

POLICY PAPER

Mai 2014

Faire entrer la France dans la troisième révolution industrielle : le pari de l'innovation

#2 L'efficacité énergétique

Observatoire de l'Innovation
de l'Institut de l'entreprise

Faire entrer la France dans la troisième révolution industrielle : le pari de l'innovation

Note thématique #2 : L'efficacité énergétique

Observatoire de l'Innovation
de l'Institut de l'entreprise

présidé par Christophe de Maistre

Pilote : Delphine Manceau
Rapporteur : Julie Fabbri

Note rédigée à partir des travaux de l'Observatoire.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	5
SYNTHÈSE	7
 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, DE QUOI PARLE-T-ON ?	 9
Définition	9
Quelles énergies utilisons-nous ?	11
Pourquoi s'intéresser à l'efficacité énergétique ?	13
 L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, FACTEUR CLÉ D'INNOVATION POUR LA GESTION DE L'ÉLECTRICITÉ	 15
Le défi de l'adéquation de la production et de la consommation d'électricité	16
L'essor des réseaux intelligents (ou <i>smart grids</i>)	18
Des <i>smart grids</i> aux <i>smart cities</i>	25

L'EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE, UN LEVIER D'INNOVATION MULTISECTORIEL	29
L'approche <i>cleantech</i>	30
Source d'innovations d'offre : exemple du bâtiment durable	33
Source d'innovations d'usage	35
Source d'innovations organisationnelles	36
Facteur de performance	39
Vers de nouveaux <i>business models</i>	40
 PISTES DE RECOMMANDATIONS POUR LES POUVOIRS PUBLICS	 47
Propositions	48
 L'OBSERVATOIRE DE L'INNOVATION	 52

AVANT-PROPOS

Cette note est le deuxième item d'une série de trois études issues du travail de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise, portant respectivement sur le *big data*, l'efficacité énergétique et les nouvelles technologies de production, publiées séparément et précédées d'une note introductive générale.

L'Observatoire de l'innovation est présidé par Christophe de Maistre, président-directeur général de Siemens France et ses travaux ont été supervisés par Delphine Manceau, professeur à ESCP Europe, assistée de Julie Fabbri, ESCP Europe, rapporteur de l'Observatoire. Eudoxe Denis, Directeur des études de l'Institut de l'entreprise, a supervisé le cadrage du projet et de l'ensemble des séances de l'Observatoire ainsi que la rédaction de la note introductive.

L'Institut de l'entreprise tient à exprimer sa gratitude :

➤ À l'ensemble des membres l'Observatoire de l'innovation pour leur engagement dans ce projet :

Frédéric Allard, Vice-président R&D, IBM

Grégory Blokkeel, Responsable stratégie & open innovation, PSA

Marie-Anne Broodschi, VP Innovation, Veolia

Eric Conti, Directeur Innovation & Recherche, SNCF (également auditionné par l'Observatoire)

Priscille Crozemarie, Chargée de mission – Secrétariat général, RATP

Julie Fabbri, Secrétaire Générale, Institut pour l'Innovation et la Compétitivité i7, ESCP

François Gerin, Directeur général adjoint, Siemens France

François Grosse, Senior Vice-President Digital Services, Veolia

Jakob Haesler, co-fondateur, Tynclues (également auditionné par l'Observatoire)

Frédéric Lefebvre-Naré, Consultant, Isée

Pascal Lemoine, Directeur technique et de la recherche, FNTF

Delphine Manceau, Professeur, ESCP Europe

Françoise Mercadal-Delasalles, Directrice des ressources et de l'innovation, Société Générale

Jean-Yves Moreau, Directeur des relations gouvernementales et parlementaires, Sanofi France

Michel Morvan, président et co-fondateur, The CoSMo Company (également auditionné par l'Observatoire)

Jean Richard de la Tour, Directeur des études, de l'innovation et des affaires publiques, Carrefour (également auditionné par l'Observatoire)

Martin Roulleaux-Dugage, Business transformation et Knowledge officer, Areva

Bernard Salha, Directeur recherche et développement, EDF

Jean-Christophe Saunière, Associé, PWC

Vincent Schramm, Directeur général, Symop (également auditionné par l'Observatoire)

Jérôme Weill, Associé, Oliver Wyman

› Aux personnes auditionnées lors des séances de l'Observatoire :

Philippe Berthier, Chef du département CRO, Innovation & Recherche, SNCF

André Bouffioux, président-directeur général, Siemens Belgique-Luxembourg

Eric Carreel, président fondateur de Withings, Sculpteo et Invoxia

Gilles Grapinet, Directeur général adjoint en charge des fonctions globales, Atos

Olivier Meunier, Directeur business development, Siemens Industry

Olivier Siri, VP Head of system design, Cassidian (Groupe EADS)

Claire Viguière-Petit, Directeur des opérations diabète, Sanofi France

› Aux personnes auditionnées par les rapporteurs en dehors des séances de l'Observatoire :

Alexandre Grux, Responsable de la recherche et de l'innovation, Kyriba

Philippe Vappereau, Chairman d'Ixxi, filiale de la RATP

L'Institut de l'entreprise remercie enfin, pour leur collaboration tout au long des travaux de l'Observatoire, **François Gerin**, Directeur général adjoint, Siemens France, **Jérôme Weill** et **Reda Fettah**, respectivement associé et analyste chez Oliver Wyman, ainsi que pour leur précieuse contribution **Frédéric Allard**, **Robin Rivaton**, **Lauriane Contamin** et **Elise Schobel**.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent ni les personnes citées, ni les institutions qu'elles représentent.

SYNTHÈSE

Les politiques énergétiques doivent répondre à divers enjeux parfois difficilement conciliables : sécuriser l'approvisionnement, réduire l'impact environnemental et limiter la précarité énergétique. De nombreux pays se sont ainsi fixé des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Si le développement des énergies renouvelables participe de cette finalité, il n'est cependant pas suffisant et il soulève de nouveaux enjeux tels que l'intégration des nombreuses petites sources de production dans le réseau, le recyclage ou encore l'achat des terres rares. Dans ce contexte, la mise en place de mesures d'efficacité énergétique peut donc grandement contribuer à réduire la consommation énergétique, et permet une meilleure conciliation des objectifs écologiques avec les enjeux sociaux et géopolitiques, en évitant une trop grande augmentation des prix de l'énergie et en contrebalançant la dépendance énergétique vis-à-vis de l'étranger. Et ce d'autant plus que les sources de gaspillages sont nombreuses : insuffisance du stockage lors d'une surproduction d'électricité, pertes lors du transport de l'énergie, inefficacité dans le bâtiment et les transports, pour n'en citer que quelques-unes. Enfin, une grande partie du gaspillage énergétique provenant des usages, l'efficacité énergétique est donc un réel facteur de performance.

Le développement des objets connectés et l'implication croissante du numérique dans les infrastructures et la gestion des réseaux électriques, ainsi que de nombreuses innovations technologiques, permettent de nouvelles approches de l'efficacité énergétique et le développement d'offres novatrices comme les bâtiments à énergie positive ou celui d'innovations d'usage ou organisationnelles. Ainsi, les *smart grids*, réseaux décentralisés de gestion de l'énergie, permettent d'intégrer les énergies renouvelables à un réseau local et d'optimiser l'équilibre demande/production – par exemple par des méthodes d'effacement énergétique –, de stocker l'énergie en excédent dans des batteries de véhicules électriques ou de la revendre à un autre réseau via une bourse de l'énergie. Cette application illustre bien l'évolution du secteur de l'énergie, d'une relation unilatérale vers un système décentralisé regroupant de plus en

plus d'acteurs. De nouveaux marchés s'ouvrent, dans la construction, l'installation et la maintenance de systèmes individuels de production, dans le développement de solutions intelligentes et sécurisées d'optimisation de la production et de distribution de l'énergie, dans la revente d'économies d'énergie, et dans le développement de nouveaux services aux usagers. L'énergie passe alors du statut de simple produit vers celui d'une « solution de vie », les fournisseurs devant de plus en plus proposer un « package » personnalisé – c'est-à-dire un service global associant la fourniture d'énergie, un service de maintenance si nécessaire, ou encore une aide à l'optimisation de sa consommation.

Face à la fragmentation du secteur, puisque de nouveaux acteurs apparaissent à côté des fournisseurs traditionnels d'énergie, les entreprises devront de plus en plus développer des partenariats les unes avec les autres, ainsi que des formations adaptées. Les installateurs devront être capables d'identifier les investissements les plus rentables parmi une offre variée en s'adaptant aux situations individuelles. Du côté de l'État, le développement de critères d'évaluation aidera à une meilleure estimation des besoins. Si les innovations technologiques de l'efficacité énergétique sont déjà bien avancées, un *energy paradox* se fait jour, dans lequel les ménages n'investissent pas dans des travaux pourtant rentables car initialement trop coûteux ; pour les y aider, de nouveaux modes de financement pourraient être développés, comme par exemple le tiers financement. Enfin, lorsque les travaux sont réalisés, les économies d'énergie sont souvent inférieures à celles attendues, du fait de gaspillages et de mauvais usages : il y a là un vrai besoin d'information sur les bons comportements et de développement d'incitations douces (*nudge*).

Cependant, l'efficacité énergétique ne peut dispenser États et entreprises d'investir dans la R&D orientée vers les énergies renouvelables ou les alternatives à la production de pétrole, ainsi que dans l'efficacité énergétique non électrique. De même, le réseau actuel n'est pas appelé à disparaître dans un avenir proche, et des installations puissantes sont encore inévitables ; l'efficacité énergétique peut aussi s'envisager dans ces réseaux centralisés, notamment par le développement des techniques de stockage et des lignes de transport d'énergie.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, DE QUOI PARLE-T-ON ?

« Face à la question des 3 × 50 qui se profile à l'horizon 2050 – augmentation de 50 % de la population passant de 6 milliards en 1999 à 9 milliards, croissance de 50 % de la consommation d'énergie par habitant et réduction des émissions de CO₂ de 50 % par rapport à 2005 (de 28 à 14 gigatonnes par an) pour limiter la hausse des températures à 2 °C –, le constat est évident : notre modèle énergétique n'est plus supportable », indique sur son site Internet GDF Suez, parmi les leaders mondiaux de l'énergie (électricité, gaz naturel, services à l'énergie). À 68,7 milliards d'euros en 2012, la facture énergétique de la France représente 3,4 % du PIB et dépasse le déficit commercial ¹.

La hausse continue de la demande mondiale d'énergie tirée par les Brics (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud), la raréfaction des énergies fossiles et la flambée de leur prix, ainsi que l'importance de l'empreinte environnementale de l'activité humaine incitent les différents acteurs à adopter une nouvelle approche de la gestion de l'énergie et donc à innover en la matière : comment consommer mieux avec moins ?

DÉFINITION

En 2006, une directive du Parlement européen définit l'efficacité énergétique comme « le rapport entre les résultats, le service, la marchandise ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet ».

1. « Bilan énergétique de la France pour 2012 », Commissariat général au développement durable – Service de l'observation et des statistiques, juillet 2013.

En termes économiques, l'efficacité énergétique consiste à **consommer moins d'énergie pour obtenir un même résultat**. La notion d'efficacité permet d'évaluer des résultats obtenus à l'aune des objectifs fixés. Or, si l'on souhaite prendre en compte les moyens mis en œuvre pour parvenir à ce résultat, selon des critères notamment de coût ou de comportement, alors il serait plus juste de parler d'**efficience énergétique**.

Il est possible de distinguer :

- **L'efficacité énergétique passive**, qui vise à réduire les déperditions d'énergie en renforçant la performance thermique d'un bâtiment (ex. : améliorer l'isolation) ou en renouvelant des équipements trop consommateurs d'énergie par exemple ;
- **L'efficacité énergétique active**, qui ambitionne également de réaliser des économies d'énergie, mais en optimisant le fonctionnement des équipements et des systèmes énergétiques grâce à des systèmes intelligents de mesure, de contrôle et de régulation (ex. : chauffage/climatisation, éclairage), ou en améliorant les techniques de production et de stockage de l'énergie.
- **L'efficacité énergétique interactive**, qui se concentre sur les besoins de l'utilisateur pour y répondre de manière pertinente. Elle permet de limiter les pertes dues aux mauvais usages².

