à gaz ou à condensation, plomberie, chauffage, ouvrants, dispositifs de communication...

Le client final comme point de départ : la simplicité des solutions personnalisées

Pour saisir le sens de cette nouvelle révolution de l'énergie, il faut se rappeler quelques-unes des convictions de Thomas Edison : le nouveau système énergétique permet-il de proposer des produits et des services utiles et désirés par le consommateur ? Alors que la plupart des acteurs du monde de l'énergie, notamment politiques, se concentrent sur la question des infrastructures, de la production d'énergie et du délicat problème du « mix » énergétique, la clé de la question énergétique se situe en réalité au niveau de la consommation et de l'usage. L'enjeu essentiel est aujourd'hui de construire des services et des usages qui permettent au consommateur final (particuliers, acteurs tertiaires publics et privés, industriels) de percevoir et de bénéficier de leur valeur. *In fine*, ce sont des hommes qui consomment l'énergie, pas des bâtiments.

La convergence des technologies permet de créer à l'échelle du bâtiment un ensemble d'usages et de services personnalisés qui améliorent le confort, la santé et la sécurité des individus. Cela passe par la mesure et l'amélioration de la qualité de l'air ou de l'eau, le suivi des paramètres de santé des occupants, la surveillance à distance des intrusions, des fuites de gaz ou des incendies, le pilotage des appareils... Ils améliorent la qualité de vie dans la ville : interconnexion des réseaux de transport, baisse de la pollution grâce à un contrôle de la qualité de l'air et aux véhicules électriques,

réduction de la précarité énergétique... Ils sont porteurs d'économies réelles pour les ménages et les entreprises : réduction des coûts de l'énergie, pilotage fin de l'éclairage et du chauffage, amélioration de la qualité des moteurs dans les usines, production optimisée en fonction des matériaux disponibles et des commandes... En septembre 2012, Jean-Pascal Tricoire, président du groupe Schneider, met ainsi l'accent sur les usages quand il précise dans une interview au *Wall Street Journal*²¹ : « Avec la convergence des technologies énergétiques – où l'électronique est plus importante que dans les technologies de l'information –, vous pouvez avoir une image en temps réel de votre consommation énergétique. Les gens parlent beaucoup d'énergie propre, des énergies renouvelables, mais nous pensons que le potentiel le plus important aujourd'hui se situe dans l'énergie que vous ne consommez pas. Vous serez connectés à votre énergie comme vous l'êtes aujourd'hui à vos téléphones mobiles. »

Le principe majeur de diffusion de ces services personnalisés va être la simplicité, ce qui la rendra invisible : simplicité dans la conception des produits (interface, fonctionnement), simplicité dans leur installation et simplicité dans l'utilisation et la maintenance.

La convergence des modèles énergétiques : l'enjeu de la mise en synergie

Le monde de l'énergie bénéficie donc des innovations dans trois domaines, celui des objets, celui des logiciels et celui des réseaux. Fin 2012, Cisco annonce l'avènement de

21. Deborah Kan, Jean-Pascal Tricoire, "Banking on Better Energy Efficiency", *The Wall Street Journal*, 23 septembre 2012, <http://online.wsj.com/article/SB10000872396390444620104578009703768900308.html>

l'«Internet of everything» alors que General Electric s'est positionné sur l'«industrial Internet». L'enjeu est d'optimiser les infrastructures et les systèmes existants, afin d'améliorer leur efficacité énergétique, de réduire les pertes et gaspillages et d'améliorer la qualité de leur production. Jeff Immelt, le président de General Electric, définit l'«industrial Internet» comme «un réseau ouvert, global qui connecte les gens, les données et les machines²²», qu'il conçoit comme le nouveau modèle économique de GE. Cisco²³ évalue la valeur en jeu grâce à l'«Internet of everything» à 14,4 billions (mille milliards) de dollars, dont 1,95 billion pour l'usine intelligente, 757 milliards de dollars pour les réseaux intelligents et 349 milliards pour le bâtiment intelligent.

Comment ces technologies vont-elles s'intégrer dans le système énergétique traditionnel, hérité du XIX^e siècle? Il faut s'attendre à une hybridation des systèmes traditionnels et des nouvelles technologies, c'est-à-dire au croisement entre les deux modèles, mais aussi leur mise en synergie et leur coopération: le modèle décentralisé ne va pas faire disparaître le modèle centralisé, mais ils vont se renforcer mutuellement. Certains experts de l'Internet définissent *in fine* le «Web 3.0» comme une convergence entre le modèle centralisé et le modèle décentralisé, à l'image des médias traditionnels avec les possibilités offertes par le partage de l'«user generated content»: pour un même titre de presse, on assiste aujourd'hui à une coexistence entre le journal

22. Jeff Immelt, "The future of the internet is intelligent machines", 28 novembre 2012, <http://gigaom.com/2012/11/28/the-future-of-the-internet-is-intelligent-machines>

23. Joseph Bradley, Joel Barbier, Doug Handler, "Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$ 14.4 Trillion", Cisco, 2013, http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IOE_Economy.pdf

papier, le site Internet d'information et des espaces ouverts au dialogue et à la production d'information par les lecteurs. Le nouveau modèle énergétique désigne cette hybridation entre les systèmes traditionnels et les nouvelles technologies. Les modèles centralisés et décentralisés convergent pour répondre de façon personnalisée aux besoins et aux usages du consommateur.

Dans l'esprit du « Web 3.0 », on peut appeler cette transformation du monde énergétique l'« Énergie 3.0 ». Il s'agit d'un nouveau monde énergétique sur mesure, basé sur la simplicité des solutions personnalisées et la mise en synergie des modèles centralisés et décentralisés. La notion de l'« Énergie 3.0 » peut donc se résumer ainsi : grâce à un ensemble d'objets communicants et d'algorithmes, l'apport des logiciels, l'impact des réseaux dédiés, mais surtout la compréhension du comportement de l'utilisateur et le développement des services différenciés, l'énergie sera maîtrisée de façon personnalisée en fonction des besoins précis, à la fois financiers, de santé, de sécurité et de confort. Ce nouvel accent mis sur les besoins ouvre un champ sans limite de fonctionnalités et d'offres à valeur ajoutée, centrées sur les usages et l'expérience de l'utilisateur.

Dans le secteur résidentiel, dans la vie privée de chacun, l'« Énergie 3.0 » décrit un système énergétique fondé sur une consommation personnalisée en fonction des besoins précis de l'utilisateur : niveaux d'éclairage ou de chauffage adaptés à ses goûts et à la pièce qu'il occupe, personnalisation des fonctions du bâtiment aux caractéristiques de la personne (aide à la vision nocturne, suivi des paramètres de santé, télétravail...). Capable d'optimiser la dépense d'énergie des objets communicants, le dispositif est avant tout centré sur l'utilisateur.

Pour les entreprises et dans les secteurs tertiaire²⁴ et industriel, l'«Énergie 3.0» apporte des solutions pour accroître leurs performances : optimisation de l'éclairage des vitrines ou de l'ambiance des magasins, amélioration du confort et de la sécurité des occupants d'immeubles de bureaux, chaînes industrielles aux fonctionnalités accrues et moins dispendieuses en matières premières, réduction des émissions de CO₂, baisse de la facture énergétique...

Les deux prochains chapitres développent en détail la valeur que cette transformation de l'«Énergie 3.0» apporte, tout d'abord à l'échelle de la ville et de la région, puis au niveau du bâtiment et de la maison.

24. Secteur tertiaire incluant les bureaux, les commerces et les bâtiments publics.