

# Electricité : la France tente de rétablir l'efficacité

*Bâtir des réseaux intelligents pour optimiser la gestion du courant et prévenir les ruptures d'approvisionnement : c'est l'enjeu d'expériences pilotes en Paca, Rhône-Alpes et Bretagne notamment. Suffisant face à la surconsommation ? Décryptage.*

**Premio ne paie** vraiment pas de mine. « Production répartie, énergies renouvelables et maîtrise de l'énergie, intégrées et optimisées » occupe un préfabriqué posé sur un parking de Lambesc (Bouches-du-Rhône). Le plus ancien réseau intelligent (*smart grid*) (*lire Repères p. 73*) expérimenté en Europe n'est qu'une grosse armoire rem-

plie de serveurs informatiques. Depuis un an, le système remplit son rôle à plein : éviter de produire des watts supplémentaires lors des pointes de consommation. Né en 2008 de l'imagination de deux jeunes chercheuses de l'Institut européen de recherche sur l'énergie de Karlsruhe (Allemagne), Premio est un pionnier : « La centrale de pilotage que

nous avons construite à partir d'algorithmes complexes est une interface entre un opérateur de distribution d'électricité et des systèmes décentralisés de gestion de l'énergie, expose Carolina Tranchita et Sophie Chartres. *Quand l'opérateur doit réduire la consommation, il interroge la centrale. Celle-ci va aussitôt émettre des*

*consignes personnalisées vers les systèmes qu'elle contrôle et dégager des marges d'économies ou de production d'énergie.* » Premio pilote ainsi à distance des technologies très diverses utilisées à Lambesc et dans les environs : des panneaux photovoltaïques raccordés à des batteries au plomb, des pompes à chaleur (PAC) de maisons par-

ticulières, le chauffage électrique des écoles, des lampadaires à LED, une centrale solaire thermodynamique de 260 m<sup>2</sup> située sur le toit d'un immeuble de bureaux... En tout, 50 « sources » sont ainsi assujetties au système, reliées par Internet, GPS, fibre optique ou courant porteur en ligne (CPL). En cas de pic de consommation, Premio peut couper à distance, pendant quelques minutes, le chauffage des maisons tests et des écoles, réduire la puissance des lampadaires, mobiliser

l'énergie des batteries au plomb et de la centrale solaire. Avant de tout remettre en marche. Le tout pour assurer une meilleure gestion de la ressource et éviter ainsi la rupture d'approvisionnement (« black-out »). Selon le bilan du premier semestre 2011, ces coupures de courant et baisses d'éclairage ont pu « effacer » (*lire ci-contre*) une puissance maximale de 35 kW (soit l'équivalent de la puissance d'une chaudière pour un petit immeuble) ; les pompes à chaleur ont effacé 22 kW, tandis que

la puissance maximale de stockage de l'énergie solaire a atteint 9 kW. Premio communique quotidiennement sur son site Internet (1) la puissance épargnée, les heures de pointe de la journée et les prévisions de consommation du lendemain. Lambesc et Provence-Alpes-Côte d'Azur (Paca) n'ont pas été choisis au hasard. La région ne produit que 10 % de ce qu'elle consomme et dépend en grande partie pour son alimentation d'une seule ligne à haute tension de 400 000 volts. Tous les hivers, elle est menacée d'un black-out, qui s'est déjà produit en 2008 et 2009. Même si RTE, le gestionnaire du réseau haute tension français, va investir 240 millions d'euros pour sécuriser l'approvisionnement d'ici à 2015, réduire la consommation à des moments clés reste intéressant : « Cela évite de démarrer des centrales peu rentables car fonctionnant quelques dizaines d'heures par an avec des énergies fossiles », explique Bernard Salha, directeur de la recherche et du développement à EDF.

## REPÈRES

### LES MOTS DU RÉSEAU

#### RÉSEAU INTELLIGENT :

le réseau électrique intelligent à basse tension gère au niveau d'un quartier ou d'une petite ville les consommations de chaque usager et leur production via notamment des panneaux photovoltaïques. Il équilibre ainsi production et consommation au niveau local.