La définition originelle de l'efficacité énergétique nous vient de la physique. L'efficacité énergétique représente le rapport entre l'énergie produite par la machine et celle utilisée pour la faire fonctionner. Cette efficacité diminue du fait de pertes lors de la conversion d'une forme d'énergie en une autre (par exemple sous forme de chaleur non réutilisée dans le cas d'une ampoule électrique : seul 5 % de l'énergie électrique fournie est convertie en lumière, et le reste est converti en chaleur). Il s'agit donc d'une **mesure exprimée en pourcentage** dont voici quelques exemples : l'efficacité énergétique d'un moteur à combustion varie entre 10 % et 50 %, celle d'un moteur élec-

2. D'après le livre de Rudy Provoost, *Énergie 3.0. Transformer le monde énergétique pour stimuler la croissance*, Le Cherche Midi, 2013. « Au moins la moitié de la consommation énergétique du bâtiment dépend des comportements des utilisateurs ».

trique entre 30 % et 70 %, celle d'un processus naturel comme la photosynthèse tourne autour de 6 % et celle des panneaux photovoltaïques au silicium se situe aux environs de 25-30 %.

Néanmoins, il faut distinguer cette notion de rendement ou d'efficacité physique de la notion de rentabilité économique d'une énergie : dans le cas de la photosynthèse, ou plus concrètement dans le cas des panneaux photovoltaïques, l'énergie d'entrée ne coûte rien à l'utilisateur. La rentabilité de l'énergie est donc potentiellement « infinie ». Évidemment elle ne l'est pas car il faut tenir compte de l'« énergie grise », c'est-à-dire le coût énergétique de l'ensemble de la chaîne de production, de la conception au transport et à l'installation du panneau, amorti sur la durée de vie du système, ainsi que des coûts de recyclage. En prenant en compte ces paramètres, le panneau photovoltaïque produit actuellement dix fois plus d'énergie qu'il n'en a fallu pour son implantation. Si chaque source d'énergie a une capacité énergétique immuable (par exemple, la combustion d'une tonne de pétrole brut fournit environ 11,6 MWh d'énergie thermique), le rendement technologique des différents systèmes d'exploitation peut évoluer pour améliorer leurs rentabilités.

QUELLES ÉNERGIES UTILISONS-NOUS ?

Pour mieux appréhender le sujet, rappelons les principales sources d'énergie utilisées dans le monde. Nous distinguons les énergies fossiles, majoritaires à l'échelle mondiale, du nucléaire, très développé en France, et des énergies renouvelables, plébiscitées par l'opinion publique car plus propres ; elles ont toutes les trois le point commun de servir, entre autres, à produire de l'électricité.

Les **énergies fossiles** représentent plus de 80 % de la consommation mondiale. Parmi les plus connues, le pétrole, le charbon et le gaz représentent près des deux tiers de la demande énergétique mondiale. Nous savons ces ressources limitées dans le temps et concentrées géographiquement, ce qui occasionne des coûts d'approvisionnement et des instabilités géopolitiques. De plus, ces énergies ont une empreinte environnementale élevée, notamment à cause de l'émission de gaz à effet de serre et de la portée des catastrophes pétrolières.

- **L'énergie nucléaire** est elle aussi une énergie non renouvelable, les ressources en uranium étant limitées. En France, 75 % de la production d'électricité était assurée par le nucléaire en 2012³. Si le CEA estime que « *rien ne signale [...] l'approche imminente d'un pic de l'uranium similaire à celui évoqué pour le pétrole* », il ajoute aussi que l'augmentation de la demande nécessitera peut-être des investissements dans de nouvelles exploitations minières, et tendra à augmenter les prix. L'empreinte environnementale et le rendement de l'énergie nucléaire sont délicats à évaluer : le nucléaire n'émet pas directement de gaz à effet de serre, mais le traitement ou le stockage des déchets radioactifs peut en produire, tandis que le nucléaire dégage d'autres rejets, chimiques, radioactifs et thermiques. De plus, il est difficile d'estimer les risques d'accidents et leurs coûts.
- Les **énergies renouvelables**⁴ sont des énergies primaires inépuisables à très long terme, résultant de phénomènes naturels, réguliers ou constants. Les énergies renouvelables sont plus « propres » ou moins polluantes en CO₂ que les énergies issues de sources fossiles. Les principales énergies renouvelables sont l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne, l'énergie de biomasse, l'énergie solaire, la géothermie et l'énergie marémotrice.

La répartition de la consommation énergétique primaire en France en 2011 était la suivante : 42 % d'électricité primaire non renouvelable (nucléaire), 31 % de pétrole, 15 % de gaz, 4 % de charbon et 8 % d'énergie renouvelable. Les sources majeures de consommation sont le bâtiment résidentiel et tertiaire, qui consomme principalement de l'électricité et du gaz, mais aussi une quantité importante de pétrole et d'énergies renouvelables thermiques, suivi du transport, qui consomme très majoritairement du pétrole, et enfin l'industrie, dont la consommation se répartit environ à parts égales entre l'électricité, le gaz et l'ensemble pétrole-charbon⁵.

3. D'après le Réseau de Transport d'Électricité, *Mémo* 2013, (chiffres de production 2012).

4. Source : ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Energies-renouvelables,406-.html>).

5. Commissariat général au développement durable, « Chiffres clés de l'énergie », édition 2012.

Exemple : Aéroports de Paris mise sur la géothermie et la biomasse depuis 2010 avec la mise en place d'un réservoir d'eau potable sous-terrain de 15 000 km² et de deux chaudières à biomasse alimentées au bois. Sous les pistes d'Orly, une nappe d'eau chaude qui atteint 74 °C est récupérée pour alimenter le système de chauffage de l'aéroport, couvrant ainsi la moitié de ses besoins en chauffage. Au total, les deux projets permettent de réduire d'un quart la quantité de CO₂ rejetée annuellement. Le retour sur investissement de plusieurs dizaines de millions d'euros est accéléré grâce aux droits d'émission carbone, évalués entre 10 et 20 euros la tonne. Les énergies renouvelables semblent devenir incontournables pour les entreprises cherchant à réduire leur facture énergétique.

POURQUOI S'INTÉRESSER À L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?

Si les techniques liées aux énergies renouvelables s'améliorent continuellement, celles-ci sont encore bien insuffisantes pour répondre aux besoins électriques des pays, sans parler des besoins énergétiques. De plus, elles ont aussi leurs limites, comme le coût des terres rares ou le recyclage. D'un autre côté, l'énergie est actuellement massivement gaspillée : 20 à 30 % de l'énergie consommée annuellement pourrait être économisée grâce aux technologies actuelles⁶. Ces pertes d'énergie ont de nombreuses sources : le transport de l'énergie, les mauvais usages, l'insuffisance du stockage par exemple.

Face aux enjeux énergétiques, le potentiel de l'efficacité énergétique pour réduire les émissions et les dépendances aux dérivés du pétrole est donc immense, d'autant plus que l'optimisation de la consommation est toujours rentable à terme, même lorsque les prix de l'énergie sont bas. Dans ce cadre,

6. *Énergie 3.0, op. cit.*

l'implication croissante du numérique dans les infrastructures et la gestion de l'énergie permet de nouvelles innovations opérationnelles, d'usage ou d'offre, dans l'efficacité énergétique, en stimulant l'innovation dans les objets, les réseaux et les logiciels.

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, FACTEUR CLÉ D'INNOVATION POUR LA GESTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Mondialement reconnue pour la qualité de son électricité, la France se distingue par un accès à l'électricité hors pair pour les usagers et une fréquence de coupure particulièrement faible, permis par un modèle d'organisation électrique centralisé et uniforme sur tout le territoire. Huitième producteur mondial, la France produit l'essentiel de l'énergie électrique grâce au nucléaire (deuxième producteur mondial d'électricité d'origine nucléaire loin derrière les États-Unis), la part des énergies renouvelables restant encore mineure (en deçà de l'objectif européen de 20 % : fin 2011, 6,05 Mtep d'électricité sont produites à l'aide des énergies renouvelables, soit 16,3 % de la production totale⁷). Ouvert à la concurrence depuis 2003 en France, le marché de l'électricité, dominé par des acteurs comme EDF et GDF Suez, est organisé autour de quatre grands pôles : la production, le transport, la distribution et la commercialisation, auxquels s'ajoutent des activités financières – sur la bourse de l'électricité Pownext par exemple.

La consommation brute d'électricité en France s'est élevée à 487,3 TWh en 2012 selon RTE. Entre 1970 et 2011, la consommation d'électricité a été multipliée par 3,5 et celle du secteur résidentiel-tertiaire par 7,2 ; celle de l'industrie n'a augmenté que d'un facteur 1,68 (expliqué par la désindustrialisation de l'économie), tandis que celles de l'agriculture et des transports étaient respectivement multipliées par 2,84 et 2,1⁸.

En 2012, les ménages français ont consacré 8 % de leurs dépenses à l'achat d'énergie (3 200 euros en moyenne par ménage).

7. « Le baromètre 2012 des énergies renouvelables électriques en France », Observ'ER, p. 101.

8. En 2011, la répartition de la consommation d'énergie finale par secteur était : 44 % pour le résidentiel-tertiaire (dont environ deux tiers pour le secteur résidentiel), 32 % pour le transport, 21 % pour l'industrie et 3 % pour l'agriculture.

LE DÉFI DE L'ADÉQUATION DE LA PRODUCTION ET DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

Un des principaux défis de l'énergie électrique est de réussir à **faire coïncider, à tout moment, l'offre et la demande**. En effet, contrairement aux énergies fossiles classiques, l'électricité ne se stocke pas en l'état. Il faut la convertir dans une autre forme d'énergie (chimique, mécanique...) pour la conserver, puis faire la conversion inverse pour l'utiliser. Si les technologies progressent en matière de stockage de l'électricité, nous sommes encore loin d'un niveau qui en permettrait une utilisation facile. La faible autonomie, le coût, le volume, le temps de charge et le poids des moyens de stockage actuels constituent autant de freins à un plus large développement de l'énergie électrique, notamment en situation de mobilité, comme le démontre par exemple le faible décollage du véhicule électrique.

En l'absence de moyens de stockage performants, il est nécessaire de coordonner au mieux les niveaux de production et de consommation d'énergie. Ceci devient d'autant plus important que les énergies renouvelables sont amenées à jouer un rôle grandissant dans les années à venir et que la quantité d'énergie qu'elles produisent est, par définition, aléatoire (vent, soleil...). Lorsque l'offre et la demande d'électricité diffèrent de façon importante, deux cas de figure peuvent se présenter :

- **Si la production est inférieure à la demande**, on parle de **pénurie** d'électricité. Des **coupures d'électricité** sont donc à craindre, comme cela arrive fréquemment dans les pays en voie de développement, mais également parfois dans les pays développés. Avec la généralisation du chauffage électrique en France, les vagues de froid ont un impact très important sur la consommation d'électricité et les risques de pénurie également : une baisse de 1 °C en hiver entraîne une hausse de la consommation qui représente le double de la consommation de la ville de Marseille, affirme RTE selon *Le Point* ⁹. À l'heure actuelle, lors d'un pic de demande, ce sont des centrales thermiques à gaz, fioul ou charbon, pouvant être mises en marche très rapidement, qui dégagent des moyens supplémentaires de production.

9. Article du 2 décembre 2010.

Exemple : début 2001, la Californie a connu une grave situation de pénurie. Consécutivement à une augmentation continue de sa population et de son activité, la Californie a vu la demande d'électricité augmenter drastiquement (forte utilisation des appareils de chauffage/climatisation par exemple), alors même que les niveaux de production étaient au plus bas (notamment suite à la sécheresse de 2000 et à la dérégulation du marché dans les années 1990).

