



# Le nouveau paysage énergétique des smart-grid

Eclairage géographique du projet JURISMART

Sylvain LE ROUX – Docteur en Géographie et  
directeur du bureau d'études ENCIS Environnement

Décembre 2014





## TABLE DES MATIÈRES

Un bureau d'études spécialisé en environnement et énergies renouvelables.....	4
Un rédacteur spécialisé en stratégies énergétiques territoriales.....	4
1 Le contexte énergétique mondial et français .....	6
1.1 Les défis énergétiques globaux.....	6
1.1.1 La raréfaction de l'énergie bon marché.....	6
1.1.2 Les dégradations environnementales.....	7
1.2 Particularités françaises.....	8
1.2.1 Bilan énergétique national.....	8
1.2.2 La particularité du système électrique français.....	8
1.3 Et en Limousin, quelle est la situation ? .....	9
1.4 Une politique incitative pour maîtriser la demande en énergie et augmenter la part des énergies renouvelables.....	10
1.4.1 Des objectifs européens et nationaux ambitieux... ..	10
1.4.2 ... confrontés à la réalité économique .....	11
1.5 Des perspectives largement écornées par la crise économique .....	12
2 Deux contraintes majeures : stocker l'électricité et gérer les énergies de flux.....	13
2.1 Stocker l'électricité, un obstacle toujours infranchissable .....	13
2.1.1 Une énergie difficile à stocker .....	13
2.1.2 Des solutions existantes pour adapter la consommation à la production .....	14
2.1.3 Des solutions de prévision de la demande en électricité .....	14
2.1.4 Des pertes colossales, une énergie à faible rendement .....	15
2.2 Les énergies renouvelables : des énergies de flux abondantes mais difficiles à maîtriser.....	16
2.2.1 Les énergies renouvelables, si intermittentes que ça ?.....	16
2.2.2 L'intermittence de l'éolien, l'exemple de l'éolienne de Rilhac-Lastours (87).....	19
2.2.3 L'intermittence de l'énergie solaire photovoltaïque, l'exemple d'une centrale à Aubazine (19) .....	20
2.2.4 L'intermittence de la production, un enjeu pour le réseau .....	22
2.2.5 La limite des 30% d'ENR en milieu insulaire .....	22
3 De l'intérêt des smart-grid et définition .....	24
3.1 Le rôle des smart-grid dans la transition énergétique.....	24
3.2 Définition des smart-grid électriques .....	24

4	Le nouveau paysage énergétique des smart grid .....	25
4.1	Prospective et analyse systémique des évolutions liées aux smart grid .....	25
4.2	Zoom sur les compteurs communicants.....	27
4.3	L'indispensable émergence des unités de stockage de l'électricité.....	27
4.4	Quelques exemples de mise en application .....	32
4.4.1	Démonstrateur Smartgrid Vendée.....	32
4.4.2	Exemple de Nicegrid .....	32
4.4.3	Enquête par questionnaire .....	32
4.5	Limites environnementales des smart grid.....	33
4.6	Limites sociales des smart grid .....	34

# Préambule

Ce projet, porté par l'OMIJ EA 3177 (Observatoire des mutations Institutionnelles et Juridiques) est à dominante juridique (approche droit privé et droit public) mais complété par des aspects socio-économiques et territoriaux ; d'où un double angle d'attaque choisi pour le projet qui se propose de traiter des aspects liés à la gouvernance énergétique ainsi que des aspects liés à la protection des droits et libertés de l'utilisateur.

Ce projet a un caractère innovant en ce que jusqu'ici les approches proposées des smart grids se positionnent pour la plupart sur leur efficacité fonctionnelle (en se limitant aux réseaux électriques, alors que le projet est ouvert à tous les réseaux énergétiques intelligents) et sur les innovations technologiques. Ce domaine de recherche est peu investi par les SHS (même si on recense des travaux en économie et sociologie des usages) et très peu par le droit.

Ce projet, mené à bien en partenariat avec une équipe de scientifiques d'X-LIM (C2S2) et l'entreprise ENCIS Environnement permettra de se servir de la Région Limousin comme terrain d'expérimentation, par le biais d'enquêtes de terrain concernant des projets énergétiques réalisés ou en devenir.

Ce présent rapport rédigé par Sylvain LE ROUX, docteur en Géographie spécialisé en stratégies énergétiques territoriales et directeur du bureau d'études ENCIS Environnement a pour vocation d'apporter un **éclairage géographique sur le développement et l'usage des smartgrid en France**.

La problématique précise de ce rapport est d'ébaucher des réponses aux questions suivantes : le développement des smart-grid suppose-t-il une **modification du paysage énergétique national**, tant du point de vue des moyens de production que des réseaux ou des modes de consommations ? Quelles sont les limites environnementales et sociales qui accompagnerait ce développement ?

# Présentation d'ENCIS environnement

## UN BUREAU D'ETUDES SPECIALISE EN ENVIRONNEMENT ET ENERGIES RENOUVELABLES

---

Le bureau d'études d'ENCIS Environnement est spécialisé dans les problématiques environnementales, d'énergies renouvelables et d'aménagement durable.

Ce bureau d'études réalise notamment des dossiers d'études d'impact sur l'environnement, des études naturalistes, des études paysagères, des études de dangers, des dossiers ICPE, des études de faisabilité en énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, méthanisation, hydroélectricité), des évaluations environnementales de documents d'urbanisme...

Dotée d'une expérience de plus de dix ans dans ces domaines, notre équipe indépendante et pluridisciplinaire d'une quinzaine de responsables d'études accompagne les porteurs de projets publics et privés au cours des différentes phases de leurs démarches dans les domaines suivants :

- Environnement, études d'impact et dossiers ICPE
- Milieux naturels, faune et flore
- Paysage, patrimoine et tourisme
- Energies renouvelables (éolien, solaire, biomasse, biogaz, hydro)
- Aménagement et urbanisme durable
- Cartographie et infographie

Plus d'informations sont disponibles sur le site web : [www.encis-energiesvertes.com](http://www.encis-energiesvertes.com).

## UN REDACTEUR SPECIALISE EN STRATEGIES ENERGETIQUES TERRITORIALES

---

Sylvain LE ROUX est Président et directeur d'études d'ENCIS Environnement depuis fin 2007. Docteur en géographie, il s'est spécialisé dans les problématiques environnementales et les stratégies énergétiques territoriales. Le directeur d'études d'ENCIS a réalisé une thèse de doctorat intitulée : « Energie et développement urbain durable, analyse des stratégies locales et essai de prospective pour les villes européennes1 » (2008, GEOLAB UMR CNRS).

Au sein de l'équipe d'ENCIS, il coordonne l'ensemble des pôles de compétence (Environnement/ICPE, Ecologie, Paysage, Aménagement ou Cartographie) mais ses connaissances spécifiques portent plus précisément sur les études d'impact sur l'environnement, les études d'opportunités en énergies renouvelables ou l'aménagement durable des territoires.

Après avoir passé trois ans dans un laboratoire de recherche affilié au CNRS, il continue de former des étudiants aux problématiques « énergies », « climat », « environnement » (Université de Limoges et de Liège). Ce lien avec la recherche et l'Université lui a donné le goût pour l'innovation et la rigueur scientifique qu'il partage avec toute l'équipe du bureau d'études ENCIS Environnement.

# Le nouveau paysage énergétique des smart-grid

La déplétion des énergies fossiles, le changement climatique et les accidents nucléaires ont amené l'Europe et les sociétés industrielles à se pencher de plus en plus sérieusement sur les systèmes de maîtrise de la demande de l'énergie et le développement des énergies renouvelables. Une des solutions à l'étude pour optimiser ces deux derniers objectifs est de rendre les réseaux d'électricité (ou même de chaleur ou de gaz) intelligents à l'aide de programmes communiquant et grâce à une interconnexion des outils de production d'énergie, de consommation et de stockage. C'est ce concept des « smart-grid » qui nourrit beaucoup d'espoir.

En vue de recontextualiser la problématique par rapport aux défis énergétiques dans leur globalité, nous rappellerons dans un premier temps les ordres de grandeur du paysage énergétique. Ces ordres de grandeur nous éclaireront sur l'hégémonie des énergies fossiles sur toutes les autres. L'électricité est le sujet d'application essentiel des smartgrid, ce vecteur énergétique noble est pourtant au second plan des besoins en énergie globaux, avec 1/4 de la demande énergétique des français. Cela nous amène à nous interroger sur la réelle capacité des smart grid à apporter des solutions réellement pertinentes dans le cadre de la transition énergétique qui attend nos sociétés. S'ils sont pensés comme des outils d'optimisation de la MDE<sup>1</sup>, des énergies renouvelables et des systèmes de stockage et s'ils s'étendent aux réseaux de chaleur et de froid ou au réseau de gaz<sup>2</sup>, les smart-grid pourraient alors offrir des marges de manœuvre d'écogestion substantielles.

Pour bien comprendre les perspectives de développement de ces réseaux intelligents, nous expliquerons succinctement le contexte politique et économique dans lequel ils s'insèrent.

L'intérêt des smart-grid dans le développement des énergies renouvelables et dans la maîtrise de la demande en électricité sera évalué en tentant de comprendre quelles évolutions cette technologie pourra apporter face aux contraintes majeures que sont : les pertes énergétiques du réseau électrique français, la difficulté de stocker en masse l'électricité et l'intermittence des énergies de flux (solaire, éolien, hydraulique, énergies marines). Des exemples insulaires et Limousin permettront d'illustrer ces problématiques.

Un essai de prospective nous amènera enfin à nous interroger sur le système énergétique que suppose la généralisation des smart-grid, en essayant d'en pointer les limites environnementales et sociales.

---

<sup>1</sup> MDE : Maîtrise de la Demande de L'Energie ou de l'Electricité

<sup>2</sup> Notre analyse se limitera toutefois aux systèmes électriques.

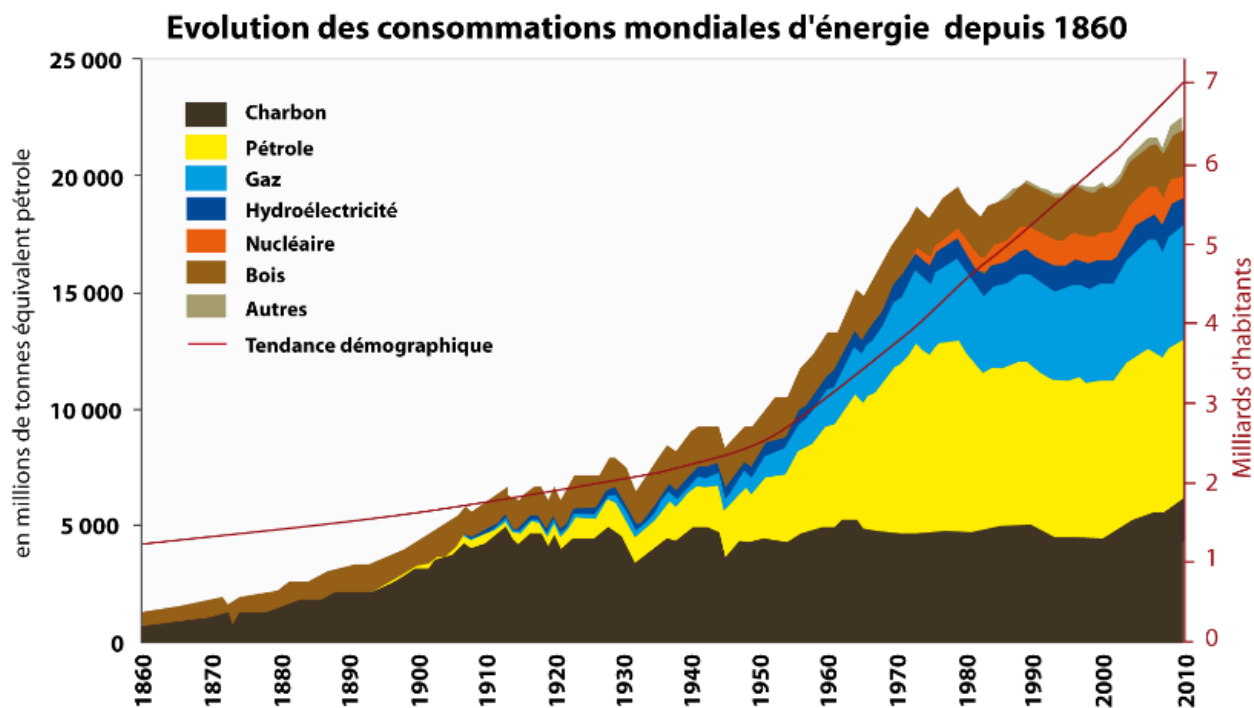


# 1 LE CONTEXTE ENERGETIQUE MONDIAL ET FRANÇAIS

## 1.1 LES DÉFIS ÉNERGÉTIQUES GLOBAUX

Changement climatique, épuisement des ressources, renchérissement du prix du pétrole, pollution atmosphérique, marées noires... autant de problématiques associées à l'utilisation de l'énergie qui rendent le contexte international fragile.