#### POINTES DE CONSOMMATION :

écart entre un appel exceptionnel de puissance électrique et une situation normale. En hiver, la pointe se situe à 19 h lorsque les gens rentrent chez eux et font fonctionner le chauffage. En été, la pointe se situe à 13 h, au démarrage des systèmes de climatisation. Pour couvrir la pointe, les producteurs sont obligés de mettre en route des centrales thermiques ou d'acheter de l'électricité dans les pays voisins.

**EFFACER**, c'est éviter de consommer de l'électricité au moment des pointes de consommation. On évite d'appeler de la puissance quand les moyens de production ne répondent plus à la demande.

**WATT** : l'unité qui quantifie la puissance d'un flux énergétique. En électricité, le watt est l'unité de puissance d'un système débitant une intensité de 1 ampère sous une tension de 1 volt pendant une seconde

**GWh** : un million de kWh. Soit la consommation de 250 ménages pendant une année (4000 kWh en moyenne par ménage hors chauffage).

## Répartition de la facture énergétique en France

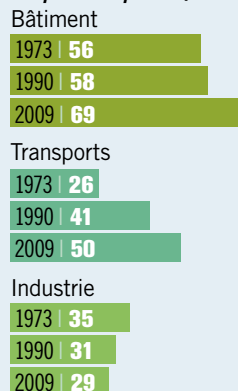
### Consommation globale

► **46,2 milliards d'euros**, la facture énergétique de la France en 2010 (+ 20 % par rapport à 2009), soit 2,4 % du PIB.

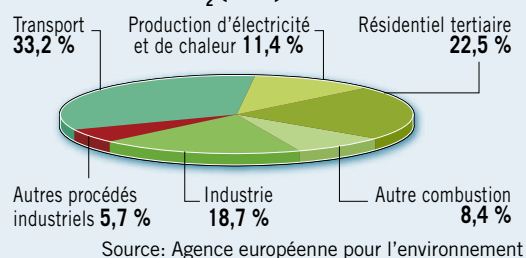
► **158 milliards de tep**, la consommation d'énergie finale (2010)

Sources SOeS, Service de l'observation et des statistiques de l'environnement du ministère du Développement durable, Insee, Ademe.

### ► Energie par secteur (en millions de tonnes d'équivalent pétrole)



### ► Emissions de CO<sub>2</sub> (2010)



### Les collectivités locales

► **2,2 milliards d'euros par an**, la charge de la consommation d'énergie pour les communes soit 36,2 € par habitant.

► **7 TWh**, ce que consomme l'éclairage public soit 20 % de la dépense énergétique des communes et 18 % de leur consommation.

### Les ménages

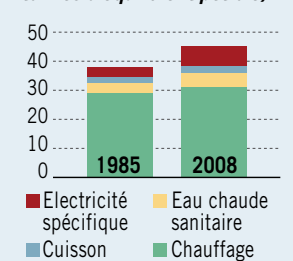
► **1600 €**, la somme moyenne par ménage consacrée à l'énergie domestique (électricité, chauffage).  
**1300 €**, la somme moyenne dépensée pour les carburants. Soit une

facture énergétique de **2900 €**. Celle-ci représente 7,2 % du budget moyen d'un ménage.

► **3,8 millions de ménages** sont en situation de précarité énergétique, c'est-à-dire qu'ils dépensent plus de 10 % de leur budget pour leurs factures d'énergie.