- › **Si la production est supérieure à la demande**, on parle de **surplus** d'électricité. C'est le *black-out* (ou arrêt total du système) qui est alors redouté. Situation que la Belgique a été près de connaître en mai 2012, et de nouveau en avril 2013. Dans cette situation, le gestionnaire du réseau a deux solutions : réduire en temps réel la production de certaines centrales, ou exporter le trop-plein vers les pays frontaliers, en le revendant à des prix négatifs sur des bourses de l'énergie électrique comme Epex Spot.

Exemple : la production électrique belge, provenant en partie d'énergies renouvelables, a largement dépassé le niveau moyen lors de jours fériés particulièrement venteux et ensoleillés (Pentecôte 2012 et Pâques 2013). Dans le même temps, la demande d'électricité s'est révélée inférieure aux estimations, suite à des températures plus élevées que prévu et à une faible activité économique. Ce fort déséquilibre a créé un trop-plein d'électricité qu'il a fallu évacuer rapidement pour ne pas risquer de saturer le système dans son ensemble.

Cela nous amène à deux notions clés de l'efficacité énergétique :

- › le besoin d'une **solution IT intelligente** qui puisse **réguler** en temps réel, si possible, la production en fonction de la demande ;
- › le besoin pour certains systèmes ou certains territoires de pouvoir **échanger les flux électriques**, afin de juguler au mieux, à une plus grande échelle, les pics de surproduction ou de sous-production.

L'ESSOR DES RÉSEAUX INTELLIGENTS (OU *SMART GRIDS*)

Au-delà de l'amélioration des systèmes d'exploitation d'énergie et de la recherche de nouveaux procédés pour augmenter l'efficacité énergétique, des innovations de mode de gestion sont en développement.

Les nouveaux réseaux électriques, appelés *smart grids*, permettent une **gestion rationnelle de l'énergie**, en encourageant les consommateurs à mieux gérer leur consommation énergétique. Ces réseaux intelligents utilisent des systèmes informatiques pour suivre, contrôler et optimiser de façon très précise et en temps réel la production et la distribution d'électricité mesurées à l'aide de capteurs intelligents au niveau des compteurs électriques, à l'échelle d'un bâtiment (qu'il soit à usage industriel ou d'habitation), d'un complexe industriel ou d'une ville (les *smart grids* sont un élément important des *smart cities*, où l'organisation et le fonctionnement de la ville sont améliorés grâce aux NTIC). Ils facilitent la mise en place de stratégies d'**effacement énergétique**, qui échelonnent la consommation des différents acteurs reliés au réseau pour lisser les pics de demande. L'effacement est déjà proposé à certains consommateurs industriels clients de RTE, pour des capacités supérieures ou égales à 10 MW relativement régulières (industrielles) et donc faciles à planifier ¹⁰.

Ces réseaux permettent aussi une meilleure intégration des différentes sources d'énergie disponibles et de leurs caractéristiques : fiabilité de la ressource primaire, temps de mise en marche ou d'arrêt du système d'exploitation, possibilité de couplage avec un système de stockage. Les *smart grids* deviennent une « centrale locale de production virtuelle » qui agrège les capacités de production et optimise l'équilibre production/demande, à petite échelle.

À terme, une meilleure connaissance de la consommation en temps réel, des conditions météorologiques et une gestion centralisée des systèmes de production, combinées à des stratégies d'effacement, pourraient réduire la part des centrales thermiques polluantes et coûteuses dans la production d'électricité.

10. Une étude de Cap Gemini pour le marché européen (*Demand Response : A decisive breakthrough for Europe*, juin 2008) montre que la modulation de consommation (agrégation de clients industriels dans un groupe d'effacement) pourrait permettre de réaliser 25 à 50 % de l'objectif 2020 de l'Union européenne en terme d'efficacité énergétique, soit des économies annuelles de 25 milliards d'euros (cf. *Énergie 3.0., op. cit.*) ; http://www.capgemini.com/sites/default/files/resource/pdf/Demand_Response__a_decisive_breakthrough_for_Europe.pdf.

Exemple : Linky est le compteur communicant du gestionnaire de réseaux de distribution d'électricité ERDF. Installé chez les particuliers et relié à un centre de supervision, il est en interaction permanente avec le réseau, d'où la qualification de « communicant » ou « intelligent ». Le compteur mesure l'énergie consommée en temps réel, reçoit et envoie des données et des ordres à distance, sans nécessiter obligatoirement l'intervention physique d'un technicien. L'avantage pour le client est d'abord un gain de temps avec des délais et des processus d'intervention raccourcis et simplifiés (ex. : délais d'intervention ramenés de cinq jours à moins de vingt-quatre heures), et surtout des facturations sur la base de consommations réelles (et non plus sur des estimations), qu'il sera possible de suivre en temps réel via Internet ou un *smartphone* pour mieux maîtriser sa consommation (ex. : le site expérimental de consultation « Watt et Moi »). Les fournisseurs d'énergie sont également gagnants puisque les réclamations liées aux questions de facturation devraient diminuer et que de nouveaux services, mieux adaptés aux besoins réels des clients, pourraient être proposés à tarif égal. Trente-cinq millions de compteurs nouvelle génération Linky devraient être installés en France d'ici 2020 ; il s'agit de la première étape du déploiement d'un réseau électrique intelligent à grande échelle par ERDF.

Exemple : Actility est une société française spécialisée dans les *smart grids*. La *start-up* a développé une plate-forme de communication innovante et standardisée facilitant le pilotage à distance des appareils électriques (compteurs, capteurs de température, de sécurité). Cette plate-forme permet de mieux mesurer, prévoir et contrôler la consommation des appareils utilisant de l'électricité chez les industriels. Elle est un nouvel outil pour limiter la consommation électrique de ces derniers pendant les périodes de pointe, réduisant ainsi l'appel ponctuel aux centrales de production produisant le plus de CO₂. La plate-forme d'Actility propose également des solutions pour les « maisons intelligentes » de demain, favorisant, entre autres, une meilleure gestion de l'énergie pour les particuliers.

Les bénéfices majeurs des *smart grids* sont principalement l'économie d'énergie (réduction de la facture d'électricité) et l'optimisation du pilotage de la production et de la demande d'électricité, permettant d'éviter les pannes ou les phénomènes de *black-out*. Les *smart grids* ont l'avantage de permettre de **désynchroniser la production et la consommation d'énergie** en facilitant le stockage du trop-plein des heures creuses pour le redistribuer lors des pics des heures pleines, en amortissant la demande lors de ces pics ou encore en vendant le surplus sur une bourse de l'énergie ¹¹.

Comme toutes les nouvelles technologies s'appuyant sur des outils numériques, les *smart grids* posent toutefois d'inévitables questions en matière de sécurisation des réseaux : risques de *hacking* ¹², mais aussi risques d'instabilité ou d'effets imprévisibles liés à l'automatisation des décisions.

Des exercices de simulation pour anticiper les nouveaux risques liés aux smart grids

La vulnérabilité du réseau électrique aux États-Unis commence à attirer l'attention du gouvernement, qui a organisé les 13 et 14 novembre 2013 un exercice de simulation de panne électrique, GridEx II. Il a concentré ses efforts sur l'étude des effets d'attaques physiques ou de cyber-attaques du réseau. De telles attaques pourraient plonger dans le noir de larges régions pendant plusieurs semaines, et interrompre les communications et les approvisionnements en eau, pétrole et nourriture. L'exercice fait suite à un exercice à plus petite échelle organisé deux ans plus tôt et auquel soixante-quinze agences et entreprises avaient participé.

La simulation organisée conjointement avec le Mexique et le Canada, a regroupé des milliers d'agents des services d'infrastructures, de cadres, d'officiers de la National Guard, d'experts antiterrorisme du FBI et de membres des agences gouvernementales. Plus de cent cinquante entreprises et organisations se sont inscrites pour y participer. La plupart des participants étaient sur leur lieu de travail lorsque le Nerc (North America Electric Reliability Corporation) a annoncé progressivement les attaques.

11. C'est le cas du DEMS de Siemens, voir encadré p. 23.

12. D'après un sondage du département de l'Énergie américain de 2012, 61 % des professionnels estiment que les compteurs intelligents ne sont pas suffisamment sécurisés.

Un exemple d'attaque possible : une effraction qui est d'abord identifiée comme un vol de cuivre, mais durant laquelle l'intrus télécharge un virus sur l'un des ordinateurs du réseau à l'aide d'une clef USB.

Des conférences, études et travaux de fiction sur des scénarios catastrophes sont aussi prévus.

Des risques réels

En janvier 2012, en Allemagne, deux *hackers* ont démontré qu'il était possible d'intercepter les données transitant entre un compteur de nouvelle génération et la compagnie d'électricité nationale. Ils affirmaient être en mesure, après avoir analysé les données, de connaître le nombre d'ordinateurs ou de téléviseurs dans la maison, le programme de télévision regardé, et si le film DVD en cours de lecture était protégé ou non par un copyright. Dario Carluccio et Stephan Brinkhaus ont présenté les résultats de leurs recherches à l'occasion de la 28^e édition du Chaos Communication Congress, le rendez-vous annuel de la scène *hacker* internationale.

La possibilité pour chacun de produire et vendre son énergie grâce aux *smart grids* débouche sur de nouveaux modèles économiques, même s'il est encore un peu tôt pour en faire le bilan. L'univers multilatéral des *smart grids* remet en cause le *business model* traditionnel bilatéral producteur/acheteur que nous connaissons actuellement. Aujourd'hui, les acteurs principaux sont les producteurs, les gestionnaires de réseaux ou encore les revendeurs d'énergies. Demain, on peut imaginer que l'importance et le pouvoir des producteurs actuels seront réduits au profit d'autres compétences :

- la fourniture et la pose de mécanismes de production d'énergie (ex. : panneaux photovoltaïques) ;
- la construction et la maintenance de ces réseaux ;
- la fourniture de solutions IT intelligentes à grande échelle pour optimiser la production, la consommation et l'utilisation des réseaux.

Exemple : les agrégateurs, intermédiaires entre les producteurs et les utilisateurs d'énergie, proposent des solutions pour valoriser la « non-consommation » d'énergie, notamment aux acteurs industriels et tertiaires. Ces nouveaux types d'opérateurs participent à l'écroûtage des pics de consommation et gèrent des scénarios d'effacement sur différents sites pour optimiser le potentiel, la flexibilité et la fiabilité de la distribution d'électricité. Pour jouer son rôle, l'agrégateur a besoin que les sites qu'il pilote génèrent un grand nombre d'informations et soient reliés à un poste de commande central (donc qu'ils soient « intelligents »), de modèles pour anticiper et assurer un niveau de confort constant quels que soient les scénarios réalisés, et de systèmes d'information pour optimiser la valorisation de cette disponibilité de puissance d'effacement. C'est donc un métier nouveau qui repose essentiellement sur les NTIC dans un univers de *big data*.

Exemple : Voltalis est une entreprise lancée en 2007, reconnue en 2009 par RTE comme « agrégateur d'effacement diffus ». Cette société propose à tous les foyers ou bureaux l'installation sur leur circuit électrique d'un petit boîtier, BluePod, qui leur permet de contrôler leur consommation électrique au cours du temps. La consommation électrique est relevée en temps réel, et un nombre de kW modulable est transmis à RTE par Voltalis. Si un écart entre la production et la consommation d'électricité apparaît, la demande étant trop importante, RTE contacte Voltalis qui transmet l'ordre au BluePod de suspendre, en règle générale de 10 à 30 minutes, le cycle d'un ou plusieurs des appareils les plus gourmands en énergie (radiateurs, chauffe-eau et climatiseurs). En théorie, une si courte modulation n'est pas ressentie grâce à l'inertie thermique des bâtiments. Le client peut ainsi réaliser des économies sur sa consommation électrique annuelle, tout en restant maître d'annuler la modulation via un bouton sur le boîtier.