Et pour cause, l'énergie permet d'assurer le développement des sociétés. Elle joue incontestablement un rôle capital pour la vie humaine et son organisation socio-économique. Des avancées considérables ont été liées à la découverte de sources énergétiques à fort pouvoir calorifique comme **le charbon, le pétrole et le gaz**. C'est pourquoi ces ressources non renouvelables sont actuellement les plus utilisées dans le monde et représentent **plus de 80% des besoins mondiaux** en énergie, loin devant le nucléaire ou les énergies renouvelables.



Source: MANICORE d'après Schilling & Al. 1977, Energy Information Administration, BP Statistical Review 2013, Nations unies

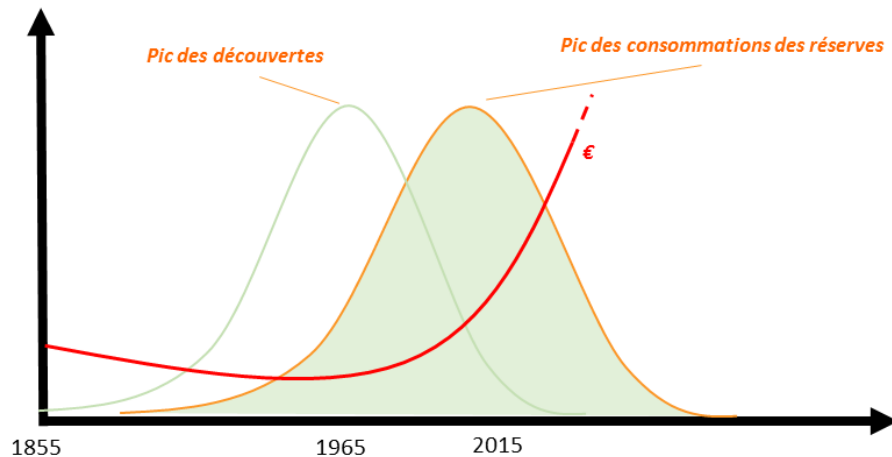
### 1.1.1 La raréfaction de l'énergie bon marché

Or, l'utilisation massive d'énergies fossiles liée aux augmentations conjointes des besoins et de la population mondiale accélère leur épuisement. Bien que l'estimation qui est faite des quantités restantes soit discutée et controversée, leurs stocks s'épuisent. Selon BP, les réserves prouvées correspondent à l'équivalent d'environ 50 ans de pétrole ou de gaz.

Le pic des découvertes de pétrole a été atteint en 1965. Les **dernières découvertes** de grands champs pétrolifères concernent **les côtes brésiliennes**, pour 33 milliards de barils, soit une année de production et **l'Arctique** : pour 90 milliards de barils (hors gaz), soit 3 années de production. **Après le pic des**



**découvertes s'en suit le pic des réserves de pétrole.** Depuis les années 80, la consommation de pétrole ou de gaz est plus importante que les découvertes. Nous avons donc déjà consommé près de la moitié des réserves. Si le débat d'expert est très « politisé », la question du pic n'est plus remise en cause. Selon les sources, le pic pétrolier serait atteint entre 2005 et 2020.



Une fois que le pic sera atteint, l'écart entre l'offre et la demande s'élargira constamment et le prix se mettra par conséquent à augmenter de façon brutale. La question n'est donc finalement pas de savoir pendant combien de temps on aura du pétrole ou du gaz, mais plutôt de savoir comment s'adapter, à court terme (10-20 ans), à une énergie dont la rareté amène les prix à être de plus en plus élevés et volatiles. Pour preuve le prix du baril de Brent est passé de 36 € début 2010 à 82 € en mars 2011.

Les énergies renouvelables constituent donc, à terme, un moyen de production compétitif et contribuent à diminuer la dépendance aux combustibles fossiles dont le prix est très volatile. Les questions de maîtrise de la demande énergétique sont tout aussi importantes, notamment à travers les stratégies de « réseaux intelligents ».

### 1.1.2 Les dégradations environnementales

D'autre part, l'utilisation des énergies fossiles engendre des **pressions de plus en plus prononcées sur l'environnement**. Le changement climatique en est la représentation la plus alarmante. La combustion du charbon, du pétrole ou du gaz entraîne le rejet dans l'atmosphère de molécules de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre qui capte les rayons infrarouges réfléchis par la Terre et modifie son équilibre climatique.

Selon le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat), ce **réchauffement climatique** pourrait entraîner des phénomènes climatiques extrêmes de plus en plus fréquents, la hausse des températures, la fonte des glaces ou encore l'élévation du niveau des mers. Un changement climatique rapide pourrait être extrêmement préjudiciable pour de nombreuses espèces végétales et animales qui verront leur milieu naturel évoluer plus vite que leur capacité d'adaptation ne le leur permet. Le bouleversement du climat aurait bien entendu des conséquences considérables sur la production agricole et sur l'économie.

## 1.2 PARTICULARITÉS FRANÇAISES

### 1.2.1 Bilan énergétique national

En 2010<sup>3</sup>, la production nationale d'énergie primaire est de 138,6 Mtep, tandis que la consommation d'énergie primaire totale est de 266 Mtep. **Le taux d'indépendance nationale est donc de 51%.**

Les consommations d'énergie se répartissent entre trois sources principales: l'électricité primaire (44%), le pétrole (30 %) et le gaz (15 %). Le charbon est consommé à 4 % et les énergies renouvelables thermiques (dont valorisation des déchets) à 6 %.

### 1.2.2 La particularité du système électrique français

Etant donné la **dépendance de l'hexagone aux ressources fossiles importées**, l'électricité est le mode d'énergie le plus produit en France (85 % de l'énergie primaire produite). Cette **électricité est fournie à 75 % à partir de l'énergie nucléaire**, à 12% à partir de l'hydraulique, à 1,7 % à partir de l'éolien et à 0,1 % à partir du photovoltaïque.

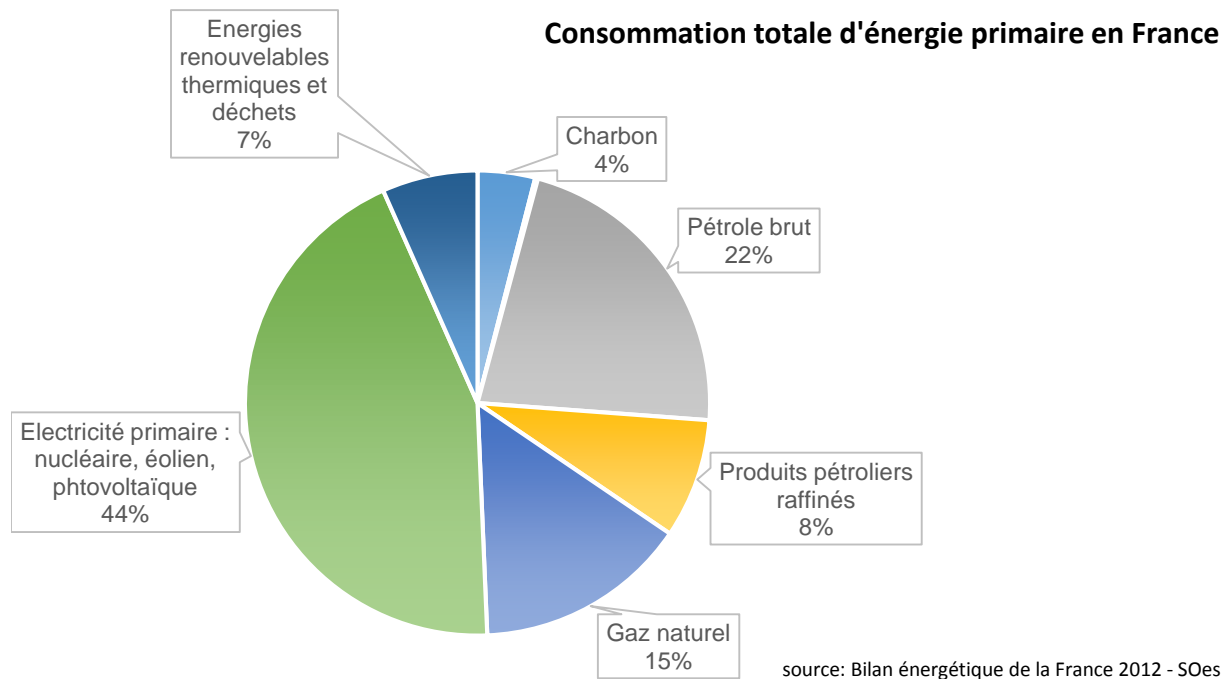
En 2009, la consommation finale d'électricité par habitant (incluant le résidentiel, mais aussi l'industrie, les transports, le tertiaire et l'agriculture) était de 6 800 kWh/hab. Cependant, notons un point important pour notre sujet des smart grid, **la consommation finale d'électricité représente seulement 25 % des consommations totales d'énergie primaire.**

#### DEFINITIONS DU COMMISSARIAT AU DEVELOPPEMENT DURABLE :

*ÉNERGIE FINALE OU DISPONIBLE : ENERGIE LIVREE AU CONSOMMATEUR POUR SA CONSOMMATION FINALE (ESSENCE A LA POMPE, ELECTRICITE AU FOYER, GAZ POUR CHAUFFER UNE SERRE...).*

*ÉNERGIE PRIMAIRE : ENERGIE BRUTE, C'EST-A-DIRE NON TRANSFORMEE APRES EXTRACTION (HOUILLE, LIGNITE, PETROLE BRUT, GAZ NATUREL, ELECTRICITE PRIMAIRE). EN D'AUTRES TERMES, IL S'AGIT DE L'ENERGIE TIREE DE LA NATURE (SOLEIL, FLEUVES OU VENT) OU CONTENUE DANS LES PRODUITS ENERGETIQUES TIRES DE LA NATURE (COMME LES COMBUSTIBLES FOSSILES OU LE BOIS) AVANT TRANSFORMATION. ON CONSIDERE DONC QUE L'ENERGIE ELECTRIQUE PRODUITE A PARTIR D'UNE EOLIENNE, D'UN BARRAGE OU DE CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES EST UNE ENERGIE PRIMAIRE. LA CHALEUR PRIMAIRE EST FOURNIE PAR LES RESERVOIRS GEOTHERMIQUES, LES REACTEURS NUCLEAIRES ET LES PANNEAUX SOLAIRES QUI CONVERTISSENT LES RAYONS SOLAIRES EN CHALEUR.*

<sup>3</sup> Bilan énergétique de la France pour 2010 - Commissariat général au développement durable / Service de l'observation et des statistiques.



### 1.3 ET EN LIMOUSIN, QUELLE EST LA SITUATION ?

En 2009, 21,2 TWh d'énergie finale ont été consommés en Limousin, principalement dans le bâtiment, les transports et dans l'industrie. La répartition sectorielle par mode d'énergie fait apparaître la **prépondérance des énergies fossiles** (56%). **L'électricité remplit 20%** des besoins – elle est à majorité d'origine nucléaire en France bien que l'hydraulique soit très bien représenté en Limousin. La particularité de la région réside aussi dans une forte proportion du bois dans la consommation d'énergie finale (20%)<sup>4</sup>.

Grâce au développement de la grande hydraulique dans la période après-guerre (ex: usine – barrage du Chastang de 283 MW construite en 1947) et à l'usage traditionnel du bois-énergie (cheminée, poêles, chaudières...), les énergies renouvelables « historiques » sont bien valorisées en région Limousin. Alors qu'au niveau national, la production d'énergie renouvelable représente seulement 12% de la consommation finale d'énergie, ce taux est de 28% pour la région Limousin. Au vu des objectifs nationaux qui sont d'améliorer ce rapport pour atteindre 23% d'énergie renouvelable dans la consommation d'ici 2020 (objectif Grenelle 2), nous pouvons penser que le Limousin est particulièrement en avance sur les autres territoires. Pourtant, plusieurs nuances viennent atténuer ce constat. Outre le fait que le rapport production d'énergie renouvelable/consommation du territoire ne peut répondre uniquement à la seule règle de trois sans tenir compte des potentiels spécifiques de chaque région, force est de constater que les « énergies nouvelles » (solaire, éolien, biogaz, etc) sont à la traîne.