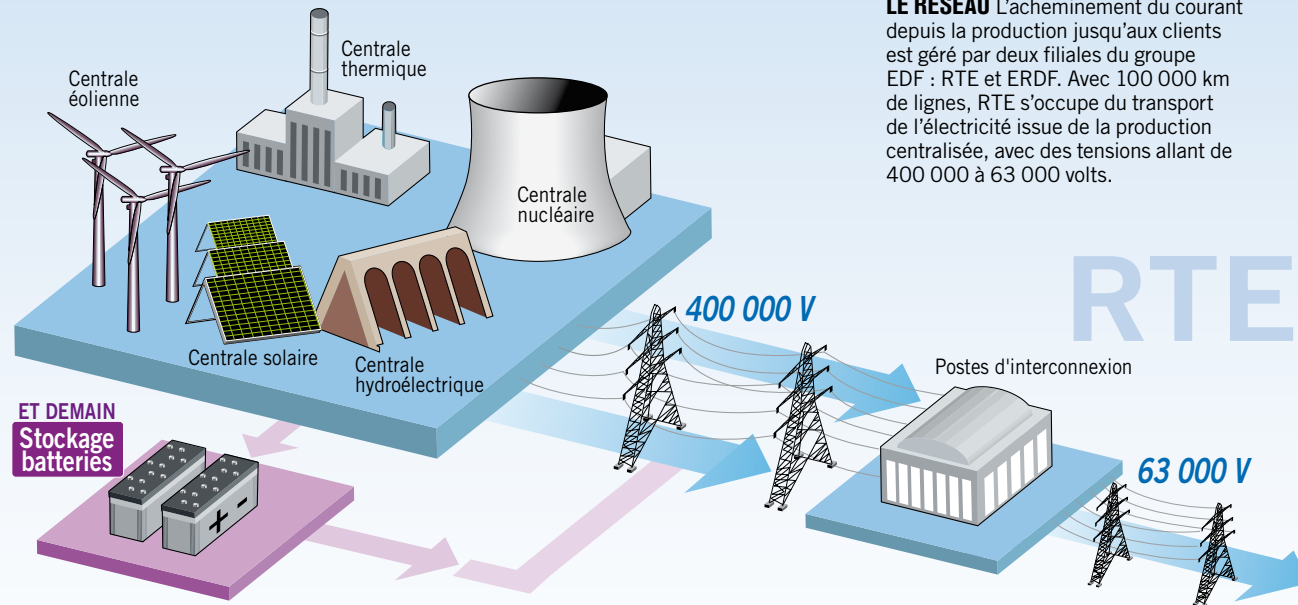
► **21,5 % des ménages** limitent leur consommation de chauffage en raison de son coût.

### ► Consommation d'énergie finale par usage dans le résidentiel (en millions de tonnes d'équivalent pétrole)



En moins de vingt-cinq ans, la part de l'électricité spécifique (bureautique, téléviseurs, multimédia...) a été multipliée par deux.

# Des réseaux d'aujourd'hui à ceux de demain



**LE RÉSEAU** L'acheminement du courant depuis la production jusqu'aux clients est géré par deux filiales du groupe EDF : RTE et ERDF. Avec 100 000 km de lignes, RTE s'occupe du transport de l'électricité issue de la production centralisée, avec des tensions allant de 400 000 à 63 000 volts.

**LA PRODUCTION CENTRALISÉE** En France, la production d'électricité s'élevait à 550 TWh en 2010. Environ 74 % proviennent des centrales nucléaires. Avec une part de 15,9 % en 2010, les énergies renouvelables (hydroélectrique, solaire et éolien) devancent les centrales thermiques (10,8%).

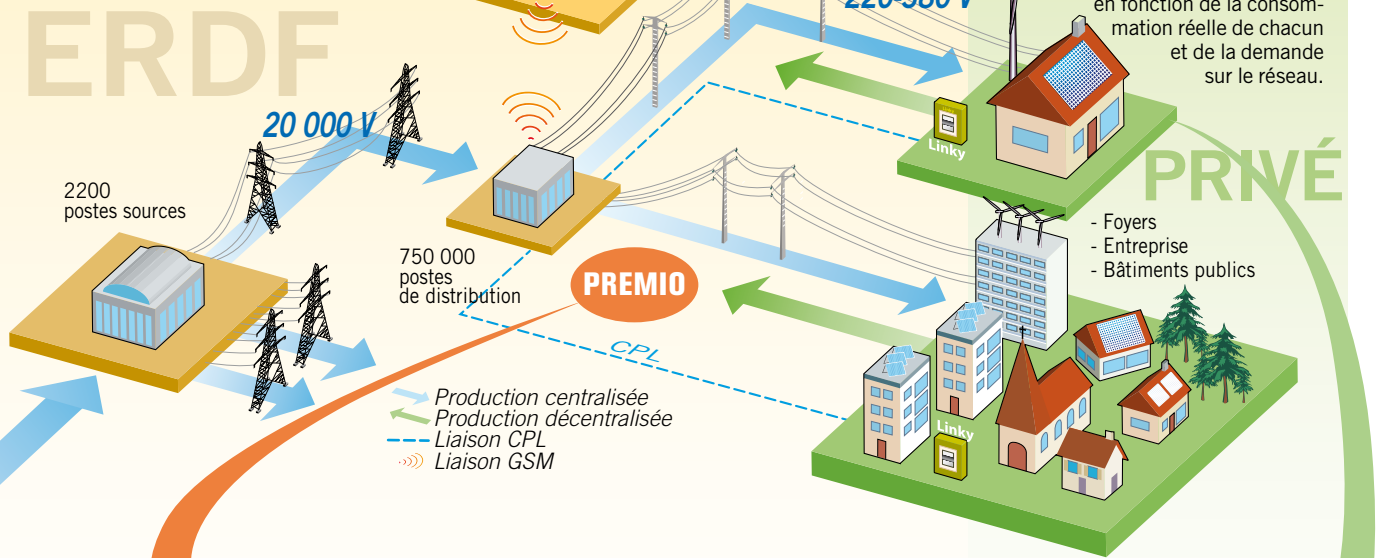
qui oblige à des actions de plus grande envergure. Un « pacte électrique » a ainsi été conclu en décembre 2010 entre le conseil régional et l'Etat. Par l'isolation des bâtiments et la diffusion d'appareils électriques sobres, la Bretagne entend diviser par deux la croissance de sa consommation d'ici à 2015 et par trois d'ici à 2020, soit 1200 GWh