Une étude menée par l'Ademe, le CSTB et Voltalis a été publiée en 2012, d'après les données prélevées sur un panel de 2 800 adhérents à l'offre de Voltalis en région Bretagne. Elle a montré que des coupures de l'alimentation du chauffage pendant 15 à 20 minutes par heure permettraient « de réaliser, les jours où elles sont pratiquées, une économie moyenne de l'ordre de 7 à 8 % de la consommation totale journalière d'électricité ». Cette étude devra être complétée pour étudier l'origine des économies effectuées. De plus, si l'électricité est coupée durant les pics de consommation, période durant laquelle l'électricité est la plus chère, l'impact de cette réduction sur la facture sera amplifié.

Siemens, des *smart grids* aux *smart homes*

La Belgique, qui a fortement investi dans les énergies renouvelables, a connu plusieurs épisodes de surplus d'énergie (en période de tarification pleine et de faible demande énergétique) en raison des conditions météorologiques (forts vents et ensoleillement) durant des heures creuses de consommation industrielle. La production d'électricité dépasse alors la consommation, ce qui oblige le pays à se débarrasser du trop-plein produit pour échapper au *black-out*. André Bouffieux, CEO de Siemens Belgique-Luxembourg, explique qu'il n'est pas possible de stocker l'énergie, ce qui constitue un des principaux défis du sujet de l'efficacité énergétique et nécessite une réflexion et un travail collaboratif entre plusieurs acteurs : les acteurs des infrastructures (*facility management*), de la mobilité (transports) et bien sûr de l'énergie (au premier rang desquels les producteurs d'énergie).

Le projet de Siemens a été sélectionné et est soutenu par les autorités de l'État belge sur cette question, en partenariat avec Volvo, l'université de Louvain et une société de *leasing* de véhicules électriques. La plate-forme Volt-Air en résultant – sur le site d'Huizingen – comprend un laboratoire de panneaux photovoltaïques et de cogénération (10 000 m² de panneaux produisant 500 000 KWh par an ; capacité totale de 500 MWh), un parc de dix voitures électriques effectuant 100 000 km par an avec onze bornes de rechargement, une cogénération, un *smart grid* (*virtual power plant*) appelé DEMS (*distributed energy management system*) et une salle de contrôle (pour faire du *monitoring* à distance). Le *virtual power plant* se définit comme un *cluster* d'énergie de toutes formes (producteurs/consommateurs/stockage électrique), celle-ci étant distribuée et gérée par une unité centrale comme si tous ces acteurs n'en faisaient qu'un. Le *smart grid* DEMS intègre et planifie des données relatives au vent, à la luminosité, aux émissions, aux réserves disponibles, aux courbes prévisionnelles de consommation, permettant ainsi d'optimiser de façon très fine le programme établi en fonction de stratégies bien définies (coûts, réduction CO₂). Ce nouveau type de modèle économique (qui ne nécessite pas de lourds investissements) peut laisser présager l'apparition d'une bourse et d'une banque de l'énergie. Cette génération énergétique implique également une distribution automatisée : on parle de « *power management* ». Le *power management* est très lié à la démarche *big data* car de nombreuses données hétérogènes

devront être collectées et traitées, notamment dans le cas d'interconnexion d'un bâtiment et d'un réseau. À Houston, États-Unis, il a par exemple été décidé de regrouper en une unité virtuelle l'ensemble des sites industriels pour faire du *balancing* de réseaux et augmenter leur pouvoir de négociation plutôt que de tirer un nouveau câble réseau ou une ligne à haute tension, ce qui aurait coûté très cher et pris beaucoup plus de temps.

La plate-forme Volt-Air de Siemens en Belgique

Cette révolution « intelligente » de l'énergie concerne les réseaux (*smart grids*), mais aussi les bâtiments (*smart homes*). Les *smart grids* vont révolutionner



le monde de l'énergie et sensiblement impacter la vie quotidienne des consommateurs, explique André Bouffioux. À terme, il pourrait devenir usuel selon lui de changer fréquemment de fournisseur électrique (ex. : tous les 2 mois, voir toutes les 15 minutes automatiquement) pour profiter d'offres promotionnelles limitées dans

le temps. « *Demain, nous changerons de fournisseur électrique comme de pompe à essence, en fonction du prix en temps réel !* » déclare-t-il. Les gestionnaires de bâtiments changent également de métier puisqu'avec la nouvelle norme CO₂ neutral, la plupart des bâtiments devront désormais générer leur propre énergie. Ce sont les grandes métropoles, rebaptisées *smart cities*, qui sont aujourd'hui le lieu privilégié de cette transformation, qui ne se résume pas seulement à l'énergie.

DES SMART GRIDS AUX SMART CITIES

« Le système centralisé continuera de fournir un courant stable aux usagers tandis que le système décentralisé permettra de répondre à une boucle locale et d'injecter dans le réseau, notamment lors des appels de puissance, le surplus de production ou d'électricité qu'il sera parvenu à stocker. »

James A. Momoh ¹³

Aujourd'hui, la ville constate la raréfaction de ses ressources et fait face au défi des économies d'énergie. Elle veut être plus efficace, mais il ne suffit plus de s'intéresser à la maîtrise des dépenses énergétiques. Il faut également prendre en compte les problématiques liées à l'efficacité énergétique des bâtiments, au transport ou à l'accès aux matières premières, et raisonner en termes de durabilité et de qualité de vie.

Les villes modernes seront capables, grâce au développement du numérique, de mettre en œuvre des infrastructures « intelligentes » – eau, électricité, gaz, transports, services d'urgence, services publics, bâtiments. Connectées, communicantes, interactives, évolutives, flexibles, durables, économes... ces nouvelles infrastructures permettront d'améliorer le confort des citoyens, d'être plus efficaces, tout en se développant dans le respect de l'environnement.

Des secteurs qui opéraient jusque-là de manière indépendante seront amenés à travailler ensemble et à décroïsonner les processus de pilotage et de décision : c'est l'approche holistique des *smart cities*. Le monde de l'ingénierie (énergie, eau, déchets, transports) devra s'immerger dans celui des nouvelles technologies (*big data*, *open data*, Internet des objets, capteurs intelligents...) pour favoriser l'innovation.

L'intégration des *smart grids* à l'échelle d'un quartier, voire d'une ville, permet une gestion bien plus intelligente des ressources que dans le cas d'un bâtiment, dans lequel les heures de demande sont à peu près similaires. L'inté-

13. « *Centralized and Distributed Generated Power Systems – A Comparison Approach* », US Department of Energy (DOE), université Howard, 2012.

gration horizontale dans un *smart grid* d'habitations, de bureaux, d'usines, qui fournissent, stockent et consomment l'électricité, et de services (systèmes de transport) permet de répartir la consommation de manière optimale. Une flotte de véhicules électriques – particuliers ou en autopartage – peut s'associer aux *smart grids* et constituer une nouvelle capacité de stockage de l'énergie à l'échelle locale.

Exemple : si un usager peut aujourd'hui choisir via son *smartphone* son itinéraire et son mode de transport (ex. : transports collectifs, véhicule particulier, train, bateau, vélo, marche à pied) en fonction de son profil (ex. : âge, personne à mobilité réduite, avec ou sans poussette, intérêts touristiques), de sa localisation, du trafic et des travaux observés en temps réel, des conditions météorologiques, il le doit à la collaboration de spécialistes des transports, de l'ingénierie informatique et des télécommunications. Des sites comme ViaMichelin ou Mappy proposent ce type de nouveaux services, régulièrement enrichis. Mais se pose la question du financement de tels projets et de la répartition de la valeur entre les partenaires.

Exemple : le projet IssyGrid (fruit de la collaboration des entreprises Micro-soft, Steria, Schneider Electric et de la municipalité d'Issy-les-Moulineaux) est le premier projet de *smart grid* à l'échelle d'un quartier en France : le réseau regroupe l'éclairage public, des logements et des bureaux équipés de panneaux photovoltaïques, ainsi qu'un poste de distribution électrique qui assure l'équilibre entre la production, le stockage (dans des batteries de véhicules électriques) et la consommation.

En juillet 2013, quatre-vingt-quatorze logements du quartier Seine Ouest ont été dotés de compteurs communicants, qui suivent en continu leur consommation et permettent une facturation exacte. Certains logements bénéficient en outre d'un boîtier de mesure et d'alerte, qui permet aux usagers d'observer leur consommation, équipement par équipement. Ces boîtiers ouvrent la possibilité de développer de nouveaux outils numériques à destination des consommateurs, pour les aider à optimiser leurs dépenses.

L'immeuble test Galeo et la tour Sequana ont été équipés d'un système d'aide au pilotage du bâtiment et peuvent ainsi contribuer au lissage des crêtes de consommation en adaptant les heures de fonctionnement des appareils électriques – l'air conditionné aux heures creuses par exemple – et en contrôlant la vitesse de la charge des batteries de huit véhicules électriques en fonction du planning de réservation des utilisateurs.

Des lampadaires communicants ont été mis en place dans trois rues, afin de moduler l'éclairage public en fonction du trafic routier, de l'heure et des saisons.

Une première expérience de l'efficacité du système d'aide au pilotage des bureaux a été réalisée en juillet 2013 sur le système de climatisation : les bureaux ont été rafraîchis dans la journée par du froid produit et stocké au cours de la nuit précédente. Cela a permis d'éviter un pic de consommation pendant la journée, et d'économiser environ 500 kWh. L'adaptation de l'éclairage des rues, qui représente en moyenne 40 % de la facture d'électricité d'une collectivité locale, devrait permettre à la ville de générer des économies substantielles.

D'autres déploiements sont programmés, notamment l'intégration de ressources d'énergies renouvelables supplémentaires et l'intégration progressive des 1 650 logements du quartier Fort d'Issy au projet dès 2014.

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, UN LEVIER D'INNOVATION MULTISECTORIEL

Les leviers d'action de l'efficacité énergétique concernent l'ensemble de la chaîne de valeur, des secteurs économiques et des parties prenantes. Les consommations d'énergie de l'industrie lourde et des transports sont en effet aussi importantes à bien gérer que celles des équipements de chauffage et des appareils électroménagers.

Exemple : le bilan carbone réalisé par l'enseigne Picard Surgelés en 2009-2010 a montré que 35 % des émissions de gaz à effet de serre provenaient des magasins et 19 % du transport de marchandises.

Les congélateurs des magasins représentent plus de la moitié de la facture énergétique de la société (le poste énergie comptant pour 12 % du bilan carbone) et utilisent des fluides frigorigènes à fort pouvoir de réchauffement global (18 % de bilan carbone). Picard développe depuis plus de trois ans des congélateurs autodégivrants au propane (dont le pouvoir de réchauffement global est soixante-cinq fois plus faible) mais qui sont encore 15 % plus énergivores que les précédents... Des optimisations sont toujours en cours pour tenter de déployer sur l'ensemble du réseau ces nouveaux équipements qui ont également le mérite de réduire la pénibilité du travail des salariés des magasins. Un responsable d'un magasin parisien estime la charge de travail quotidienne de dégivrage à deux heures et demie par employé, une tâche particulièrement pénible pour le dos.

L'APPROCHE CLEANTECH

L'approche *cleantech* vise à développer des technologies propres et de nouveaux usages en consommant plus intelligemment les ressources et en réduisant la pollution. Le concept de « négawatt » met en avant l'objectif d'économie d'énergie de cette démarche, par un changement de technologie et d'infrastructures via :

- **l'efficacité énergétique** (ex. : bâtiments, véhicules, systèmes de chauffage moins consommateurs d'énergie) ;
- **la sobriété énergétique**, grâce à une évolution des comportements (ex. : des mesures coercitives, comme la taxe intérieure sur les produits pétroliers ayant eu une incidence sur les choix de voitures et les habitudes de conduite).

Les *cleantech* ne recouvrent pas un secteur industriel en particulier, puisqu'il s'agit d'une démarche transversale à respecter depuis la conception des nouveaux produits, services et processus, jusqu'à leur scénario d'usage final.