L'éolien, par exemple, est une ressource de la région qui est très peu exploitée. Malgré un gisement de vent qui permet l'installation de parcs éoliens dans des conditions de rentabilité acceptables, et malgré

<sup>4</sup> Chiffres issus du SOeS (Service de l'Observation et des Statistiques) et du document provisoire du Schéma Régional Air Energie Climat en cours de réalisation par la DREAL Limousin et le Conseil Régional du Limousin.

de nombreux projets en cours, un seul parc était en exploitation jusqu'en 2011. Sur le plateau de Millevaches, à Peyrelevade, 6 éoliennes de 120 m de haut produisent environ 20 GWh par an. Cela correspond aux besoins en électricité de 20 000 personnes (hors chauffage et ECS). Trois nouveaux parcs ont été raccordés au réseau ces trois dernières années à Bussière-Saint-Georges-Saint-Marien (16,2 MW) et en 2012, à Chambonchard (12 MW) et l'éolienne citoyenne de Rilhac-Lastours (2 MW). Le photovoltaïque, la petite hydroélectricité ou la méthanisation sont également en retard par rapport à la dynamique nationale. A notre connaissance, aucune installation de smart grid n'est recensée dans la région Limousin.

La production actuelle d'énergies renouvelables en Limousin <sup>5</sup>	GWh
Electricité hydraulique	1587
Electricité éolienne	52,4
Electricité photovoltaïque	34
Electricité à partir de biomasse	251
Chaleur bois	4060
Solaire thermique	6,8
Géothermie, pompes à chaleur	31
Valorisation déchets urbains	101
Méthanisation	0,4
Biocarburant	nd

## 1.4 UNE POLITIQUE INCITATIVE POUR MAITRISER LA DEMANDE EN ENERGIE ET AUGMENTER LA PART DES ENERGIES RENOUVELABLES

### 1.4.1 Des objectifs européens et nationaux ambitieux...

L'Union Européenne a adopté le paquet Energie Climat le 12 décembre 2008. Cette politique fixe comme objectif à l'horizon 2020 de:

- réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990,
- porter la part des énergies renouvelables à 20% de la consommation totale de l'Union Européenne,
- réaliser 20 % d'économie d'énergie.

<sup>5</sup> Chiffres de 2009, 2011 ou 2012 fournis par : SOeS, ADEME, SRCAE, SER-FEE, estimations de l'auteur

En France, la loi n°2009-967 du 03/08/2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle I, confirme les objectifs européens, en fixant à un minimum de 23 % la part des énergies renouvelables dans les consommations nationales en 2020. La France doit donc au moins doubler sa production d'énergies renouvelables. Ces objectifs sont traduits pour les principales filières renouvelables électriques par les seuils de puissances suivants<sup>6</sup> :

- 19 000 MW d'éolien terrestre et 6 000 MW d'énergie marine,
- 5 400 MW de solaire photovoltaïque,
- 300 MW de biomasse,
- TWh/an et 3 000 MW de capacité de pointe pour l'hydraulique.

#### 1.4.2 ... confrontés à la réalité économique

En l'état actuel du système énergétique français, le pétrole, le gaz, le charbon, le nucléaire sont les énergies conventionnelles. Massivement diffusées, elles affichent aujourd'hui des coûts de revient plus compétitifs que les énergies nouvelles. Cependant, les coûts des énergies fossiles et nucléaires suivent une tendance d'évolution à la hausse en raison de la raréfaction des ressources (pétrole, gaz, uranium...) et de l'intégration de nouveaux facteurs économiques jusque-là externalisés : coût de démantèlement de centrales nucléaires, amélioration de la sûreté, quota CO<sub>2</sub>... A contrario, le coût des énergies nouvelles poursuit une tendance à la baisse en raison des économies d'échelles en perspectives et d'une ressource disponible à très long terme.

Coût de production de l'électricité <sup>7</sup>		
Centrales	Coût du MWh	Part dans le mix électrique en 2010
Nucléaire	33 à 50 €	74%
Charbon	70 à 100 €	5%
Gaz naturel	80 à 90 €	6%
Hydroélectricité	30 à 40 €	12%
Eolien terrestre	82 €	2%
Eolien off-shore	130 €	0%
Photovoltaïque	100 à 300 €	1%

Afin d'encourager les investissements et le développement de l'électricité produite à partir de l'éolien, du photovoltaïque, de la méthanisation ou de l'hydroélectricité, des tarifs de rachat sont imposés à EDF (et autres fournisseurs d'énergie).

Par exemple, l'arrêté du 8 juin 2001 (revu par les arrêtés du 10 juillet 2006 et du 17 novembre 2008) fixe l'obligation d'achat de l'énergie électrique produite à partir de l'énergie éolienne à un tarif incitatif. Ce tarif d'achat est variable selon la localisation du parc éolien :

- En métropole, le contrat d'achat dure 15 ans au tarif de 8,2 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 c€/kWh pendant 5 ans selon le potentiel éolien du site.

<sup>6</sup> Programmation Pluriannuelle des Investissements de production électrique

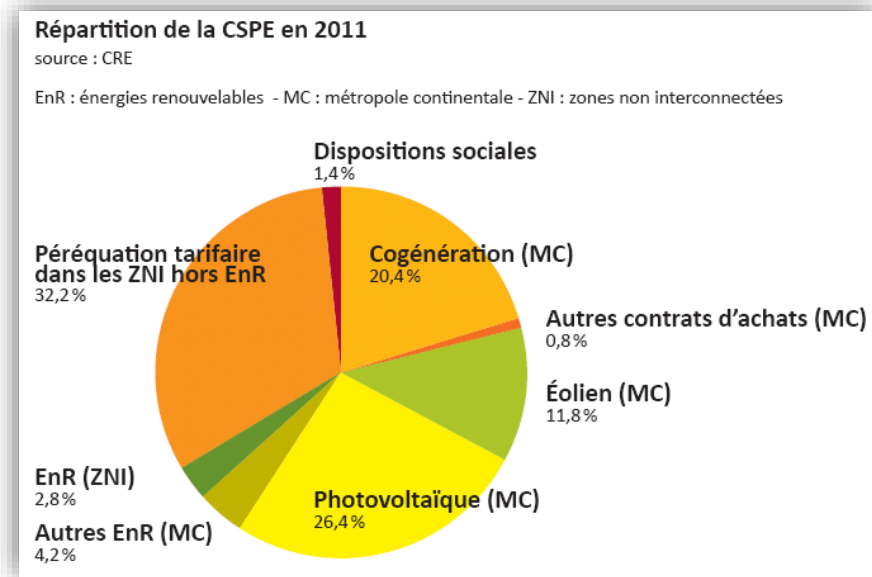
<sup>7</sup> Source : données de l'auteur, « les coûts de la filière électronucléaire et les évaluations complémentaires de sûreté », Cour des comptes, Janvier 2011 et « Rapport Energies 2050 », Jacques Percebois et Claude Mandil, MINEFI Fév. 2012

- Dans les départements d'outre-mer, à Saint-Pierre-et-Miquelon et à Mayotte, il existe un tarif unique à 11 c€/kWh.
- Pour l'éolien en mer, l'arrêté du 17 novembre 2008 prévoit un tarif d'achat de 13 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 3 et 13 c€/kWh pendant 10 ans selon la productivité du site

Étant donné que le développement de l'éolien résulte d'une politique publique d'intérêt général, le surcoût de l'électricité issue d'énergies renouvelables et achetée par EDF est répercuté sur la facture d'électricité de chaque consommateur, parmi les charges de la CSPE (Contribution au Service Public de l'Electricité).

La CSPE sert aux missions de service public suivantes :

- l'obligation d'achat de l'électricité produite par la cogénération (production d'électricité et de chaleur) ;
- la péréquation tarifaire, c'est-à-dire le surcoût de la production électrique dans certaines zones insulaires (Corse, DOM-COM, îles bretonnes, etc) ;
- les dispositions sociales, soit le coût supporté par les fournisseurs en faveur des personnes en situation de précarité.



## 1.5 DES PERSPECTIVES LARGEMENT ECORNEES PAR LA CRISE ECONOMIQUE

Les **politiques de développement de la maîtrise de l'énergie et des énergies renouvelables sont fragiles**, pendues à un fil mince : les **décrets d'application des tarifs de rachat**. En effet, les énergies renouvelables sont sujettes à des **règles du jeu très fluctuantes**. Pour preuve les différents épisodes réglementaires dans l'éolien : En 2007, le principe des Zone de Développement Eolien est mis en place et tout projet éolien doit se situer dans un périmètre défini par les communes ou Communauté de communes et le Préfet pour être éligible au tarif d'achat. En 2012, le principe des ZDE est abrogé, remplacé par les Schémas Régionaux

Eoliens définis par les Conseils Régionaux et les Préfectures, entre temps les installations éoliennes sont classées ICPE... Le secteur éolien voit les règles du jeu modifiées environ tous les ans. Cette situation est révélatrice d'une volonté en demi-teinte, le **développement des énergies renouvelables au sens large est freiné par d'autres enjeux**, aux faces multiples. Les **raisons de cette frilosité** sont parfois politiques (ex : privilégier le fleuron nucléaire français), parfois dues à la présence d'autres lobbies énergétiques importants, mais **souvent économiques**.

Suite à un succès plus important que prévu, la **filière du photovoltaïque en France a été gelée** en 2010 puis sacrifiée au prétexte qu'elle coûterait trop cher. 4 ans après la mise en place d'un tarif de rachat spécifique à l'électricité solaire, le gouvernement Fillon publie un décret le 10 décembre 2010 (n°2010-1510) relatif au moratoire sur les installations photovoltaïques est publié au Journal Officiel. S'en suit une baisse drastique des tarifs de rachat (ex : le tarif de rachat des centrales de grande puissance passe d'environ 32 c€ -coût variable selon les régions- à 11 c€ par kWh). Cela signe un coup d'arrêt pour la filière.

Aujourd'hui, le **tarif de rachat de l'éolien est remis en cause** par la commission européenne qui a déclaré en avril 2014 qu'il faudra que la France se dirige vers une suppression du tarif d'achat à terme alors que celui-ci est l'un des plus compétitifs des énergies renouvelables.

Dans le domaine des transports de marchandises, **les reports successifs de l'écotaxe** démontrent de la fébrilité du gouvernement à faire appliquer une règle incitant à la maîtrise des consommations de carburant<sup>8</sup> face à la grogne des professionnels.

## 2 DEUX CONTRAINTES MAJEURES : STOCKER L'ELECTRICITE ET GERER LES ENERGIES DE FLUX

---

### 2.1 STOCKER L'ELECTRICITE, UN OBSTACLE TOUJOURS INFRANCHISSABLE

#### 2.1.1 Une énergie difficile à stocker

L'électricité est un vecteur énergétique noble, mais **on ne sait pas la stocker à grande échelle**. Elle est donc bien moins pratique à valoriser que le pétrole, le charbon, l'uranium ou même le gaz qui sont des vecteurs énergétiques que l'on peut stocker et utiliser au moment où nous en avons besoin. On les appelle souvent d'ailleurs des « énergies de stock ».

**Les solutions de stockage de l'électricité existent. Cependant, elles ont toutes des limites qui empêchent leur valorisation à très grande échelle.**

Aujourd'hui les solutions les plus courantes sont les retenues d'eau, soit à partir de barrages hydroélectriques, soit à partir de stations de transfert d'énergie par pompage.

Dans le cas des **barrages hydroélectriques**, l'eau est captée par une série d'ouvrages dans les bassins versants en amont de la retenue, puis stockée derrière le barrage (capacité de plusieurs centaines

---

<sup>8</sup> L'objectif est de faire payer au transport routier une partie de l'usage des infrastructures qu'il utilise et de favoriser ainsi le report vers des modes de transports moins polluants



d'heure). Elle est ensuite acheminée jusqu'aux turbines de la centrale en contrebas (galeries, conduites forcées, canal d'aménée). Ces retenues permettent un stockage saisonnier de l'eau et d'assurer les surplus de la demande d'énergie en hiver. D'autres retenues, de plus petites tailles permettent d'assurer une réponse à la demande durant les heures de plus forte consommation, en période de pointe. Il y a 237 centrales de ce type en France, soit une puissance installée de 13 400 MW.

Les **STEP** sont, elles, moins nombreuses. Il en existe onze en France, pour une puissance installée de 5 000 MW. Les stations de transfert d'énergie par pompage puisent, aux heures creuses, de l'eau dans un bassin inférieur, afin de remplir une retenue en amont (lac d'altitude). L'eau est ensuite turbinée en période de pointe, lorsque l'on en a le plus besoin.