épargnés. La part d'énergie renouvelable doit aussi grimper à 34 % d'ici à 2020. Sans attendre, le programme Ecowatt incite depuis 2008 les Bretons à s'inscrire à une plate-forme d'alerte par SMS qui les informe des pointes de consommation. 30 000 personnes ont ainsi accepté l'hiver dernier de se voir privées de chauffage et de l'usage d'appa-

reils électriques quelques minutes pour diminuer l'appel de puissance. En 2010, la région a passé un contrat avec EDF et le fabricant Voltalis pour équiper des ménages de boîtiers assurant automatiquement ces coupures. Voltalis ambitionne d'équiper 300 000 Bretons en 2015 : « Nos clients n'ont pas plus froid et ils font des économies en ne

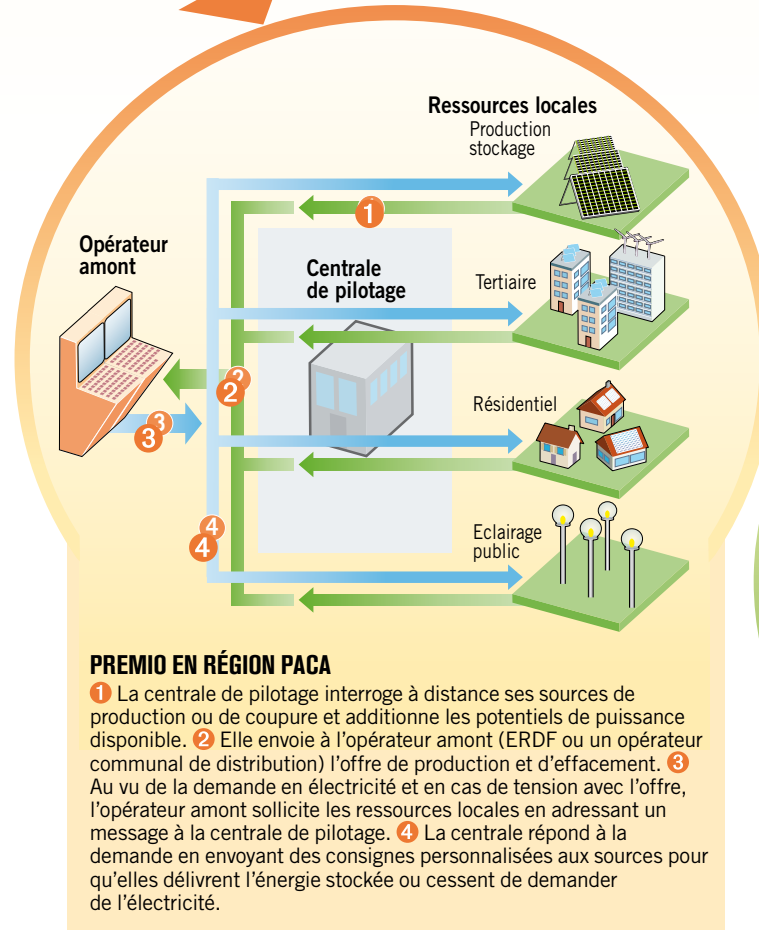
consommant pas une électricité vendue au prix fort. Nous nous rémunérons chez les producteurs qui sont satisfaits de ne pas avoir à fournir des kWh supplémentaires vendus d'ordinaire à perte en période de pointe », assure le P-DG, Pierre Bivas. L'entrepreneur voit même bien au-delà : « Si 5 millions de ménages en France apportent chacun 7 kW d'effacement aux heures de pointe, cela fait 35 GW. Comme on ne peut pas couper l'électricité chez tout le monde en même temps, il faut diviser cette puissance par trois : on couvre alors en grande partie les 15 GW que représente le pic de consommation que l'on affronte tous les ans à 19 h les jours les plus froids de l'hiver. » L'idée d'un développement national fait d'ailleurs son chemin. On se souvient que RTE (Réseau de transport d'électricité) a fait planer dès l'automne la menace d'une pénurie d'électricité cet hiver en raison de l'arrêt de sept tranches nucléaires décidé par le gouvernement allemand à la suite de la catastrophe de