Depuis plus d'un an, la nécessité d'adopter une gestion numérisée des ressources pour les optimiser fait évoluer le concept de *cleantech* vers la notion de *cleanweb*. L'idée du « web propre », selon le capital-risqueur Sunil Paul, est d'utiliser les technologies de l'information pour accélérer la mise en place de technologies propres et de modèles opérationnels économes en ressources. Néanmoins, les serveurs destinés à ces opérations sont d'importants consommateurs d'énergie, non seulement lorsqu'ils fonctionnent, mais aussi parce qu'ils ont besoin d'être refroidis. Ainsi, une recherche Google consommerait autant d'énergie qu'une ampoule allumée pendant une heure. Sachant que plus de 100 milliards de requêtes sont faites par mois (40 000 par seconde), les enjeux énergétiques liés aux *big data* sont considérables. Le croisement des défis du *big data* et de l'efficacité énergétique ouvre des champs d'innovation très importants pour les acteurs établis comme pour les nouveaux entrants.

La sobriété énergétique dans les transports, le cas de la RATP

La RATP applique depuis 2005 une politique énergie-climat qui vise à réduire sa consommation énergétique, et donc ses émissions, de 15 % à l'horizon 2020 (par rapport à celle de 2004), à périmètre inchangé. Pour Priscille Crozemarie, au secrétariat général de la RATP, « *le transport collectif urbain est au cœur de l'écosystème de la ville durable, et se doit, à ce titre, d'être exemplaire et pionnier en matière de sobriété énergétique* ».

Les enjeux énergétiques de la RATP

L'énergie pour la RATP, c'est d'abord une nécessité pour alimenter les réseaux et produire au quotidien l'offre de transport pour des millions de voyageurs. La RATP enregistre chaque jour en Île-de-France près de 11 millions de voyages, sur ses 14 lignes de métro, 2 lignes de RER, 4 lignes de tramway et 351 lignes de bus. La circulation des rames consomme annuellement 1,4 TWh, avec une pointe de consommation de 260 MW. Le profil de cet important consommateur électrique est très spécifique : une consommation très prévisible, sans capacité d'effacement de pointe, vingt-quatre heures sur vingt-quatre (du fait des activités de maintenance, de la réalisation de travaux, de la circulation des bus de nuits). La traction représente 70 % de la consommation, les 30 % restants étant utilisés pour l'éclairage, la ventilation, les escaliers mécaniques, les ascenseurs, etc.

La RATP est le propriétaire et le gestionnaire des infrastructures du métro et du RER, avec des installations qui font d'elle une belle usine électrique. Aujourd'hui, le réseau électrique de la RATP est alimenté par 7 postes haute tension connectés par 2 100 km de câbles de 15 000 volts. La distribution est assurée par 127 postes de redressement pour le métro, 55 pour le RER – avec 348 km de caténaires –, 21 pour le tramway, 6 pour les ateliers. Une unité spéciale avec près de 500 personnes est chargée de faire fonctionner cette usine. Le réseau de bus, comportant un parc de 4 400 véhicules, repose aujourd'hui très majoritairement sur les moteurs diesel. Circulent aussi quelques bus fonctionnant au GNV, des minibus électriques, et les premiers bus hybrides.

La mesure de l'efficacité énergétique à la RATP

Rapportée au nombre de passagers transportés, la consommation énergétique du réseau RATP est tout à fait raisonnable et le bilan environnemental favorable. Rapportée au voyageur par kilomètre, la consommation d'énergie d'une voiture particulière est environ deux fois plus élevée que celle d'un bus RATP (28,3 gep/voy.km). Les transports publics urbains sont source d'économies externes importantes : utiliser le métro plutôt que sa voiture, c'est remplacer l'énergie fossile (le carburant des véhicules particuliers) par une énergie électrique à très faible émission de gaz à effet de serre (division par quarante-cinq des émissions de gaz à effet de serre de chaque voyage). C'est également éviter la congestion urbaine, qui alourdit les coûts d'échange de biens, et pèse aussi sur la santé.

L'enjeu du prix de l'énergie pour la RATP

La consommation électrique de la RATP est un enjeu économique et la sobriété énergétique est donc un objectif prioritaire. La consommation en électricité, du fait de l'accroissement de l'offre, a augmenté de 7,5 % en huit ans, tandis que la facture électrique augmentait presque dix fois plus vite. En huit ans, la consommation de gazole pour le réseau bus a augmenté de 15 %, tandis que l'offre de transport sur la même période augmentait de 18 % en nombre de places-kilomètre offertes.

La RATP a engagé une politique d'amélioration de la sobriété énergétique dans tous ses métiers. Par exemple en améliorant le parc de matériels roulants : l'arrivée des trains à deux niveaux sur la ligne A du RER engendrera à terme un gain équivalent à la consommation annuelle de la ligne 7 du métro. Le renouvellement des matériels sur les lignes 2 et 5 du métro permet une économie de 30 % de consommation de la traction ferroviaire, à offre équivalente. Les bus hybrides qui arrivent en Île-de-France permettent d'économiser jusqu'à 25 % de carburant. La récupération de l'énergie de freinage dans les trains permet de rendre l'exploitation des matériels plus performante. La performance énergétique des espaces n'est pas non plus négligée avec le remplacement de l'éclairage de l'ensemble des gares RER et des stations de métro du réseau RATP par des LED (250 000 éclairages remplacés d'ici 2017 qui diviseront par deux la consommation d'éclairage des espaces voyageurs).

Les autres aspects de la politique énergétique de la RATP

Les choix technologiques en matière d'énergie sont guidés à la RATP par des préoccupations environnementales, de santé, et de sécurité d'approvisionnement.

La dépendance aux énergies fossiles à la RATP tient principalement à l'exploitation de son parc d'autobus. L'avenir technologique du bus est probablement électrique. La RATP le prépare, d'abord en soutenant les développements lourds des industriels en faveur de la technologie hybride, même si elle demeure aujourd'hui onéreuse, plus chère à l'investissement d'environ 60 % par rapport à la technologie diesel standard. La RATP considère que l'hybride est en effet le premier pas vers le tout-électrique, qui pourrait être une réalité vers 2020.

Le mix énergétique RATP est une autre façon de gérer la politique énergétique du groupe. La diversification des types de carburants a commencé avec le recours au gaz de ville, au GNV, au diester (biodiesel B30) et aux carburants de deuxième et troisième génération.

SOURCE D'INNOVATIONS D'OFFRE : EXEMPLE DU BÂTIMENT DURABLE

En France, les lois Grenelle 1 et 2 de 2009 et 2010 se focalisent sur les bâtiments, plus gros consommateurs d'énergies (43 % de l'énergie totale consommée par tous les secteurs économiques et 25 % des GES de la France ; environ 40 % de la consommation d'énergie en Europe). Ce qui a conduit à la généralisation des **bâtiments à basse consommation** (BBC) depuis 2012. L'efficacité énergétique d'un bâtiment peut se définir comme la propension à gérer sa propre énergie, à en produire, à la mesurer et à la répartir. Un bâtiment justifiant d'une bonne efficacité énergétique est un bâtiment qui vise **l'équilibre entre production et consommation d'énergie**. Il faut également aller plus loin et examiner l'énergie intrinsèque, l'utilisation de l'eau, les matériaux de construction et les déchets.

L'essor des *smart grids* a permis une nouvelle génération de bâtiments, les **bâtiments à énergie positive** (Bepos), qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Ils devraient se généraliser à horizon 2020 en France. Les constructeurs et promoteurs immobiliers deviennent alors des **fournisseurs de services** et non plus simplement de produits. Avec les producteurs et distributeurs d'énergie, ils s'apprêtent à prendre un virage important, à l'image de celui de la révolution Internet pour les enseignes de distribution ou du secteur des télécommunications il y a quelques années. Dans *La Troisième Révolution industrielle*, Jeremy Rifkin va plus loin en intégrant le fait que des millions de consommateurs/producteurs pourraient partager l'énergie : « *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 [...], exactement comme ils créent aujourd'hui leur propre information et la partagent sur internet.* »

Néanmoins, comme le soulignent les auteurs de l'étude *Innovation + développement durable = nouveaux business models*¹⁴ qui traite de la performance énergétique des bâtiments, les usages réels (ex. : pratiques d'aération/chauffage, de consommation d'eau) des occupants de ces bâtiments durables « *peuvent être très différents des scénarios retenus dans la phase de conception et dégrader fortement la performance énergétique* ». Les comportements plus économes en énergie ne sont pas seulement une question d'apprentissage et de responsabilisation, mais aussi d'aménagement des espaces ou d'opportunités. Pour inciter les gens à prendre les escaliers plutôt que l'ascenseur pour un ou deux étages, encore faut-il que l'escalier soit facile à trouver et pratique à emprunter¹⁵ ! Les auteurs plaident pour un changement d'échelle et un raisonnement sur l'innovation au niveau de l'écosystème, permettant de coordonner les initiatives, méthodes et outils des différentes parties prenantes (ex. : concepteurs, architectes, promoteurs, constructeurs, gestionnaires et occupants). Cette idée rejoint la proposition d'un rapport du CAS¹⁶ qui souligne l'importance de faire du comportement exemplaire la norme sociale, en proposant

14. Institut pour l'innovation et la compétitivité i7, ESCP Europe, juin 2013 (<http://institut-innovation-competitivite.eu/fr/publication/innovation-developpement-durable-nouveaux-business-models-0>).

15. « Efficacité énergétique : vers une révolution des usages ? », ParisTech Review, 12 avril 2012 (<http://www.paristechreview.com/2012/04/12/efficacite-energetique-usages/>).

16. Centre d'analyse stratégique, « " Nudges verts " : de nouvelles incitations pour des comportements écologiques », La Note d'analyse, no 216, mars 2011.

systématiquement comme solutions par défaut les solutions les plus économes en énergie, par exemple dans le cas de contrats de fourniture d'énergie.

Exemple : GreenYellow, filiale dédiée à l'énergie du groupe Casino, a pour objectif d'améliorer l'efficacité énergétique des magasins, dont l'éclairage et la production de froid dans les rayons alimentaires représentent les principaux postes de consommation d'énergie, d'origine essentiellement électrique. Avec plus de 400 millions d'euros investis depuis 2010 et 500 millions au cours des trois prochaines années, GreenYellow développe des sites performants sur le plan énergétique en produisant l'électricité de manière décentralisée (les bâtiments intelligents du groupe, équipés de centrales photovoltaïques, produisent localement l'énergie nécessaire au fonctionnement du bâtiment en question visant l'autosuffisance), en dépistant systématiquement les anomalies de consommation et les sources de gaspillage (monitoring pointu et équipements innovants) et en développant des stratégies d'effacement du réseau. Cette démarche globale est encore très novatrice en France et permet au groupe de développer une nouvelle branche d'activité avec d'autres acteurs économiques dans d'autres régions du monde en capitalisant sur cette expertise de développement et gestion de technologies à la fois écologiques et économiquement rentables.

SOURCE D'INNOVATIONS D'USAGE

Nous avons vu dans le chapitre précédent à quel point le sujet de l'efficacité énergétique allait impacter les comportements des clients et des citoyens, les rendant plus responsables de leurs consommations énergétiques.

Exemple : SFR teste actuellement sur sa plate-forme de cocréation en ligne, l'Atelier SFR, un service d'alerte et de conseil sur l'état de la consommation énergétique du domicile directement accessible sur mobile ou tablette. Ce service fait partie d'une offre plus large appelée « Home By SFR » qui aidera les consommateurs à maîtriser à distance la consommation de leur domicile.

L'efficacité énergétique incite à imaginer et développer de **nouveaux services de mobilité**, au centre desquels se trouvent souvent les véhicules électriques. La recharge de ces véhicules, mobile et imprévisible, instaure de nouveaux usages : plutôt que de s'arrêter à une station-service, les possesseurs de véhicules électriques rechargeront leur batterie à leur domicile, au bureau, dans la rue, sur un parking. Ces nouvelles situations constituent autant de nouveaux défis pour les acteurs traditionnels – par exemple, l'enjeu pour des sociétés comme ERDF est de mettre à disposition la puissance et la qualité d'électricité nécessaires à une recharge optimale partout et à tout moment) – que d'opportunités pour de nouveaux challengers (Better Place, société israélienne alliée au groupe Renault, qui a déposé le bilan au printemps, avait imaginé des stations d'échange de batteries sur les véhicules électriques en trois minutes, sur le modèle des ravitaillements aux stands de Formule 1). Les **véhicules électriques en libre-service** ou les services de **partage de voitures** entre particuliers sont autant d'exemples des nouveaux services de mobilité émergents consécutivement aux nouveaux usages impulsés par l'objectif d'efficacité énergétique.