**Il existe d'autres technologies (stockage d'énergie par air comprimé, batteries, méthanation) mais elles ne sont pas généralisées car leur technologie est encore immature ou trop coûteuse. Cependant, ces technologies sont à prendre en compte sérieusement dans les perspectives d'avenir (cf. partie 4.3).**

### 2.1.2 Des solutions existantes pour adapter la consommation à la production

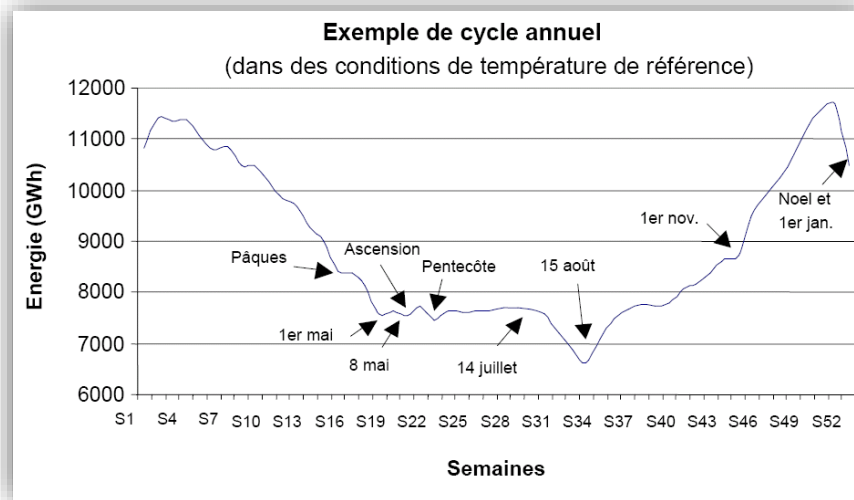
Si d'une manière générale, le système électrique français est exploité de façon à ce que les moyens de production s'adaptent à la demande, quelques solutions d'adaptation de la demande à la production existent. En effet, face à la difficulté de stocker l'électricité, il a été mis en place des **solutions d'effacement**. Un effacement de consommation consiste à réduire la consommation d'électricité d'un consommateur par rapport à sa consommation normale. Cette action se fait en cas de pointe (nationale) de consommation. Ainsi, les opérateurs (dont EDF) proposent à leurs clients des contrats (ex : heures creuses/heures pleines, EJP et Tempo) dans lesquels ceux-ci s'engagent à mettre en pause pendant quelques minutes ou quelques heures leurs consommations ou certains de leurs équipements dont la consommation est flexible (exemples pour les particuliers : radiateurs, ballon d'eau chaude, climatisation).

### 2.1.3 Des solutions de prévision de la demande en électricité

Pour limiter les pertes et ajuster les moyens de production à la demande, il a été mis en place des **solutions de prévisions de la demande**.

En France, la prévision de la consommation d'électricité est une des missions de RTE (Réseau de Transport d'Electricité) qui a mis en place des modèles prévisionnels basés sur l'historique des consommations, sur la météorologie (température et nébulosité), sur l'activité économique, sur les offres d'effacement et sur la prise en compte d'épisodes exceptionnels (coupe du monde, fêtes, etc). Ces modèles prévisionnels sont indispensables à la garantie de l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité. Le graphique ci-dessous montre la prévision de la demande en électricité faite par RTE sur une année complète.

Lorsque des écarts entre la prévision et la réalité sont constatés, des « mécanismes d'ajustement » sont mobilisés : soit le démarrage d'une centrale (ex : demande d'augmentation de la production d'une centrale hydraulique), soit l'effacement d'un gros industriel par exemple. Les surplus de production sont vendus à l'étranger ou perdus.



*Exemple de prévisionnel de RTE*

#### 2.1.4 Des pertes colossales, une énergie à faible rendement

Avec un **rendement de 1 pour 3** entre la ressource énergétique brute (gaz, charbon, fioul, nucléaire) et le kWh final, les **centrales électriques thermiques sont peu efficaces**. Cela signifie que pour 1 kWh d'uranium introduit dans la centrale, c'est 1 kWh d'électricité qui en sort. Les pertes sont dissipées en lumière ou en chaleur dans l'environnement (ex : vapeur des centrales électronucléaires).

**D'autres pertes sont à signaler** dans le bilan du système électrique français : les usages internes de la branche ou les pertes et ajustement. Dans **les usages internes de la branche énergie**, on peut distinguer la consommation nécessaires aux moyens de production des ressources primaires (ex : cokeries, usines à gaz, usine d'enrichissement d'uranium), la consommation de pompage des STEP (Stations de Transfert par Pompage) et les consommations directes des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires, etc).

Les autres pertes concernent principalement les **pertes par effet joule dans les câbles** (75% de ces pertes), les conditions climatiques et au passage dans les transformateurs. Elles sont estimées en 2012 à 30 755 GWh, soit 7% de la consommation finale.

Ainsi, le premier consommateur d'électricité en France est RTE (Réseau de Transport d'Electricité).

**La consommation de la branche énergie (usages internes, pertes et ajustements) représente 80 685 GWh alors que la consommation d'électricité finale est de 437 234 GWh (cf. Annexe 1). Les pertes sont colossales.**

Des **améliorations** ont été apportées sur des centrales de dernières générations : **les systèmes de cogénération ou les centrales à cycle combiné gaz** peuvent atteindre des rendements de 50 à 60%.

Néanmoins, la production d'électricité par combustion est associée à de faibles performances et de lourdes pertes entre l'énergie primaire et l'énergie finale.

Les pertes en ligne peuvent tendre à diminuer si **les distances d'interconnexion sont réduites grâce à une décentralisation de l'électricité**. Par ailleurs, le **remplacement des anciens transformateurs** par de nouveaux aux technologies avancées peut permettre encore des gains d'efficacité.

## 2.2 LES ENERGIES RENOUVELABLES : DES ENERGIES DE FLUX ABONDANTES MAIS DIFFICILES A MAITRISER

### 2.2.1 Les énergies renouvelables, si intermittentes que ça ?

Les énergies renouvelables, sont considérées comme des **énergies de flux**, à l'inverse des énergies de stock, comme le pétrole, le gaz, le charbon, etc.

Les **énergies de stock** sont, par définition, des énergies dont on peut constituer des **réserves**, mobilisables et transportables en grande quantité et relativement facilement.

Les énergies renouvelables sont considérées comme des **énergies de flux** car elles se régénèrent en permanence. Il est donc plus difficile d'en faire des réserves de grande quantité. Cependant, certaines sont plus facilement stockables que d'autres. Nous pouvons donc les différencier selon leur capacité de réserve (cf. tableau suivant).

On constatera que **les énergies les plus soumises à des fluctuations sont l'éolien, le photovoltaïque, les énergies de la houle et des courants marins et l'hydraulique au fil de l'eau**. Les autres (biomasse, géothermie, hydraulique de retenue, solaire thermique) sont de nature stockable ou continue.

Malgré cette nature variable, les énergies du vent, du soleil et de l'hydraulique peuvent s'avérer assez **complémentaires**. Ex : lorsqu'il y a moins de débit dans les cours d'eau, il peut y avoir du soleil. Cette complémentarité peut être un atout pour obtenir plus de continuité et de régularité dans la production.

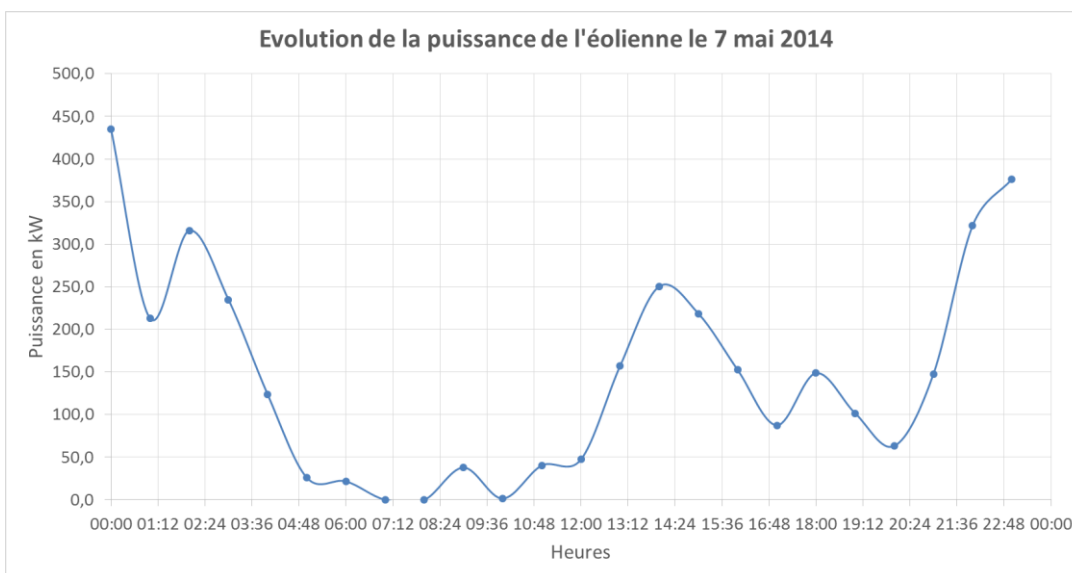
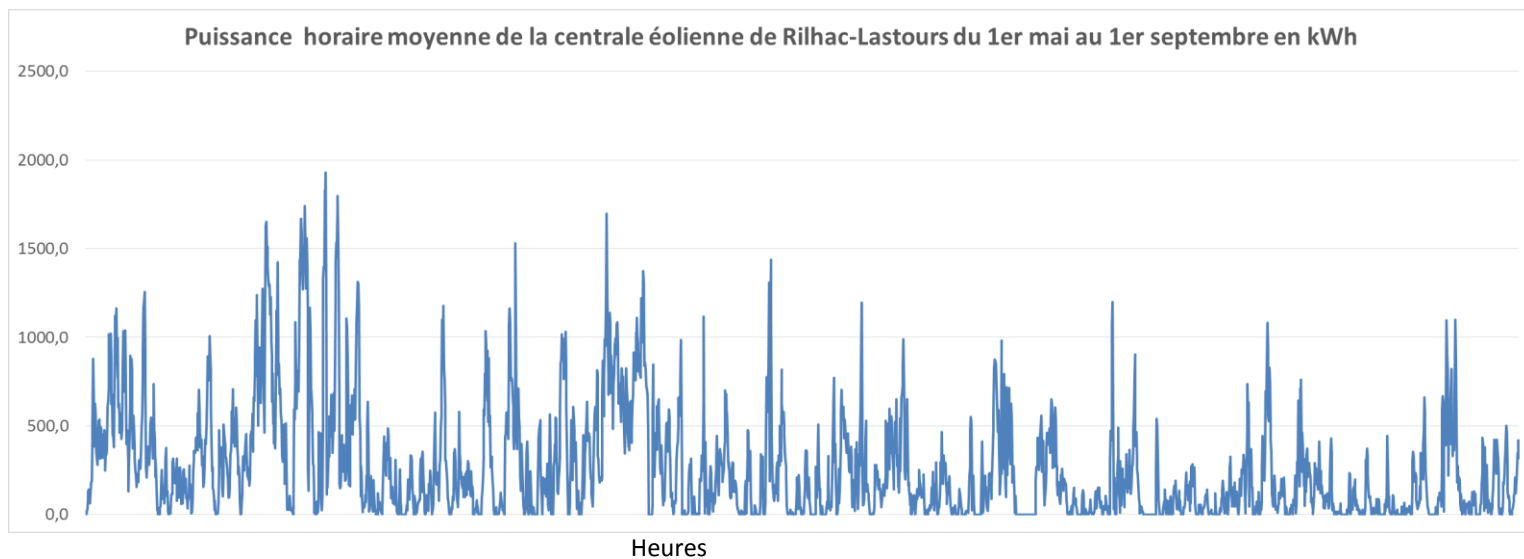
Energie	Production instantanée ou capacité de stockage	Régularité de la production	Illustrations
<b>L'énergie solaire</b>			
<b>Electricité photovoltaïque</b>	Production instantanée	Intermittente : fluctuations saisonnières, jour/nuit, et quotidienne selon la présence de nuage ou d'ombres	
<b>Electricité solaire thermodynamique à concentration</b>	Selon les technologies, des capacités de stockage de 0 à 12 heures		
<b>solaire thermique basse température</b>	Capacité de stockage dans un ballon d'eau chaude		
<b>L'énergie éolienne</b>			
<b>éolien mécanique</b>	Production instantanée	Intermittente : fluctuations saisonnières et quotidiennes	
<b>éolien électrique</b>			
<b>L'énergie hydraulique</b>			
<b>Energie hydraulique mécanique au fil de l'eau (roue à aube)</b>	Production instantanée	Intermittente : fluctuations saisonnières	
<b>Hydroélectricité au fil de l'eau</b>			
<b>Hydroélectricité avec retenue</b>	Capacité de stockage de quelques centaines d'heure	Continue et à la demande	