**LA DISTRIBUTION** ERDF est chargée de l'approvisionnement d'environ 35 millions de clients. La compagnie exploite 1,3 million de kilomètres de lignes entre 20 000 et 220-380 volts. Elle est aussi chargée de l'installation des compteurs Linky.



**GESTION RESSERRÉE** Le réseau électrique situé après le compteur Linky est privé. Il appartient au propriétaire du logement, à l'entreprise, etc. Avec l'ouverture du marché, les tarifs devraient varier en fonction de la consommation réelle de chacun et de la demande sur le réseau.

## Les premiers pas des smart grids

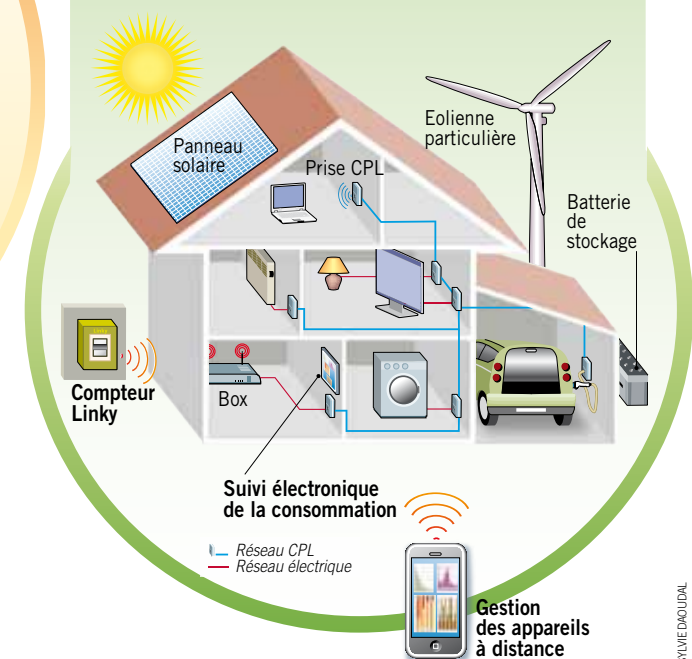


### PREMIO EN RÉGION PACA

1 La centrale de pilotage interroge à distance ses sources de production ou de coupure et additionne les potentiels de puissance disponible. 2 Elle envoie à l'opérateur amont (ERDF ou un opérateur communal de distribution) l'offre de production et d'effacement. 3 Au vu de la demande en électricité et en cas de tension avec l'offre, l'opérateur amont sollicite les ressources locales en adressant un message à la centrale de pilotage. 4 La centrale répond à la demande en envoyant des consignes personnalisées aux sources pour qu'elles délivrent l'énergie stockée ou cessent de demander de l'électricité.

### BIENTÔT, UN SUIVI PERSONNALISÉ

D'ici à quelques années, le déploiement des compteurs Linky et le développement d'appareils ménagers communicants devraient permettre de suivre sur son PC ou son smartphone sa consommation d'électricité, sa production (photovoltaïque, éolienne, pompe à chaleur...) et de gérer le fonctionnement de ses appareils. Mais cela ne se fera pas en temps réel puisque les mesures réalisées par Linky devraient être espacées de 30 minutes.