SOURCE D'INNOVATIONS ORGANISATIONNELLES

Par ailleurs, la prise en compte accrue par les entreprises des dépenses énergétiques – liées aux transports et déplacements, notamment – peut engendrer des **changements dans les pratiques organisationnelles**. Le recours au covoiturage entre collègues et au télétravail sont des exemples de mesures visant à réduire les dépenses énergétiques directes et indirectes liées à l'activité de l'entreprise.

Le **covoiturage** n'est plus un moyen de transport marginal. La SNCF propose depuis peu des services de covoiturage et a récemment lancé deux services, alignés sur le prix du covoiturage : les trains *low cost* Ouigo et les cars IDBus. Dans le monde de l'entreprise, en cas d'impossibilité d'emprunter les transports en commun pour se rendre au travail ou pour minimiser les coûts (financiers, fatigue), certains collègues peuvent décider d'optimiser leurs trajets en pratiquant le covoiturage. Si la réduction du nombre de véhicules en circulation

diminue automatiquement les émissions de GES, le covoiturage permet également à ses adeptes de réduire la facture des déplacements professionnels (partage des frais d'essence et de péage).

Exemple : Air France a souhaité faciliter la pratique du covoiturage parmi ses collaborateurs d'Île-de-France en mettant en place, en liaison avec Aéroports de Paris, un site Internet dédié ¹⁷. Ce site propose un service de transport pratique aux salariés, qu'ils soient conducteurs ou passagers. Les salariés paient une cotisation de 16 euros TTC à l'année qui peut être prise en charge par l'entreprise.

Air France propose également à ses salariés depuis juin 2008 une formation « conduite durable » pour apprendre les bonnes pratiques de l'écoconduite, une conduite sûre et économique, diminuant de 10 % à 20 % la consommation de carburant.

Le recours au **télétravail** se démocratise progressivement en France, alors qu'il est pratiqué de longue date dans les pays scandinaves : près de 17 % des Français travaillent à distance pour le compte de leur employeur ¹⁸, à proximité de leur domicile, de leur maison de campagne ou de leur clientèle par exemple. L'activité de travail peut se dérouler à domicile (la majorité des cas) ou dans un télécentre (espace collectif de travail). Les centres de télétravail peuvent également constituer d'utiles bureaux de passage pour les travailleurs nomades fréquemment en déplacement – certaines sociétés mettent également en place des bureaux mobiles dans leurs différents sites – ou des lieux de rencontre et d'échange pour les travailleurs indépendants souffrant souvent d'isolement. Le télétravail a un impact à la fois social, sociétal et économique. Il permet d'améliorer l'efficacité énergétique, car il diminue les émissions de CO₂ induites par les transports, dont les durées sont réduites, et d'améliorer les conditions de travail des adeptes. Les bénéfices attendus d'un tel dispositif sont en effet nombreux et variés, aussi bien pour le travailleur que pour l'employeur : réduction

17. <http://covoiturage-aeroports.fr>.

18. Tour de France du télétravail 2012 (http://tourdefranceduteletravail.fr/wp-content/uploads/2013/03/LivreBlanc_TourTT2012.pdf).

tion du stress et de la fatigue dus aux mouvements pendulaires, concentration plus aisée qu'en *open space*, insertion facilitée des personnes handicapées dans le monde professionnel... Néanmoins, les détracteurs remettent en cause l'argument d'un meilleur équilibre vie professionnelle-vie privée, estimant par exemple qu'il peut être difficile de se fixer des limites en horaires et charge de travail hors des murs de l'entreprise, ou qu'il existe un risque d'isolement et de manque de visibilité en interne pour le travailleur.

Exemple : La Poste a signé cette année un accord national relatif au télétravail sur trois ans pour les salariés dont l'activité est compatible avec ce mode d'organisation du travail (les guichetiers et les facteurs en sont donc exclus). Sur la base du volontariat, le télétravail peut s'effectuer soit à domicile, soit dans un centre de proximité, en moyenne deux jours par semaine. Dans le premier cas, l'entreprise fournit l'équipement informatique, couvre les frais d'abonnement Internet à haut débit et prend en charge le diagnostic électrique au domicile du salarié pour s'assurer de la conformité de son espace dédié au télétravail. Dans le second cas, l'entreprise finance l'adhésion au centre de télétravail le plus proche du domicile du salarié.

Exemple : la ville d'Amsterdam a choisi de lancer, en partenariat avec Cisco, un programme de *smart work centers* en périphérie pour limiter la congestion du centre-ville qui entraînait d'importants pics de pollution et des coûts immobiliers trop élevés pour les entreprises. Ces lieux de travail partagés mixent des populations de travailleurs indépendants, d'entrepreneurs et de salariés mobiles et offrent des environnements de travail à la fois studieux et conviviaux, dont le rapport qualité-prix est souvent intéressant en raison du nombre important de services mutualisés (salles de réunion, cafétéria, services courrier et reprographie, garderies).

En 2011 la ville avait réussi à convaincre 8 % de ses employés d'adopter les *smart work centers*, tout en visant à terme un chiffre de 15 %. Sur l'ensemble de la ville, l'initiative lancée en 2008 a permis d'abaisser le nombre de bureaux par employé municipal de 1,3 à 0,7 et de réduire l'empreinte carbone de la ville.

FACTEUR DE PERFORMANCE

70 % des entreprises interrogées début 2013 dans la région Nord-Pas-de-Calais ¹⁹ mettent déjà en place une politique d'efficacité énergétique, dans le cadre d'une certification ou d'une norme pour la majorité d'entre elles (échantillon de 50 entreprises de plus de 250 salariés). Deux entreprises sur trois affirment que leur politique d'efficacité énergétique est source d'économies. Dans 15 % des cas, cela a entraîné la création de nouveaux emplois en charge du management de l'énergie de l'entreprise.

Les retombées de l'efficacité énergétique sont très hétérogènes selon le secteur d'activité considéré. Les activités reposant sur un nombre important de bâtiments – avec un poste transports significatif ou dont la production consomme beaucoup d'énergie – sont particulièrement intéressées à prendre des mesures de gestion énergétique.

Cependant, quel que soit le secteur, deux conséquences positives immédiates se dégagent.

- Une efficacité énergétique accrue entraîne la **réduction des coûts de fonctionnement** (baisse de la facture énergétique ²⁰) et améliore donc la rentabilité globale. De façon évidente, l'impact sera différent pour une entreprise tertiaire dont la facture énergétique est une ligne parmi d'autres du poste « charges générales » ou pour une industrie qui comptabilise l'énergie comme un coût variable.
- Les efforts pour tendre vers une plus grande efficacité énergétique contribuent à donner une **image positive** de l'entreprise pour la plupart des parties prenantes. Cet axe de communication est souvent plus efficace pour les entreprises qui opèrent en B2C ou qui ont une empreinte environnementale élevée. Néanmoins, ces opérations de communication peuvent

19. B & L évolution et Centrale Lille Projets, « Baromètre 2013 : l'efficacité énergétique dans les entreprises de la région Nord-Pas-de-Calais » (http://bl-evolution.com/Docs/Barometre_2013_NPdC.pdf).

20. « La directive européenne sur l'efficacité énergétique (DEEE) [du] 4 octobre 2012 [...] se propose d'accroître les économies d'énergie de 202 Mtep, soit 17 % d'économies d'énergie d'ici 2020 », Énergie 3.0, op.cit., qui affirme aussi qu'entre « 13 et 20 milliards d'euros d'économie annuels pourraient être dégagés par le déploiement des principales solutions d'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels et tertiaires ».

parfois se révéler contre-productives si elles ne parviennent pas à convaincre ; elles se voient alors taxées de « *green washing* ».

Cependant, il existe de grandes différences de performance entre les stratégies d'efficacité énergétique : d'après Rudy Provoost, « *le temps de retour sur investissement des mesures d'efficacité énergétique actives est en effet de trois à sept ans pour le secteur tertiaire, de six à treize ans pour les logements résidentiels, contre quarante ans pour l'efficacité énergétique passive et plusieurs dizaines d'années pour des investissements en capacité de production renouvelable* ». Il est donc important de hiérarchiser les différentes mesures d'efficacité en fonction de leur performance, parmi une offre parfois vaste et peu lisible.

Enfin, l'efficacité énergétique est aussi un facteur de croissance : d'après la Commission européenne, la rénovation thermique et énergétique des bâtiments représenterait 400 000 emplois, et d'autres mesures d'efficacité énergétique créeraient 2,4 millions d'emplois d'ici 2020 ²¹.

VERS DE NOUVEAUX BUSINESS MODELS

À l'échelle de la ville, la raréfaction de l'ensemble des ressources, au moment même où la poursuite de l'urbanisation explose, engendre une nouvelle complexité. Les villes souhaitent être plus efficaces, et cela vaut pour l'énergie comme pour l'eau ou les déchets. Cela implique de nouvelles attentes vis-à-vis de leurs fournisseurs, qui conduisent ces derniers à revoir leur modèle économique et à innover tant dans leur offre de services que dans les modalités de leur relation contractuelle.

Le levier le plus prisé des municipalités reste de très loin le partenariat public-privé qui leur permet de profiter des capacités d'investissement et du savoir-faire des entreprises. Face à l'importance de la dette publique et des difficultés de trésorerie, les villes font réaliser des infrastructures (lignes de TGV, hôpi-

21. *Énergie 3.0, op. cit.*

taux...) par des fonds privés en contrepartie par exemple d'un loyer payé sur des dizaines d'années. Les deux parties partagent ainsi les risques et les bénéfices. Ce type de partenariat est d'autant plus intéressant pour les municipalités que les coûts de ces projets sont élevés : d'après la Commission européenne, les investissements nécessaires dans l'Union européenne seraient à ce jour de 1 000 milliards d'euros pour les infrastructures énergétiques (génération, transport et distribution) ²².

Veolia, du volume à la valeur

Veolia se présente comme un gestionnaire de ressources (déchets, énergie) à l'échelle de la ville. La question de la gestion de la rareté des ressources est cruciale pour le groupe. Elle constitue un fort levier d'innovation, au-delà des innovations technologiques telles que la mise en place de capteurs et la gestion des données en émanant (cf. la note thématique sur les *big data*).

Une innovation dans la relation contractuelle : à l'heure de l'*open innovation*

Veolia propose désormais un contrat de partenariat particulier : elle met à disposition de la municipalité (au service chargé de l'eau ou des déchets par exemple) des experts Veolia, payés par la municipalité, spécialisés dans les divers sujets techniques considérés et en management. Des objectifs communs à atteindre sont prédéterminés, avec un partage des gains à la clé. La ville, face à la nécessité de l'optimisation des ressources, doit s'associer avec ses prestataires selon de nouveaux *business models*. Plus le sujet est technique et lié à l'optimisation, plus il est hors de propos d'imaginer que la ville sera à même d'agir seule, même si elle souhaite conserver le modèle de la régie. Lors de la dernière cérémonie de remise des Global Water Awards organisée à Séville en Espagne en avril 2013, Veolia Eau a été primée dans la catégorie « *Utility Performance Initiative of the Year* » pour l'initiative menée par un opérateur privé représentant l'engagement le plus important pour l'amélioration de la performance des services publics de l'eau à long terme.

22. *Infrastructures énergétiques. Priorités pour 2020 et au-delà – Schéma directeur pour un réseau énergétique européen intégré*, Direction générale de l'énergie, Commission européenne, 2011 (http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2011_energy_infrastructure_fr.pdf).