Energie	Production instantanée ou capacité de stockage	Régularité de la production	Illustrations
<b>Stations de transfert d'énergie par pompage</b>		Continue et à la demande	
<b>Les énergies marines</b>			
<b>Hydrolien</b>	Production instantanée	Intermittente : fluctuations saisonnières	
<b>Energie houlomotrice</b>			
<b>Energie marémotrice</b>	Capacité de stockage de quelques heures selon les aménagements	Continue et à la demande	
<b>La biomasse</b>			
<b>Bois énergie</b>	Capacité de stockage de quelques années	Continue et à la demande	
<b>Biogaz</b>	Capacité de stockage long		
<b>Biocarburants</b>			
<b>La Géothermie</b>			
<b>Géothermie basse température</b>	Production instantanée	Variations saisonnières	
<b>Géothermie haute température</b>		Continue et à la demande	

Source : Sylvain LE ROUX

### 2.2.2 L'intermittence de l'éolien, l'exemple de l'éolienne de Rilhac-Lastours (87)

Les éoliennes produisent de l'électricité quand le vent souffle et, bien que les sites choisis pour l'implantation de parcs éoliens possèdent de bons gisements éoliens, le vent ne souffle pas en continu à la même puissance. On peut donc qualifier cette énergie d'intermittente. Notamment, les vents sont plus importants en hiver qu'en été en France métropolitaine. La courbe suivante montre la production de la centrale éolienne de Rilhac-Lastours, en Haute-Vienne, pour une durée de 4 mois. Le graphique d'après montre cette intermittence sur une journée.

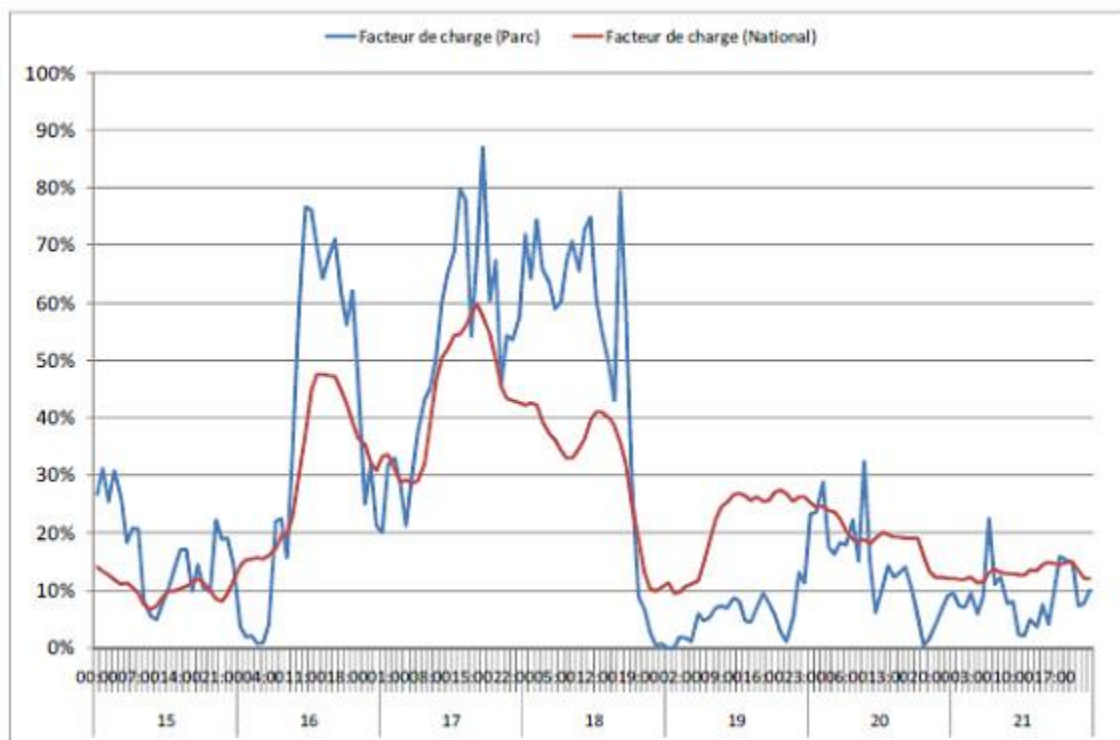


En revanche, les éoliennes démarrent dès que les vents soufflent au moins à 3 m/s et jusqu'à 20-25 m/s. Les aérogénérateurs fonctionnent donc plus de 60 % du temps, à une puissance dépendant bien sûr de la vitesse du vent. Par ailleurs, le réseau électrique français est interconnecté et une répartition des parcs éoliens sur tout le territoire français permet d'exploiter le vent en permanence car il existe trois régimes



de vent distincts et décorrélés (façade Manche – Mer du Nord, front atlantique et zone méditerranéenne) qui peuvent se compenser entre eux (voir graphique SER ci-dessous).

**Illustration du foisonnement de la production éolienne (exemple de la semaine du 15 juillet 2011, facteur de charge au pas horaire)**



Source : Syndicat des Energies Renouvelables

**2.2.3 L’intermittence de l’énergie solaire photovoltaïque, l’exemple d’une centrale à Aubazine (19)**

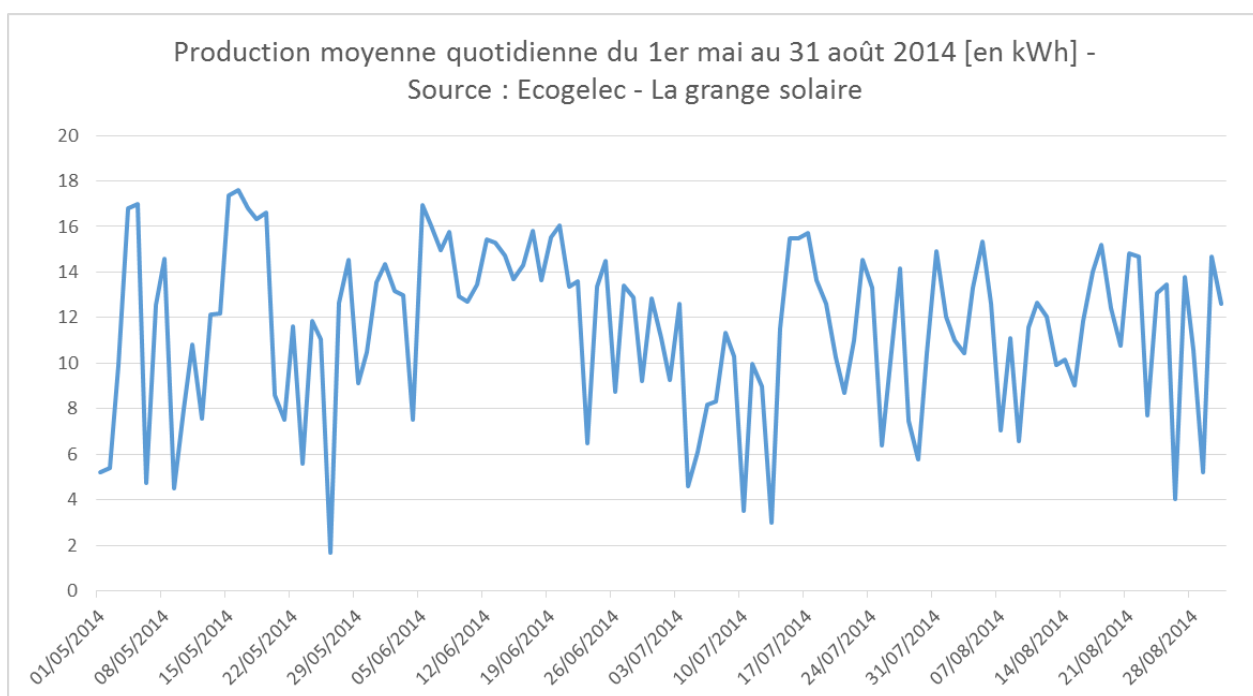
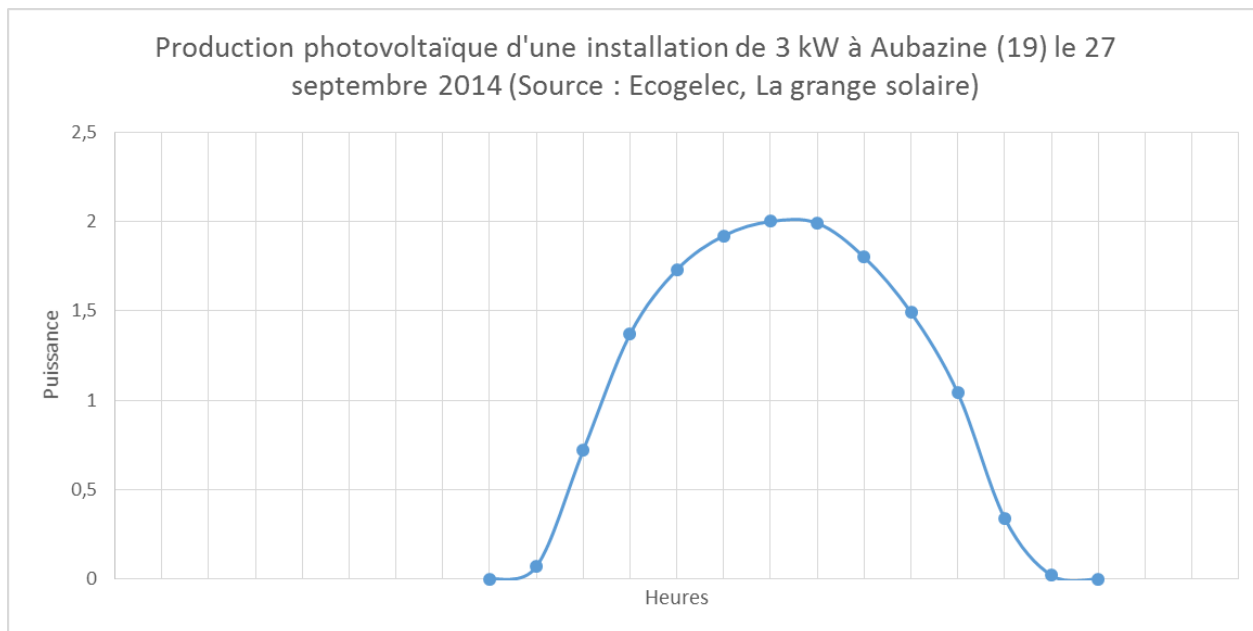
Les installations photovoltaïques produisent de l’électricité à une puissance variable qui dépend de l’irradiation solaire reçue par les capteurs. Cette irradiation dépend de la latitude, de l’altitude, des saisons, de l’inclinaison des capteurs, de la nébulosité et des ombres portées.

Les fluctuations de la production sont donc saisonnières, l’irradiation solaire étant évidemment plus importante en été qu’en hiver. Elle est aussi due aux successions de jour et de nuit, période durant laquelle la centrale ne produit pas. Enfin, la production peut subir des variations rapides comme lors du passage d’un nuage.

En général, la production photovoltaïque suit une parabole avec une croissance le matin, atteignant une valeur maximale lors du midi solaire, puis décroît jusqu’au coucher du soleil.

La courbe suivante d’une installation de 3 kW à Aubazine, en Corrèze montre ce phénomène, en l’absence de nébulosité. Le graphique d’après montre la production d’électricité solaire sur plusieurs mois.