## Linky, un compteur vraiment intelligent ?

Pas de réseau intelligent sans compteur intelligent. En France, ce sera Linky : capable de transmettre des informations du client vers le distributeur (ERDF) et le fournisseur (EDF et ses concurrents) et inversement, il équipera 80 % des foyers d'ici à 2020. Pour ERDF, l'intérêt est évident : le relevé des 35 millions de compteurs français devient automatique et les mesures réalisées toutes les 30 minutes lui donnent une

connaissance fine du réseau. Les fournisseurs, eux, pourront proposer une multitude de tarifs selon les périodes de la journée ou de l'année. Mais l'intérêt pour les clients est un sujet autrement débattu ! Certes, la facture est basée sur la consommation réelle, et, selon une étude britannique, son affichage en temps réel, dans le logement, permet une économie de 5 à 15 %. Mais rien de tel en France où ces données seront disponibles sur

un site Internet, ce qui, selon l'Ademe, générera à peine 2 à 4 % d'économie. Pis, selon une étude de Landis+Gyr (l'un des fabricants de Linky), la consommation revient au niveau de départ au bout de six mois ! Dernier point litigieux : la protection de la vie privée. Rien ne garantit que les données ne seront pas utilisées par des tiers. Des raisons ont conduit le Conseil de Paris à contester l'installation de Linky dans la capitale. **O. H.**

# Des circuits sous la menace des pirates

Avec l'arrivée du compteur Linky (lire p. 74), il s'agira de transporter des électrons mais aussi des données. Les machines vont donc communiquer entre elles. Déjà, dans des portions de réseaux dits autocatrisants, elles savent détecter une panne et reconfigurer automatiquement le chemin du courant. Mais qui dit réseau dit... risques de piratage. Première porte d'entrée : les 35 millions de compteurs, impossibles à surveiller. « *S'ils le veulent, les hackers trouveront le moyen de les contrôler, malgré les systèmes de cryptage confidentiels, car la sécurité par l'obscurité est vouée à l'échec. Il faut au contraire rendre publics les algorithmes afin que tout le monde puisse en corriger les faiblesses* », assure Eric Filiol, directeur de la recherche à l'École supérieure d'informatique électronique automatique (Paris-Laval). Autres nœuds sensibles : les concentrateurs, sur lesquels sont raccordés les compteurs ainsi que d'autres installations en moyenne et haute tensions, envoient leurs données via un réseau de téléphonie mobile. Or, Karsten Nohl, un chercheur allemand a montré en 2011 qu'une attaque sur les réseaux mobiles était réalisable. Et Xavier Carcelle (1), hacker renommé, a montré lors des conférences iAWACS (2) 2009 et 2010 qu'il était possible d'intercepter les transmissions utilisant le CPL (courant porteur en ligne). La menace devrait encore s'accroître avec l'arrivée, vers 2015-2020, d'une nouvelle génération de compteurs (G3) reposant sur un réseau de type Internet, très sensible aux attaques. « *Cette menace est prise très au sérieux. Pour chiffrer les données, nous pouvons utiliser des algorithmes de type AES 256 bits, très robustes* »,



Il pourrait suffire aux hackers de cibler quelques compteurs Linky pour atteindre l'ensemble du réseau.

explique Olivier Seznec, directeur de la stratégie technologique chez Cisco, leader mondial de la conception de réseaux Internet et partenaire de l'Alliance CPL-G3 présidée par ERDF, qui travaille au développement des standards. Pour Eric Filiol, c'est insuffisant : « *Si on essaie toutes les combinaisons pour trouver la bonne, il faudra effectivement plus de 10<sup>10</sup> siècles pour casser une clé à 128 bits. Mais les attaques ne se font pas ainsi : on analyse l'algorithme pour en trouver les faiblesses mathématiques. Car il y en a toujours.* » De plus, ces réseaux utilisent en général des « algorithmes de graphes » qui transportent l'information en empruntant le moins de « nœuds » possible. « *Or, cibler quelques dizaines de nœuds permet d'atteindre tout le réseau* », rappelle l'expert. Et ces nœuds pourraient bien être

quelques compteurs Linky... La menace pourrait aussi venir de l'intérieur, dans les partenariats que la France noue avec des entreprises étrangères au sein de l'Alliance CPL-G3. « *Dans un domaine aussi capital, doit-on adopter les technologies de partenaires étrangers qui sont les seuls à savoir vraiment ce qu'elles contiennent ?* » s'interroge Eric Filiol. C'est le cas des algorithmes de chiffrement dont certains, dits par bloc, sont imposés par les Etats-Unis alors qu'ils sont impossibles à analyser. Et l'AES 256 bits en fait partie... On peut aussi s'interroger sur les très sensibles centrales nucléaires, appelées elles aussi à utiliser ces réseaux. « *La production centralisée est isolée du reste !* », assure Olivier Fontanié, directeur du projet Linky chez ERDF. Mais demain ? « *La tendance est au*