Par exemple, dans le cadre de son programme d'excellence opérationnelle, la ville de New York, qui fournit des services d'approvisionnement en eau et en assainissement à près de 9 millions de personnes, souhaitait réduire sa facture s'élevant à 1,2 milliard de dollars par an. La municipalité signe alors un contrat de performance et d'assistance à maîtrise d'ouvrage avec Veolia Eau, qui s'est associée pour l'occasion avec le cabinet de conseil en management McKinsey, conjuguant ainsi leurs compétences respectives en méthodologie de conduite du changement et en expertise des systèmes de gestion de l'eau. La première phase du contrat visait à réaliser un diagnostic des installations d'eau et d'assainissement existantes et à faire des préconisations en vue de l'amélioration de leur performance et de la réduction des coûts de fonctionnement ; 130 millions de dollars d'économies annuelles et de recettes supplémentaires ont été réalisées pour le service public au stade de cette première phase. Veolia Eau a été rémunérée en fonction du montant des économies réalisées et auditées de coûts d'exploitation (chiffre d'affaires estimé à 36 millions de dollars). La seconde phase consiste à transférer les compétences nécessaires aux équipes opérationnelles de la municipalité pour sécuriser les bénéfices de l'optimisation de l'exploitation ce qui permettra à la fois d'améliorer la qualité du service et d'en minimiser le coût pour les usagers. Le contrat signé avec la ville de New York, peu consommateur de capital pour Veolia Eau, est l'illustration des nouveaux types de partenariats que Veolia souhaiterait proposer aux autorités publiques qui bénéficient ainsi des expertises de pointe de Veolia et de son entreprise privée partenaire, tout en gardant 100 % du contrôle du service public.

Infographie du contrat entre la municipalité de New York et Veolia Eau



« Cette approche, basée sur l'amélioration de la performance, la valorisation des ressources naturelles et la participation à la dynamique des territoires sur lesquels nous intervenons, nous permet de répondre aux demandes de nos clients. Nous passons d'un marché de l'offre à un marché de la demande, où nous allions à nos solutions traditionnelles des solutions de *knowledge management* et d'innovation continue. »

Jean-Michel Herrewyn,
directeur général de Veolia Eau

Une innovation de *business model* : du volume à l'optimisation

Dans l'exemple du partenariat précédemment cité, la structure de tarification de Veolia change radicalement puisqu'elle est ici basée sur les résultats. Auparavant, Veolia se rémunérait au volume d'eau traité : la collectivité achetait à Veolia non pas l'eau elle-même mais le fait que Veolia ait rendu l'eau potable, le transit de cette eau dans un réseau qui la maintenait potable, le traitement des eaux usées et idéalement leur valorisation dans des stations d'épuration, sous forme d'énergie ou de plastique par exemple. Ces services composaient les éléments de la facture payée par l'utilisateur final. Depuis que les villes ont demandé aux fournisseurs de les aider à faire des économies, la rémunération d'un groupe comme Veolia ne repose donc plus sur le volume mais sur l'optimisation et l'expertise. Le métier du groupe se transforme de fait : « *Veolia devient un opérateur* », analyse Michel Morvan, ancien vice-président Strategic Intelligence and Innovation de Veolia. Ce nouveau modèle économique, particulièrement pertinent pour les fournisseurs de flux (eau, énergie), est appelé « économie de la réduction¹ ».

Cette transition ne se fait pas sans heurts. D'une part, parce qu'en interne elle suppose de passer d'une organisation reposant sur des « cols bleus » à une organisation et une offre reposant sur des « cols blancs ». Ceci change la nature du métier et exige de se familiariser avec les NTIC, d'acquérir de nouvelles compétences, de recruter de nouveaux types de profils. Le sujet a donc un impact sur la gestion des ressources humaines de l'entreprise, et son organisation. Le groupe doit accepter ces éléments nouveaux et s'y adapter, ce qui n'est pas simple, même pour les cols blancs. D'autre part, le rapport de Veolia avec les différentes parties prenantes évolue également. Aujourd'hui, alors que la ville émet de nouveaux besoins, que sa population devient sensible aux enjeux financiers et écologiques Veolia devient un partenaire de la ville.

1. Cf. étude *Innovation + développement durable = nouveaux business models*, Institut pour l'innovation et la compétitivité i7, ESCP Europe, juin 2013.

L'**innovation frugale**, ou la capacité à « faire plus avec moins », c'est-à-dire à maximiser la valeur apportée aux clients tout en minimisant l'utilisation de ressources rares (énergie, capital, temps)²³ et le gaspillage (recyclage, valorisation des déchets), pourrait être aussi un levier de compétitivité intéressant pour les économies européennes. Un exemple célèbre est celui du réfrigérateur indien Chotukool qui n'a pas besoin d'électricité pour conserver fruits, légumes et lait au frais pendant plusieurs jours. Fabriqué en argile et 100 % biodégradable, il est le réfrigérateur le plus écologique du monde et ne coûte qu'une cinquantaine d'euros. Initialement pratiquée dans les pays émergents pour qui l'accès à l'énergie constitue un élément incontournable du développement des sociétés, l'innovation frugale intéresse de plus en plus de grands groupes internationaux qui cherchent à mettre en place des solutions abordables génératrices de forte croissance, malgré de faibles marges, grâce à des volumes potentiellement colossaux²⁴. De plus, ces innovations peuvent trouver de nouvelles applications dans les marchés développés (on parle de « *reverse innovation* ») et en démultiplier à nouveau le potentiel économique. Par exemple, le cimentier Lafarge a développé en Inde des matériaux de substitution à base de cendres volantes issues de centrales thermiques, à la fois plus économiques et durables, qui pourraient être utilisés en France pour construire à moindre coût des bâtiments durables.

Malgré la possibilité d'investir dans l'efficacité énergétique de manière rentable, parfois à court terme, encore peu de ménages s'y engagent. Cet *energy paradox* met en avant la nécessité de développer de **nouveaux modes de financements**, d'autant plus que nombre de foyers se trouvent en situation de précarité énergétique²⁵ et sont très sensibles aux variations du prix de l'énergie, alors qu'ils habitent souvent dans des logements de mauvaise qualité thermique. Aux États-Unis, avec les *On-Bill EE loans & EE tariffs*, certains fournisseurs d'électricité ou de gaz proposent de financer les mesures d'efficacité énergétique des usagers et répercutent les investissements sur les factures.

23. Navi Radjou, Jaideep Prabhu et Simone Ahuja, *L'Innovation Jugaad : redevenons ingénieux !*, Éditions Diateino, 2013.

24. « L'innovation frugale, la nouvelle stratégie industrielle qui nous vient des pays émergents », *Le Nouvel Économiste*, 6 octobre 2011.

25. En France, entre 3,4 et 9 millions de ménages seraient concernés, selon le mode de calcul. D'après une étude de l'Insee de 2006, 13 % des ménages français dépensent plus de 10 % de leurs revenus pour leur dépense d'énergie dans le logement. D'après l'Iddri, 3,5 millions de français déclarent souffrir de froid dans leur logement (http://www.iddri.org/Publications/Collections/Syntheses/PB0213-LC%20MS_inegalite%20vulnerabilite%20transition%20energetique.pdf).

Exemple : inventée par l'ingénieur brésilien Alfredo Moser et des étudiants du MIT, *Liter of Light* ²⁶, la bouteille solaire, est une ampoule économe qui n'a besoin que de la lumière du soleil, d'eau et de javel (pour garantir la transparence du liquide) pour éclairer des pièces entières comme le ferait une ampoule de 50 watts. C'est une solution originale et peu coûteuse pour bénéficier en plein jour, par réfraction, de lumière à l'intérieur ; l'économie de CO₂ réalisée est estimée à 17 kg par an et par ampoule selon l'ONG MyShelter qui essaime l'initiative aux Philippines, au Vietnam, au Népal, en Inde, en Afrique du Sud, au Mexique et en Colombie. Ilac Diaz, fondateur de MyShelter, vise l'installation à terme d'un million de ces ampoules, ce qui équivaldrait selon lui au bénéfice environnemental de l'installation d'une éolienne *onshore*.

Exemple : le four à bois Oorja de First Energy est capable de brûler moins de bois qu'un foyer traditionnel et de minimiser l'émission de fumée, grâce à une technologie issue des centrales à charbon. Si l'entreprise ne gagne pas d'argent sur le produit (vendu environ 15 euros), elle se rattrape sur la vente de combustibles, produits à partir de tous types de déchets provenant de l'agriculture traditionnelle.

Exemple : les *data centers* représentaient en 2010 entre 1,1 % et 1,5 % de la consommation électrique mondiale, d'après le professeur J. G. Koomey ²⁷. Une grande partie de cette énergie est utilisée dans le système de refroidissement des serveurs et pourrait être revalorisée. En Suisse, IBM a mis en place un système de récupération de chaleur – qui évite l'émission annuelle de 130 tonnes de CO₂ – pour chauffer une piscine publique. Selon IBM, il serait théoriquement possible de récupérer jusqu'à 90 % de la puissance électrique de départ.

Dalkia propose aussi un service de « chauffage vert » en revendant la chaleur dégagée par le système de refroidissement des serveurs informatiques. Un projet mis en place avec le groupe Euro Disney alimente en chauffage et eau chaude la pépinière d'entreprises et le centre aquatique de Val d'Europe. Il pourrait à terme chauffer les bâtiments attenants sur une surface de 600 000 m² selon Dalkia, contre 6 000 m² actuellement, et éviter l'émission annuelle de 5 400 tonnes de CO₂.

26. Voir le site de la fondation MyShelter (<http://aliteroflight.org/index.php>).

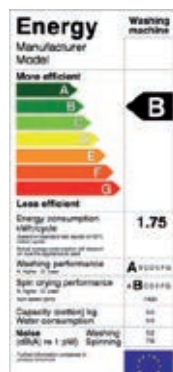
27. 275 milliards de kWh par an en 2010, avec une progression de 56 % entre 2005 et 2010.

PISTES DE RECOMMANDATIONS POUR LES POUVOIRS PUBLICS

Les politiques énergétiques ont généralement pour but de réduire l'empreinte environnementale de l'activité humaine, mais pas suffisamment encore de favoriser les démarches d'efficacité énergétique active. L'élaboration d'une réglementation judicieuse en matière d'efficacité énergétique est une chose complexe à réaliser. Les intérêts des producteurs (faibles coûts de production), ceux des consommateurs (faibles coûts d'achat et praticité des produits par exemple) et l'intérêt général (limitation des impacts environnementaux et conservation des ressources) sont souvent conflictuels. L'harmonisation au niveau mondial, qui semble nécessaire pour arriver à des résultats concrets, est très difficile à obtenir, comme le montrent la longueur des négociations et les résultats en demi-teinte du protocole de Kyoto (2005) ou encore des sommets de Copenhague (2009) et de Rio de Janeiro (2012). Ces réunions internationales ont principalement visé à réduire l'émission des GES.

Jusqu'à présent, les mesures publiques liées à l'efficacité énergétique en France ont œuvré dans deux directions :

- **la baisse de la consommation d'énergie**, en incitant à une meilleure isolation des bâtiments, ou encore en fixant des normes de consommation et en rendant obligatoire l'étiquetage pour les appareils électroménagers (efficacité énergétique passive) ;
- **le développement des énergies « propres »**, au détriment des énergies fossiles, en encourageant les moyens de transport électriques, l'installation de dispositifs photovoltaïques ou éoliens, etc. Le Grenelle de l'environnement fixe par exemple à 20 % la part des énergies renouvelables en France d'ici 2020.



Au niveau européen, plusieurs directives sur l'efficacité énergétique ont été publiées depuis 2004. Le plan européen climat-énergie de 2008 a abouti à la règle des « 3×20 » : baisse de 20 % des GES, baisse de 20 % de la consommation énergétique et 20 % d'énergies renouvelables d'ici 2020. Si le discours dominant en Europe condamne l'émission de GES et encourage le développement des énergies renouvelables, le retour de l'exploitation massive du pétrole et du gaz aux États-Unis, au Canada ou en Irak montre toute l'ambiguïté du sujet et le cadre beaucoup plus global dans lequel il s'inscrit.