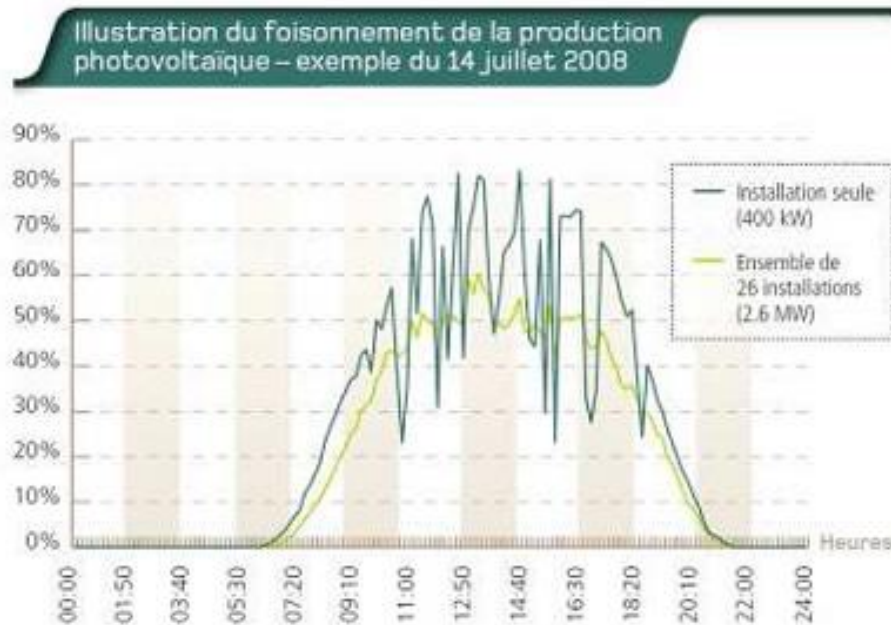




Quel que soit la puissance de l'installation, ce type de fluctuation sera constaté pour des centrales photovoltaïques dans la région Limousin. Comme pour la production éolienne, nous constatons que l'énergie délivrée n'offre pas la « stabilité » et la « continuité » nécessaire à la demande actuelle en électricité.

D'après la CRE (Commission Régionale de l'Énergie), ces variations sont toutefois atténuées par le foisonnement de la production de plusieurs sites à l'échelle régionale ou nationale (voir graphique ci-après).

### Illustration du foisonnement de la production photovoltaïque



Source : RTE

#### 2.2.4 L'intermittence de la production, un enjeu pour le réseau

Une partie de la production d'électricité à partir des renouvelables est basée sur des flux intermittents, en particulier pour le photovoltaïque, l'éolien, l'énergie de la houle et l'hydraulique au fil de l'eau. Or, d'après la Commission de Régulation de l'Electricité, « le réseau électrique a été conçu pour alimenter une consommation diffuse et intermittente à partir d'une production « commandable », d'une disponibilité prévisible et élevée, raccordée au réseau de transport. L'électricité des installations de production d'origine renouvelable étant le plus souvent intermittente, décentralisée, à production variable, leur développement implique une révision fondamentale des concepts ayant présidé au dimensionnement de ces réseaux. »

#### 2.2.5 La limite des 30% d'ENR en milieu insulaire

Cette fragilité induite par l'intermittence de certaines énergies renouvelables est encore plus perceptible dans les milieux insulaires qui ont pourtant vus se développer fortement les énergies photovoltaïques et éoliennes. **Le caractère intermittent entraîne des instabilités du réseau**, en raison notamment d'un défaut de production des énergies de flux aux heures de pointe. L'équilibre entre production et consommation peut s'avérer critique.

Afin d'assurer la sécurité de l'alimentation électrique des réseaux insulaires, l'arrêté ministériel du 23 avril 2008 fixe le seuil maximal d'énergies intermittentes à 30 % de la puissance appelée sur le réseau.

### 2.2.5.1 Exemple de Mayotte

A Mayotte, la production et la distribution de l'énergie électrique sont réalisées par *Electricité de Mayotte*. Comme tout milieu insulaire, le réseau électrique mahorais n'a pas, en l'état actuel des choses, la capacité d'accueillir plus de **30 % de l'électricité, produite à partir d'énergies renouvelables** pour la seule raison qu'elles sont intermittentes. Les besoins en énergie – principalement pour l'éclairage et pour la climatisation – s'élèvent à 210 MWh. La moitié des produits pétroliers importés sert donc à alimenter la centrale thermique de Badamier (40 MW) et les groupes électrogènes pour la production d'électricité. Le développement solaire photovoltaïque a été très important ces dernières années, mais il a désormais atteint son maximum en termes d'acceptation du réseau depuis 2011. D'après Ibrahim Bahedja (chargé de mission énergie au Conseil Générale de Mayotte), l'île est face à l'impossibilité de réaliser de nouvelles installations. Dans certains cas, les connexions de centrales solaires sont parfois à l'origine de black-out. Le développement des énergies renouvelables est donc bloqué par cette problématique si des solutions de **stockage de l'énergie** (barrages hydroélectriques, air comprimé, batteries, pile à combustible...) ou de « **réseau intelligent** » ne sont pas mises en œuvre.

Pour l'instant les actions menées portent sur la promotion des lampes basses consommation et de l'isolation thermique de bâtiments ainsi que sur la sensibilisation du grand public et des gros consommateurs. Aucune action de développement des smart grid n'est testée.



### 3 DE L'INTERET DES SMART-GRID ET DEFINITION

#### 3.1 LE ROLE DES SMART-GRID DANS LA TRANSITION ENERGETIQUE

L'équilibre entre les moyens de production d'électricité et la demande des consommateurs devient de plus en plus fragile avec l'introduction d'énergies de flux, l'imprévisibilité des nouvelles consommations et compte-tenu du caractère peu flexible de la production électronucléaire<sup>9</sup>.

Face à la nécessité d'accroître la part des énergies de flux dans le mix électrique français malgré les contraintes qui les accompagne (cf. 1.5.1) des solutions concrètes sont imaginées pour inverser la tendance actuelle et permettre d'adapter l'offre à la demande : qualité de la prévision de la demande, qualité de la prévision des ressources de flux, maîtrise et organisation de la consommation à la demande, stockage de l'électricité.

**Les promoteurs des smart-grid les présentent comme l'intelligence de cette architecture menant vers une éco-gestion du système électrique.**

Les réseaux intelligents doivent permettre de :

- **Distribuer l'énergie avec sécurité et fiabilité**
- **Mutualiser les productions décentralisées**
- **Adapter les moyens de productions à la prévision météorologique**
- **Adapter les moyens de production à la prévision de la demande et à la demande réelle**
- **Rediriger le surplus d'électricité vers les systèmes de stockage**
- **Adapter la consommation d'électricité à la production**

#### 3.2 DÉFINITION DES SMART-GRID ÉLECTRIQUES

Il existe quasiment autant de définitions que d'angles d'attaque du sujet : le réseau électrique, les énergies renouvelables, le bâtiment, la domotique, les autres réseaux (eau, chaleur, gaz), etc. Ces domaines d'activité s'approprient les smart-grid avec des différences de définition notables.

Notre angle d'attaque géographique nous amène à replacer les « réseaux intelligents » dans un contexte territorial, d'échelle régionale ou nationale :

Les smart-grid sont, selon nous, **une réponse aux risques de surtension et de coupure du réseau électrique** liées à **l'augmentation de la part des énergies intermittentes et décentralisées** dans le mix énergétique et à **l'arrivée de nouvelles consommations d'électricité** comme la recharge de véhicules

<sup>9</sup> Si, comme l'indique Alexey Lokhov dans son article « Suivi de charge dans les centrales nucléaires » - Actualités, AEN Infos 2011 – N° 29.2, les centrales électronucléaire de seconde génération peuvent fonctionner en mode plus flexible que les premières centrales, ce mode de production reste une source de base d'un système électrique en raison de la durée de mise en route d'une centrale et de son coût fixes élevé.

électriques. Ils ont aussi la vocation de **limiter les pertes en surproduction et les pertes en ligne**, participant ainsi à l'efficacité énergétique.

Grâce à la mise en place de **réseaux de communication** (fibre optique, GPRS, CPL, etc.), **et d'information** (capteurs, compteurs linky, etc), les éléments composant le système électrique - **moyens de productions, postes de transformation, consommateurs - sont reliés les uns aux autres**. Ainsi, à l'aide d'outils informatiques et d'organes de manœuvre, un **centre de gestion** peut, de façon manuelle ou automatisée, **contrôler, ordonner et ajuster l'offre et la demande pour veiller à l'équilibre entre les deux**.

L'ajustement de l'offre peut se faire par :

- la mise en route ou l'effacement de centrales de production en fonction des prévisions de demande et des prévisions de production des énergies intermittentes,
- le stockage du surplus d'électricité produite,
- l'achat d'électricité à l'étranger.

L'ajustement de la demande se fait par :

- l'effacement des consommations aux heures de pointe pour les reporter aux heures creuses pour des usages flexibles (ex: lave-linge, lave-vaisselle, arrêt ou baisse du chauffage, etc)
- la programmation des périodes de consommation en fonction des pics de production des énergies intermittentes, pour certains usages flexibles comme la recharge de batteries ou d'accumulateurs (ex : véhicules électriques, des convecteurs à accumulateurs, etc), de chauffe-eau ou de procédés industriels spécifiques.

## 4 LE NOUVEAU PAYSAGE ENERGETIQUE DES SMART GRID

---

### 4.1 PROSPECTIVE ET ANALYSE SYSTEMIQUE DES EVOLUTIONS LIEES AUX SMART GRID

Comme explicité dans les parties précédentes, l'évolution du paysage énergétique français lié à l'introduction des smart-grid ne peut être imaginée sans considérer l'évolution d'un système complet. Cette évolution peut être résumée par la transformation du système actuel « centralisé-tout nucléaire » vers un système « décentralisé-énergies locales-microgrid-stockage ».

En tout état de cause, l'objectif visé par les smart-grid ne peut être atteint sans une généralisation à l'échelle nationale. Cela suppose une évolution des équipements et des aménagements sur l'ensemble de l'espace français.

Dans un essai de prospective, nous pouvons comparer les caractéristiques principales du système actuel et du système futur pour en cibler les évolutions. Le tableau suivant recense ces différences.

Les parties suivantes focalisent sur les évolutions très innovantes liées aux compteurs communicants et aux technologies de stockage massif de l'électricité.

Système électrique actuel	Système électrique futur
Production centralisée : prépondérance du nucléaire et des centrales thermiques de grande puissance, faible part des énergies renouvelables	Production décentralisée : augmentation de la part des petites unités de production, répartition plus diffuse sur le territoire, augmentation de la part des énergies renouvelables
L'équilibre du réseau est assuré en premier lieu par la modulation de la production	L'équilibre du réseau peut être assuré aussi bien la modulation de la production que par la modulation de la consommation
Le consommateur n'est pas impliqué dans la gestion du système électrique	Le consommateur est consom'acteur : il décide quand il consomme, peut injecter de l'énergie dans le réseau, peut stocker de l'énergie
Le stockage d'énergie se limite à l'exploitation de STEP et de barrages hydrauliques	Les unités de stockage massif d'électricité et d'énergie sont multiples et nombreuses : STEP et barrages hydrauliques, air comprimé (CAES), batteries, hydrogène : pile à combustible, méthanation, ajout d'hydrogène dans le réseau de gaz, supercondensateurs, superconducteurs, stockage thermique
Pertes en ligne importantes Mauvais rendement des centrales thermiques et nucléaires, grandes distances parcourues dans le slignes électriques, surproduction, etc	Pertes électriques limitées Sistances parcourues par l'électricité raccourcies par la décentralisation, limitation de la surproduction grâce à l'ajustement de la demande, meilleur rendements des unités de production)
Gestion du réseau unidirectionnelle Réseau analogique communiquant sur une partie du réseau : gestionnaire=>moyens de production Prédiction de la consommation Prédiction des énergies renouvelables Prédiction de la disponibilité du réseau	Gestion du réseau bidirectionnelle Réseau numérique communiquant sur la totalité du réseau (gestionnaire ↔ moyens de production / gestionnaire ↔ consommateur) Prédiction de la consommation optimisée Prédiction des énergies renouvelables optimisée Prédiction de la disponibilité du réseau optimisée

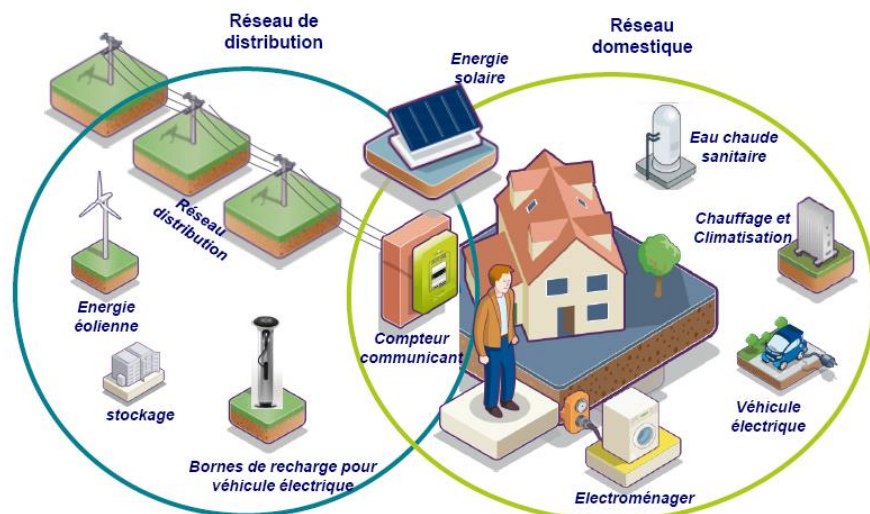
## 4.2 ZOOM SUR LES COMPTEURS COMUNIQUANTS

D'un point de vue technique, le réseau ne peut être rendu intelligent sans la mise en place des outils de communication, avec en premier, les compteurs communicant.