*tout connecté car un réseau a beaucoup d'avantage en termes de gestion* », explique le hacker Xavier Carcelle. Or, la découverte du ver Stuxnet dans les ordinateurs d'installations nucléaires iraniennes a montré que les centrales parmi les plus surveillées de la planète n'étaient pas à l'abri d'attaques. Déjà, aux Etats-Unis, certaines parties du réseau ont basculé sur des technologies type Internet. « *Le réseau électrique et le réseau de communication sont séparés !* assure Olivier Seznec. *Les informations entre les deux passent par des automates fonctionnant sous Scada.* » Scada... ce système de télégestion d'installations industrielles était justement visé par Stuxnet en Iran !

(1) Réseau CPL par la pratique, Xavier Carcelle, Eyrolles.  
(2) International Alternative Workshop on Aggressive Computing and Security.

●●● Fukushima. A cette occasion, la France a découvert – ce que les spécialistes dénonçaient depuis longtemps – que le chauffage électrique qui équipe 30 % des ménages (contre moins de 5 % en Allemagne) contraint à importer chaque hiver de l'électricité d'outre-Rhin pour couvrir nos besoins malgré un parc nucléaire pléthorique. Une baisse de 1 °C de la température extérieure entraîne en effet une augmentation de la demande de 2300 MW, l'équivalent de la consommation de Paris.

Les réseaux intelligents constituent donc une réponse technique séduisante. En 2011, il y avait plus de 90 projets de démonstration de *smart grids* dans le monde et 200 milliards d'euros vont y être investis d'ici à 2015. Pour la seule Europe, cet investissement s'élève à 56 milliards d'euros d'ici à 2020. En France, plusieurs projets ont démarré. Depuis l'été dernier, Nice développe Reflexe (9 millions d'euros sur trois ans) : Veolia sera aux manettes d'une centrale virtuelle informatisée, qui générera des producteurs d'énergie indépendants connectés au réseau et équilibrera la demande. Une vingtaine de bâtiments (hôtels, bureaux) sont peu à peu équipés de capteurs intelligents pour y être reliés. Toujours dans les Alpes-Maritimes, la bourgade de Carros déploie depuis l'automne NiceGrid (30 millions d'euros sur 4 ans, 1500 consommateurs reliés), piloté par ERDF (Electricité Réseau Distribution France) qui permettra de tester pour la première fois dans l'Hexagone en situation réelle, l'efficacité et la flexibilité du stockage de l'électricité solaire dans des batteries lithium-ion. Un pari pour la région qui compte de nombreux toits photovoltaïques. Lyon et Grenoble ont lancé en janvier Greenlys (40 millions d'euros sur 4 ans), un réseau expérimental auto-cicatrisant, basé sur des compteurs communicants pour 1000 clients résidentiels et 40 sites tertiaires. Et des batteries de voitures électriques serviront de source d'appoint au réseau, explique

## Consommer moins pour gagner plus

La Californie, très exposée aux coupures, mène un important programme de maîtrise énergétique, incluant les réseaux intelligents. L'Etat a créé le « decoupling », qui dissocie les revenus des compagnies d'électricité de la quantité fournie : ces sociétés ne gagnent pas plus d'argent en vendant plus de courant. Au contraire. « *Tarifs et bénéfices sont fixés pour une consommation prévue à l'avance par l'administration. Elles doivent s'engager à faire*

*baisser la demande de 1 % par an. Si les objectifs sont atteints, elles perçoivent les revenus prévus. Si elles font mieux, leurs gains augmentent* », explique Antoine Aslanides, directeur de l'innovation Amérique du Nord chez EDF à San Francisco. Le decoupling incite donc ces sociétés à trouver des solutions (climatiseurs économes, éclairages publics à LED...) pour vendre moins de courant ! **O. H.**