Dans *La Troisième Révolution industrielle*, Jeremy Rifkin parle de l'Europe comme de l'espace le plus avancé en termes de coopération énergétique, citant notamment la Ceca (Communauté européenne du charbon et de l'acier, créée en 1951) et le Plan solaire méditerranéen (PSM) qui pourrait relier un vaste réseau de panneaux solaires dans le Sahara aux consommateurs nord-africains et européens, fournissant ainsi 15 % des besoins énergétiques de l'Union européenne. Cependant, l'harmonisation énergétique du continent européen n'est pas encore pour demain. Il suffit de regarder la question du nucléaire et des énergies renouvelables pour s'en persuader : l'Allemagne a décidé de se passer de l'énergie nucléaire suite aux incidents de Fukushima, quand la France en fait encore une pierre angulaire de sa politique énergétique. Le déploiement de réseaux intelligents à grande échelle nécessite l'intervention et la volonté des pouvoirs publics, et l'harmonisation des dispositifs à un niveau national et international.

Propositions

a) Améliorer la réglementation

1. **Dans les standardisations** : œuvrer à la standardisation à l'échelle européenne des réseaux électriques pour faciliter leur interopérabilité et rendre possible un marché européen de l'énergie, travailler à la standardisation des infrastructures pour les véhicules électriques.
2. **Dans l'efficacité thermique des bâtiments** : soutenir la rénovation de bâtiments publics ou d'entreprise et imposer des garanties de performance intrinsèques pour les nouveaux travaux.
3. **Dans l'évaluation de l'efficacité** : modifier les certificats d'énergie pour améliorer leur efficacité, mettre à jour des étiquettes énergie pour les appareils, transformer la réglementation thermique en une réglementation énergétique qui tient compte de davantage de facteurs.
4. **Dans les possibilités de financement** : favoriser le tiers financement dans les contrats de performance énergétique (CPE) (cf. le rapport *Smart cities*).

Aujourd'hui, les possibilités en la matière sont limitées pour des raisons légales. Pour améliorer l'efficacité énergétique, on pourrait faciliter, dans le cadre d'un marché public, l'utilisation du CPE en introduisant la possibilité de tiers investissement/financement par un acteur privé qui viendrait s'ajouter au financement public. Le CPE nouvelle mouture permettrait à ces acteurs d'avancer les sommes aux partenaires publics pour financer les travaux d'efficacité énergétique ; l'acteur tiers se rembourserait ensuite grâce à une part des économies d'énergie réalisées. Aujourd'hui, en raison de la prohibition des clauses de paiement différé qu'impose le Code des marchés publics, la personne publique ne peut confier à un tiers investisseur le soin de préfinancer les travaux d'économie d'énergie.

b) Favoriser l'adoption de bons comportements par les consommateurs, afin de tirer pleinement parti des nouvelles technologies d'efficacité énergétique

1. Un meilleur accompagnement

- › Pour permettre une meilleure prise de conscience du consommateur, il est tout d'abord nécessaire de lui permettre de visualiser sa consommation en soutenant l'installation de compteurs faciles d'accès et d'utilisation.
- › Il est aussi indispensable de développer l'accompagnement des particuliers dans leurs démarches personnelles d'efficacité énergétique, notamment pour les rénovations de bâtiments. Pour cela, l'Etat pourrait proposer des diagnostics de performance énergétique (DPE) qui intègrent automatiquement des propositions de travaux rentables, créer un label unique pour les prestataires de services et travaux de rénovation et imposer une vérification des travaux indépendante, avec sanction si le résultat n'est pas à la hauteur du devis. Des conseillers en rénovation énergétique pourraient accompagner les particuliers dans ces démarches.

2. Des incitations économiques

- › Ces incitations peuvent être des subventions directes, des prêts à taux bonifié, des crédits d'impôts ou des taxes.
- › La responsabilisation des consommateurs dans la gestion des pointes et dans la maîtrise de la demande pourrait passer par une adaptation des tarifs réglementés aux évolutions du réseau. Un dispositif d'alerte du grand public en cas d'écart critique demande-production pourrait aussi être mis en place.

3. Des incitations non financière : les *nudges*

- › Pour rendre les bénéfices plus concrets, il s'agirait d'informer les consommateurs sur les coûts et les bénéfices des appareils économes et des bons comportements.
- › Après des travaux de rénovation, on pourrait informer le consommateur sur les économies qu'il a réalisées, et comparer les différentes économies potentielles avec ou sans changements de comportement via la facture.

- › Pour favoriser les effets, on pourrait organiser des concours locaux des « meilleures » économies, en comparant les performances entre voisins, immeubles ou communes.

c) Introduire des compteurs intelligents ouverts

C'est-à-dire fondés sur des normes et des dispositifs permettant à tout acteur privé de proposer des services ou des applications. En effet, le frein à leur utilisation n'est pas l'ouverture des données par l'entreprise, mais l'existence de réglementations protectrices. Cela permettrait, en favorisant un écosystème de start-up, de dynamiser l'offre d'applications permettant par exemple le pilotage du bâtiment et les services qui y sont liés.

L'OBSERVATOIRE DE L'INNOVATION

LE PRÉSIDENT



Christophe de Maistre est Président de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise.

Président de Siemens France, Christophe de Maistre est diplômé de l'école d'ingénieur Institut Supérieur de Mécanique de Paris. Il a obtenu un D.E.A. de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan et un eMBA (Duke University).

Christophe de Maistre intègre le Groupe Siemens en 1991 où il occupe diverses fonctions marketing en Allemagne et en France avant d'être nommé General Manager Automation & Drives Electrical Technologies de Siemens Ltd China (1998/2002). Il est ensuite successivement Corporate Account Manager Group de Siemens AG pour les Groupes de Distribution REXEL et SONEPAR (2002/2005), General Manager A&D Low Voltage (Systèmes & Produits) de Siemens Ltd China (2005/2008) et, enfin, Senior Vice-President Siemens Building Technology North-East Asia (2008/2010). Début 2011, Christophe de Maistre est nommé président de Siemens France. Il a exercé également les fonctions de Président Europe Sud et Ouest de Siemens entre 2011 et 2013.

LE PILOTE



Delphine Manceau est Pilote de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise.

Professeur à ESCP Europe, elle y a fondé l'Institut pour l'innovation et la Compétitivité i7 qui analyse les nouvelles pratiques d'innovation des entreprises. Elle est aujourd'hui Directrice Europe de la Division Corporate de ESCP Europe qui rassemble

les activités de formation continue (programmes sur mesure et sur catalogue), l'Executive MBA et les relations avec les entreprises.

Spécialiste de marketing et d'innovation, elle a réalisé en 2009 avec Pascal Morand le rapport *Pour une nouvelle vision de l'innovation* commandé par Christine Lagarde, alors Ministre de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, sur la capacité d'innovation des entreprises françaises et européennes. Elle est également l'auteur de l'ouvrage de référence *Marketing Management* avec Philip Kotler et Kevin Keller et de *Marketing de l'innovation* (avec Emmanuelle Le Nagard). Titulaire d'un doctorat en sciences de gestion et du diplôme d'habilitation à diriger des recherches, elle a été *Senior Fellow* à la Wharton School (University of Pennsylvania). Elle a également occupé les fonctions de Directeur académique de ESCP Europe et de Directeur du programme Master in Management Grande Ecole entre 2005 et 2008.

LE RAPPORTEUR



Julie Fabbri est Rapporteur de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise.

Secrétaire Générale de l'Institut pour l'Innovation et la Compétitivité i7 de ESCP Europe depuis 2011, elle organise et coordonne les événements et travaux de recherche d'i7 sur les nouvelles pratiques d'innovation des entreprises.

Diplômée de ESCP Europe (Master in Management) et titulaire d'un Master Recherche en Gestion et Dynamique des Organisations de l'Université Paris X Nanterre, elle est aujourd'hui doctorante au Centre de Recherche en Gestion de l'Ecole Polytechnique (CRG) où elle s'intéresse au rôle de l'espace physique de travail et des tiers lieux (espaces de *coworking*, *fab lab*) dans les processus d'innovation de petites entreprises et d'entrepreneurs

LES DERNIÈRES PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE L'ENTREPRISE

Les réseaux sociaux d'entreprises : entre promesses et illusions

Par Denis Moneuse (avril 2014)

Royaume-Uni, l'autre modèle ? La Big Society de David Cameron et ses enseignements pour la France

Par Eudoxe Denis avec Laetitia Strauch (mars 2014)

Assurance chômage : six enjeux pour une négociation

Par Bruno Coquet (janvier 2014)

Smart Cities. Efficace, innovante, participative : comment rendre la ville plus intelligente ?

Par l'Institut de l'entreprise (novembre 2013)

Entreprises et territoires : pour en finir avec l'ignorance mutuelle

Par l'Institut de l'entreprise (octobre 2013)

Mettre enfin la fiscalité au service de la croissance

Par l'Institut de l'entreprise et l'Institut Montaigne (septembre 2013)

Réformer vraiment la formation professionnelle

Par Jacques Barthélémy et Gilbert Cette (septembre 2013)

Allemagne : miracle de l'emploi ou désastre social ?

Par Alain Fabre (septembre 2013)

Service public 2.0

Par Elisabeth Lulin (juillet 2013)

Toutes nos publications sont téléchargeables
sur notre site internet : www.institut-entreprise.fr

Créé en 1975, l'Institut de l'entreprise est un think tank indépendant de tout mandat syndical ou politique. Association à but non lucratif, l'Institut de l'entreprise a une triple vocation : être un centre de réflexion, un lieu de rencontre et un pôle de formation. Profondément ancré dans la réalité économique, il concentre ses activités sur la relation entre l'entreprise et son environnement. L'Institut de l'entreprise réunit plus de 130 adhérents (grandes entreprises privées et publiques, fédérations professionnelles et organismes consulaires, institutions académiques, associations...). Ses financements sont exclusivement privés, aucune contribution n'excédant 2% du budget annuel.

THINK TANK

- La réflexion de l'Institut de l'entreprise s'organise autour de 5 thématiques prioritaires : compétitivité et innovation, emploi et prospective sociale, management, finances publiques et réforme de l'action publique.
- Dans cette réflexion, la vision de l'entreprise – conçue à la fois comme organisation, acteur du monde économique et acteur de la société – tient une place prépondérante. Pour réaliser ses études et élaborer ses propositions, l'Institut de l'entreprise met à contribution un vaste réseau d'experts (universitaires, hauts fonctionnaires, économistes, politologues, dirigeants d'entreprise, think tanks partenaires étrangers...). La diffusion de ses idées s'appuie sur la parution régulière de rapports et de notes et sur la publication d'une revue annuelle, *Sociétal* – qui propose également des débats en ligne sur les questions d'actualité économique via la page *Sociétal - Le Blog*, intégrée au site internet de l'Institut de l'entreprise. Résolument tourné vers l'international et partenaire fondateur du *Réseau International des Think Tanks Economiques* (www.isbtt.com), l'Institut de l'entreprise intègre systématiquement dans sa réflexion l'analyse de modèles étrangers susceptibles d'inspirer les politiques publiques françaises.

RENCONTRES

Ouvertes à un large public ou réservées aux adhérents, les manifestations organisées par l'Institut de l'entreprise ont pour objectif d'animer le débat public et de stimuler la réflexion sur des sujets d'intérêt collectif, liés à l'entreprise. Dirigeants d'entreprise, personnalités politiques, experts issus de l'entreprise ou du monde universitaire sont invités à s'exprimer à l'occasion de déjeuners, de conférences et de débats.

FORMATION

L'Institut de l'entreprise propose des programmes pédagogiques visant à sensibiliser les publics appartenant à l'écosystème de l'entreprise aux enjeux économiques et sociaux. Dans ce cadre, l'Institut s'adresse prioritairement aux enseignants de Sciences économiques et sociales (SES), avec le Programme Enseignants-Entreprises; aux jeunes «hauts potentiels», avec l'Institut des Hautes Études de l'Entreprise (IHEE) et Le Cercle; aux représentants politiques avec le programme Elus & Entreprises.

Pour en savoir plus : www.institut-entreprise.fr



29, rue de Lisbonne, 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 53 23 05 40 / Fax : +33 (0)1 47 23 79 01
www.institut-entreprise.fr