Après une phase de test par ERDF par ERDF entre 2009 et 2011 en Indre-et-Loire et à Lyon, **le compteur intelligent Linky** devrait être déployé chez 35 millions de consommateurs à partir de 2015. D'après ERDF, « Linky est un compteur communicant, ce qui signifie **qu'il peut recevoir et envoyer des données et des ordres sans l'intervention physique** d'un technicien. Installé chez les clients et relié à un centre de supervision, il est en interaction permanente avec le réseau, qu'il contribue à rendre «intelligent». »

Si pour l'instant, les perspectives mise en avant par ERDF pour ce type de compteur sont les réductions des délais d'intervention, le suivi des consommations ou l'accès facilité aux offres des fournisseurs, les vrais atouts pour l'écogestion du réseau résident dans les conseils en temps réels que l'automate peut donner au consommateur pour maîtriser ses consommation et surtout dans les ordres qu'il est possible de donner aux matériels électriques du consommateur. Comme indiqué dans la partie 3.2, **l'intérêt réside dans l'ajustement de la demande par l'effacement des consommations d'électricité aux heures de pointe ou la programmation des consommations aux heures de surplus de la production pour des usages flexibles :**

- électroménager : lave-linge, lave-vaisselle,
- chauffage et climatisation (ex : baisse du chauffage sur un laps de temps, report de la recharge des convecteurs à accumulateurs, etc)
- chauffe-eau
- recharge de batteries des véhicules électriques,
- certains procédés industriels.



Source : ERDF

## 4.3 L'INDISPENSABLE EMERGENCE DES UNITE DE STOCKAGE DE L'ELECTRICITE

Des perspectives de développement de techniques de stockage de l'électricité devront venir se combiner à l'usage des smart-grid afin de stocker les surplus de production de l'énergie éolienne, solaire ou houlomotrice (pour les plus intermittentes).



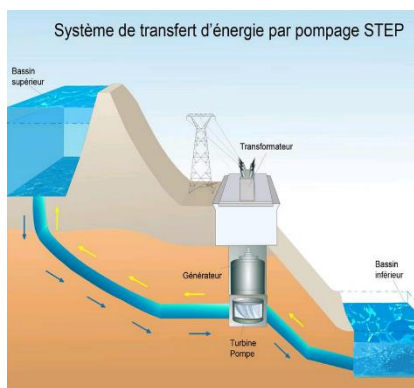
De nouvelles applications vont donc émerger :

- Le développement de nouvelles stations de Transfert de l'énergie par pompage (ex : projet de Redenat en Corrèze).
- L'effacement et le décalage d'appel de puissance dans l'industrie via du stockage thermique ou dans des batteries (cf. Scénario Negawatt).
- La production d'hydrogène ou de méthane pour injection dans les réseaux de gaz
- Le stockage d'électricité dans des batteries à l'échelle de quartiers ou de logements, ou même dans les batteries des véhicules électriques (cf. exemple de NICEgrid).
- Etc.

Les différents moyens techniques sont les suivants (Source : Commission de Régulation de l'Electricité – Illustrations : Corinne Beurtey - CEA) :

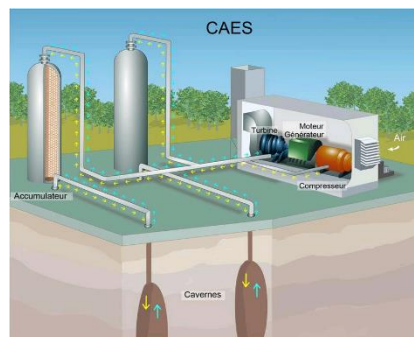
### ➤ stockage mécanique

**Barrage hydroélectrique :** créer une retenue d'eau qu'il est possible de turbiner aux pics de la demande de consommation



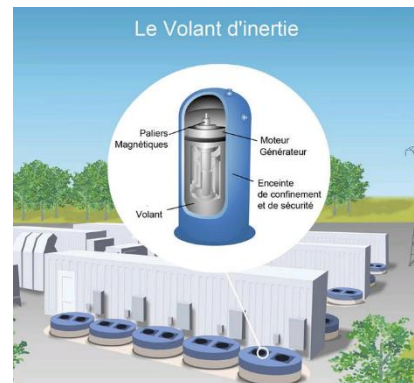
**Station de transfert d'énergie par pompage (STEP) :** utiliser l'électricité disponible en période creuse pour remonter l'eau dans des bassins afin de créer une retenue d'eau qu'il est possible de turbiner aux pics de la demande de consommation

*Potential de stockage hydroélectrique : D'après la CRE, la Programmation Pluriannuelle des Investissements de production d'électricité prévoit d'augmenter les capacités d'énergies hydroélectriques de **3 000 MW** sur la période 2009-2020. Si tout ce potentiel était exploité, on pourrait gérer les pointes de consommation hivernales en France sans faire appel aux centrales thermiques. L'attrait du stockage par STEP est donc un formidable vecteur de durabilité de l'approvisionnement électrique.*



**Stockage d'énergie par air comprimé (CAES) :** utiliser l'électricité disponible en période creuse pour stocker de l'air dans des cavités souterraines (ancienne mine ou caverne de stockage de gaz naturel) grâce à un compresseur. Il est alors possible d'utiliser cet air pour faire fonctionner des turbines aux heures de pointe.

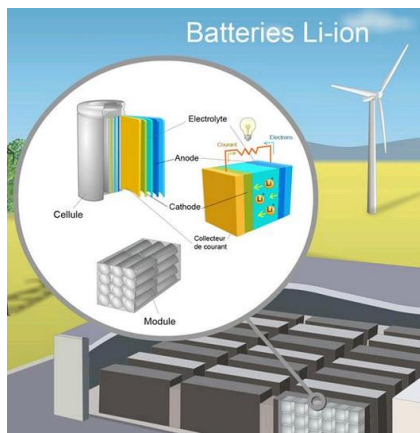
*Potential de stockage par air comprimé : d'après la CRE, le rendement des CAES est pour l'instant réduit. Mais d'après Catherine Ponsot-Jacquinet et Jean-Fabrice Bertrand pour l'IFP Energies nouvelles, cette technologie offre des potentialités sérieuses car elle permet de stocker de grande puissance à un coût abordable à court-moyen terme.*



**Volants d'inertie :** profiter de l'inertie de l'énergie cinétique d'un objet en mouvement, en général un tube ou un anneau dont la masse une fois lancée par un moteur électrique continue à tourner temporairement

*Potential des volants d'inertie : d'après la CRE, les volants d'inertie subissent des pertes de charge en raison de phénomènes d'autodécharge et ne permettent pas d'obtenir une durée d'autonomie importante. Ces systèmes sont donc adaptés pour des applications de régulation, d'optimisation énergétique d'un système et d'amélioration de qualité (micro-coupures, coupures brèves, etc.).*

### ➤ stockage électrochimique



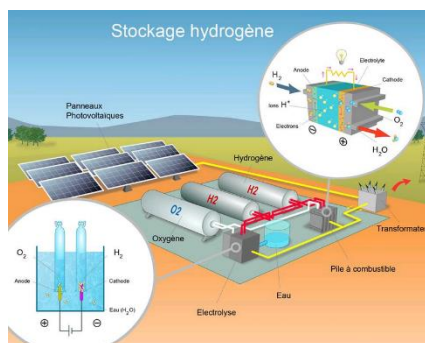
**Batteries :** convertir de l'énergie chimique en énergie électrique, concerne principalement les batteries, piles et accumulateurs.

*Potential de stockage des batteries : cette technologie est éprouvée, néanmoins, elle est coûteuse et volumineuse. D'après Jean-Marc Jancovici, avec les batteries "standard" au plomb utilisées dans nos voitures, il faut environ 30 kg de batteries pour stocker 1 kWh. Il faut aussi tenir compte de l'énergie nécessaire pour fabriquer la batterie, qui représente 10% de l'énergie qui sera stockée pendant la batterie au cours de sa vie.*

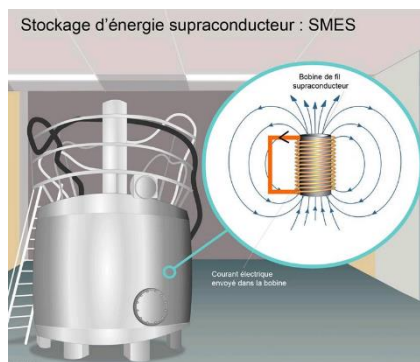
**Vecteur hydrogène :** utiliser la surproduction d'électricité excédentaire pour produire de l'hydrogène et de l'oxygène à partir de l'eau (H<sub>2</sub>O). L'hydrogène pourrait être stocké et reconverti en électricité via trois procédés différents : **pile à combustible**, synthétiser du gaz naturel par **méthanation** ou **ajouter l'hydrogène directement au gaz naturel** pour le turbiner dans une centrale thermique.

*Potential de stockage par l'hydrogène : d'après la CRE, cette technologie présente l'avantage d'être facilement stockable et transportable sous forme liquide ou gazeuse, mais comme le montre Jean-Marc Jancovici dans le tableau suivant, cela reste très lourd et volumineux par rapport au pétrole ou au bois. C'est une technologie encore en phase de développement et qui reste très coûteuse.*

*Pour aller plus loin : la plateforme MYRTE (Mission hydrogène renouvelable pour l'intégration au réseau électrique) a vu le jour en Corse. La plateforme est constituée d'une centrale photovoltaïque, d'une puissance installée de 560 KWc sur 3 700 m<sup>2</sup>, reliée directement à une chaîne hydrogène, utilisée comme un moyen de stockage*



### ➤ stockage électromagnétique

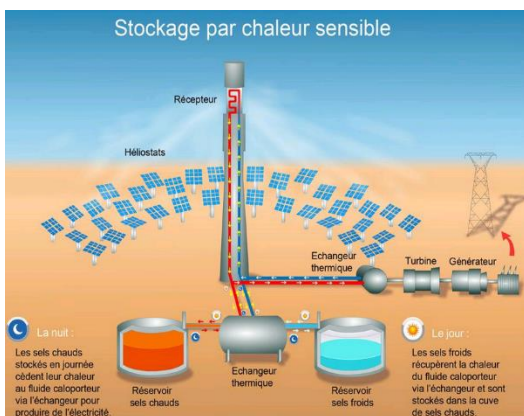


**Supercondensateurs, superconducteurs :** certains systèmes pourraient permettre de stocker l'énergie directement sous forme électrique : les supercondensateurs, qui permettent d'accumuler des électrons. Ce sont des composants électriques constitués de deux armatures conductrices stockant des charges électriques opposées.

Les **SMES (Superconduction magnetic energy storage)** convertissent l'électricité en énergie magnétique. Ces matériaux supraconducteurs permettent de stocker de l'électricité dans des boucles, le courant y tourne indéfiniment sans être soumis à aucune perte.