ERDF. A Lyon toujours, le Nedo, l'équivalent japonais de l'Ademe, développe depuis le début de l'année, « smart community » (50 millions d'euros sur 3 ans). Après Fukushima, les Japonais ont choisi le quartier Lyon Confluence, l'un des plus grands chantiers urbains d'Europe, pour développer un modèle auquel les grandes agglomérations pourraient ensuite se convertir. Leur réseau doit intégrer un bâtiment de 12 500 m<sup>2</sup> à énergie positive, bardé de dispositifs d'énergie

## Le Nedo, l'Ademe japonaise, investit 50 millions d'euros à Lyon

renouvelable (pile à combustion, système de gestion énergétique, etc.) et testera le concept de « smart home » en équipant 250 habitations avec des « energy boxes » (systèmes communicants, tablettes, smartphones, etc.). Décidément en pointe, la ville de Lyon vient de signer un partenariat avec EDF pour déployer « smart Lyon ». De quoi tester bientôt les comportements énergétiques de 10 000 clients. Le point commun aux trois derniers projets ? Le compteur Linky. De son côté, EDF testera son projet Millener en Corse, à La Réunion et en

Guadeloupe, ce système couplant délestages et production. Reste que cette chasse au watt ne résout en rien l'impasse énergétique dans laquelle sont engagés les pays développés. L'augmentation de la production pour répondre à une demande toujours croissante est même une aberration compte tenu de ses coûts environnementaux (gaz à effet de serre, pollution, etc.) et de l'épuisement des ressources fossiles. Développées depuis le Grenelle de l'environnement, les politiques d'efficacité énergétique sont axées sur l'isolation du bâti, l'objectif étant de réduire la consommation du secteur de 38 %. Mais le plan que le gouvernement vient de rendre public a une portée plus symbolique que concrète. Ces initiatives montrent bien qu'on ne cherche pas à en priorité à modifier les comportements individuels. L'histoire récente de la télévision est à cet égard exemplaire. En sept ans, la quasi-totalité du parc de téléviseurs a basculé dans la technologie des écrans plats : « *Dans ce laps de temps, la taille moyenne des écrans est passée de 72 à 80 centimètres*, explique Pascal Chevallier, du Syndicat des industries de matériels audiovisuels électroniques (Simavelec). *Les consommateurs ont plébiscité des appareils plus légers avec en revanche une augmentation de la consommation électrique qui dépend de la surface de*

*l'écran selon un ratio de 4,32 watts par décimètre carré.* » Il s'est vendu en 2010 en France 7,7 millions d'écrans LCD et 530 000 plasma sans que personne n'informe le consommateur des conséquences de ses choix. Car l'étiquette énergie n'est appliquée aux téléviseurs que depuis novembre. Les ordinateurs, les « box » Internet, les Ipad et Iphone ne sont toujours pas soumis à une réglementation si bien que la consommation des technologies de l'information et de la télécommunication (TIC) explose : « *Elles représentent 13,5 % de la consommation électrique française*, dénonce Florence Rodhain, directrice de recherche à Polytech Montpellier. *Ce poste augmente de 10 % par an et pèse désormais 30 % de la consommation des ménages sans que personne ne s'en émeuve.* »

Le secteur des TIC est un bon exemple de « l'effet rebond » qui affecte toutes les politiques de réduction de la consommation énergétique. La certitude de mieux gérer l'énergie génère une utilisation accrue des technologies : « *Nous utilisons sans scrupule les TIC, persuadés de faire des économies en impression de papier, en déplacements, en achats de marchandises grâce au e-commerce*, poursuit Florence Rodhain. *Or, aucun gain de cette nature n'a été constaté. En revanche, diverses études montrent que télécharger un quotidien consomme autant d'électricité qu'une lessive, qu'une recherche sur Google équivaut à une heure de lumière d'une lampe à basse consommation et l'Ademe a calculé que l'utilisation des e-mails par une entreprise de 100 personnes équivaut à 13 allers-retours Paris-New York.* » Premio et ses clones à venir vont certainement constituer dans les prochaines décennies un réel progrès de gestion de la distribution électrique. Mais ils ne sauront à eux seuls résoudre la crise énergétique qui se profile.

**Loïc Chauveau  
avec Rachel Mulot**

\* www.projetpremio.fr/