*Potential de développement du stockage électromagnétique : les supercondensateurs ont le désavantage de pas pouvoir stocker de grandes quantités. Les superconducteurs, eux, permettent de stocker de grandes quantités, mais la technologie reste à être développée pour répondre à des contraintes de fonctionnement à basse température.*

➤ **stockage thermique**



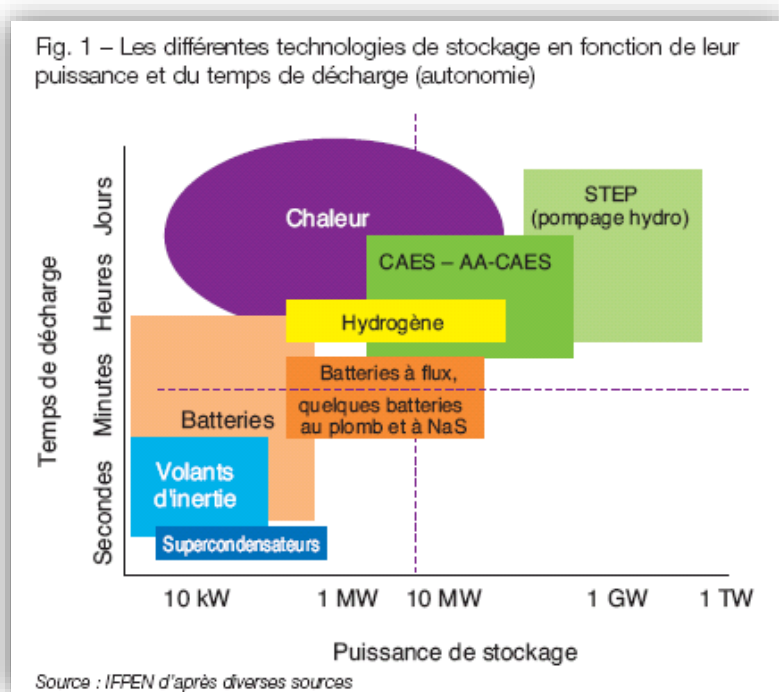
**Chaleur latente ou sensible** : stocker la chaleur ou le froid en période de faible demande d'électricité à l'aide de réservoir de fluides (eau) ou matériaux (sable, béton, céramique, sels, etc). Les sources de chaleur peuvent provenir de chauffe-eau électrique (en période creuse), de panneaux solaires thermiques (permettant ainsi de pallier à son intermittence et différences jour/nuit et été/hiver) ou de la récupération d'énergie fatale sur des industries, incinérateurs ou cogénérateurs. Le stockage de la chaleur peut aussi se faire par voie thermochimique (ou sorption).

*Potential de développement : ce mode de stockage présente des solutions matures et réalistes, déjà utilisé via les chauffe-eau électrique par exemple. Néanmoins, ces modes de stockage n'ont pas pour première visée de produire de l'électricité, mais de la chaleur.*

D'après l'article de Jean-Marc Jancovici, *Est-il facile de stocker l'énergie ?* (janvier 2013) et d'après l'article *le stockage massif de l'énergie* de Catherine Ponsot-Jacquelin et Jean-Fabrice Bertrand pour l'IFP Energie nouvelle (octobre 2012), nous percevons que les alternatives aux énergies de stock pour le stockage massif de l'énergie citées précédemment sont dans l'ensemble très contraignantes : soit les quantités d'énergie stockables sont trop faibles, soit les temps de décharges sont trop courts, soit les pertes sont trop importantes, soit la durée de vie de la technologie est courte et dans tous les cas, les coûts sont très élevés. Aujourd'hui, **les solutions qui tirent leur épingle du jeu sont les STEP ou retenues hydroélectriques, le stockage d'air comprimé, le stockage thermique et, dans une moindre puissance les batteries.** D'une manière générale, le stockage de l'électricité semble difficile à développer dans un contexte très concentré des moyens de productions tels que le système électrique français.

Masse requise pour stocker l'équivalent d'un kg de pétrole (11,6 kWh - 1,3 litres environ)						
Bois	Batteries plomb acide	Hydrogène comprimé	Masse en mouvement	Eau en altitude	Uranium	Chaleur
2,22 kg quelques m <sup>2</sup> de surface mobilisés sur un an	plus de 300 kg de batteries	de 15 à 30 kg de réservoir, occupant un peu moins de 30 litres	2 camions de 40 tonnes lancés à 116 km/h	43 tonnes d'eau pouvant effectuer 100 m de chute	1 milligramme	10 °C d'élévation de la température pour 1 tonne d'eau, ou 50 °C d'élévation pour 200 kg d'eau

Source : Jean-Marc Jancovici – *Est-il facile de stocker l'énergie ?* Janvier 2013



Synthèse des principales caractéristiques des technologies de stockage massif d'énergie								
	Puissance (MW)	Capacité (MWh)	Temps de décharge (en heures)	Temps de réaction	Efficacité (%)	Nombre de cycles	Durée de vie (en années)	CAPEX €/kWh
STEP	30 - 2 000	1 000 à 20 000	6 - 24	< 10 mn	70 à 85	13 000 et +	> 40	50 à 150
CAES	10 - 300	120 à 1 800	5 - 24	< 10 mn	50 - 70	13 000 et +	> 35	50 à 150
Chaleur sensible	4 - 100	40 000	6 - 12	-	75	10 000 et +	-	50 à 150
Chaleur latente	10	100			85		> 15	
Batteries NaS	1 - 50	< 200	6 - 7	< 1 sec	75 - 85	< 4 500	15	200 à 550
Batteries Li-ion avancées	1 - 50	< 100	0,2 - 4	< 1 sec	85 - 95	10 000	?	500 à 1 500
Batteries à flux Vanadium	0,2 - 5	< 200	Quelques secondes à 5h	< 1 sec	70 - 80	14 000 ?	10 à 20	100 à 500
Hydrogène	10 - 1 000	10 à 10 000 ?	Quelques heures	< 1 sec	40 ?	?	25	< 1 000 ?

Source : le stockage massif de l'énergie de Catherine Ponsot-Jacquinet et Jean-Fabrice Bertrand pour l'IFP Energie nouvelle (octobre 2012)

## 4.4 QUELQUES EXEMPLES DE MISE EN APPLICATION

### 4.4.1 Démonstrateur Smartgrid Vendée

ERDF a choisi de tester son système de réseau intelligent sur le département de la Vendée car ce département réunissait les conditions adéquates : une hausse des consommations d'électricité de 40% ces dernières années, un taux des énergies renouvelables de 8%, une formation d'ingénieurs Smartgrid au CNAM. Ce dispositif interconnecte les éléments suivants :

Production	Consommation	Réseau
6 parcs éoliens (P=50 MW)	100 bâtiments publics 10 000 points d'éclairage public	6 postes sources (HTB/HTA)
36 sites PV (P= 2,5 MWc)	1 site industriel	73 départs HTA 100 postes HTA/BT

Le démonstrateur a été mis en place pour une durée de 5 ans avec pour but l'optimisation du pilotage du réseau d'électricité grâce à :

- une nouvelle génération de capteurs,
- des organes de manœuvre télécommandés intelligents,
- des compteurs linky,
- une structure de communication spécifique entre le réseau de distribution et l'ensemble des producteurs d'électricité,
- de nouveaux logiciels de simulation et de prévision de la demande en électricité,
- de la production et de l'état du réseau électrique,
- des outils informatiques d'aide à la décision et au pilotage de la production et de la consommation en temps réel

Pour plus d'information : <http://smartgridvendee.fr/>

### 4.4.2 Exemple de Nicegrid

Le projet pilote NICE Grid a vocation d'être un quartier solaire « autonome » intégrant plusieurs centrales photovoltaïques sur des maisons d'habitations ou des bâtiments tertiaires et industriels (pour une puissance globale de 2 à 3 MWc), couplées à d'importantes capacités de stockage de l'électricité et grâce à la mise en place d'un réseau intelligent équipé de compteurs LINKY permettant ainsi les échanges d'information entre le réseau électrique et les consommateurs. En effet, plusieurs centaines d'habitants sont associés au projet. Le coût du démonstrateur est de 30 millions d'euros. Les conclusions du projet sont attendues pour la fin 2015.

Pour plus d'information : <http://www.nicegrid.fr/>

### 4.4.3 Enquête par questionnaire

Dans le cadre de ce rapport, des questionnaires en ligne (cf. annexe 2) ont été adressés au Ministère de l'environnement à Saint-Pierre-et-Miquelon (Jean-Pierre Claireaux), à l'ADEME de Polynésie Française (François Maurice), à RTE (chargé de mission Jean Charvet), à QUADRAN – producteur d'énergies renouvelables (Dominique Lefebvre, chargé de mission RetD), au Conseil Général de Mayotte (Ibrahim Bahedja, chargé de mission énergie) et à Nice Grid. Malgré deux relances, seule une réponse a été obtenue auprès du Conseil général de Mayotte. Les résultats de cette enquête ne pourront donc pas être exploités dans ce rapport, compte tenu du temps imparti au rédacteur pour sa réalisation.

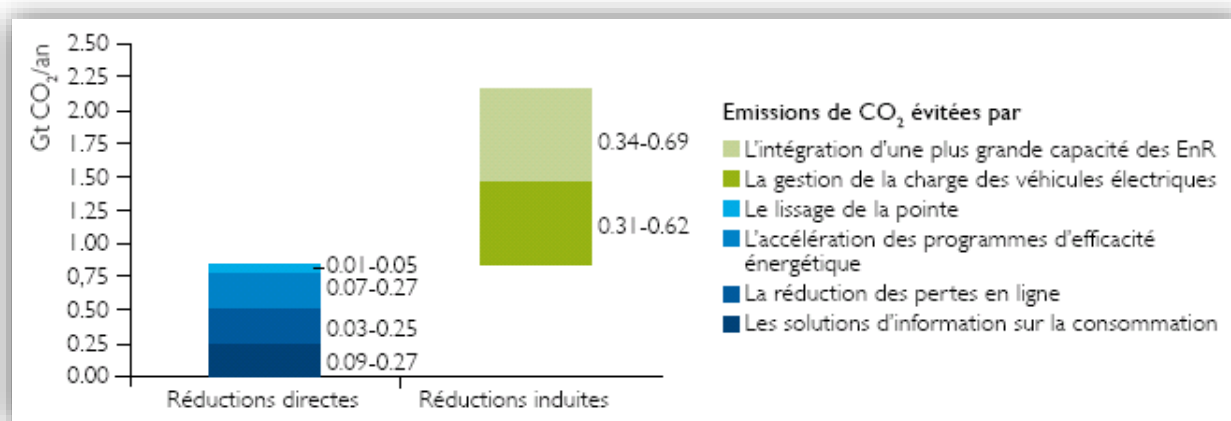


## 4.5 LIMITES ENVIRONNEMENTALES DES SMART GRID

Les solutions et avantages des smart-grid et du système électrique qui les accompagne doivent être relativisés et questionnés du point de vue environnemental. Ce rapport ne permettra ici que de poser ces questions, sans y répondre de façon étayée.

Dans un premier temps, nous relativiserons le champ de compétence des « smart-grid ». Comme vu précédemment, le système d'écogestion du réseau électrique manœuvré par les smart-grid ne permet de répondre qu'à une partie du problème énergétique français puisque il ne s'attaque qu'aux consommations d'électricité, soit ¼ seulement des consommations d'énergie des français. Par ailleurs, les expériences actuelles de smart-grid focalisent l'attention sur les énergies renouvelables intermittentes (éolien, photovoltaïque) qui représentent actuellement moins de 3 % des moyens de production en électricité. L'intérêt des smart-grid réside dans un élargissement des champs de compétence aux autres réseaux : réseaux de chaleur, de gaz, d'eau, etc.

Dans un second temps, il serait souhaitable d'évaluer les gains environnementaux des smart-grid de façon exacte selon différents scénarii. Quelques études estiment déjà ces gains environnementaux à travers les économies d'énergie et l'introduction des énergies renouvelables. L'agence internationale de l'énergie, dans son scénario Blue Map, fait état de réductions des émissions de 2,25 Gt de CO<sub>2</sub> par an d'ici 2050 liées à l'introduction des smartgrid (cf. graphique ci-dessous). Sachant que les émissions de CO<sub>2</sub> mondiale sont de l'ordre de 30 Gt, cela semble être une alternative à ne pas négliger. Une analyse comparative des différentes études estimant les gains environnementaux des smart-grid devrait être menée, tant sur le plan des résultats que des méthodes.



*Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> en lien avec le déploiement des systèmes électriques intelligents dans le scénario Blue Map, comparativement au scénario de base (source : IEA, Energy Technology Perspectives 2010).*

Par ailleurs, les questions des impacts environnementaux des smart-grid doivent être posées, notamment :

- L'analyse de cycle de vie des équipements développés, fabriqués et mis en place pour la mise en œuvre des « smart city » : compteurs linky, nouveaux équipements électroménagers, outils informatiques, etc

- L'analyse des effets environnementaux des systèmes de stockage qui pourraient être généralisés : batteries, STEP, stockage d'air comprimé, etc
- Les effets environnements des énergies renouvelables
- La consommation d'énergie des systèmes communicants : la technologie de l'information nécessite des serveurs de stockage des informations très gourmands en énergie (cf. encadré suivant)
- Le développement de l'usage électrique pour des applications pouvant être remplies par d'autres vecteurs énergétiques (chaleur, mobilité).

Par exemple, le remplacement du parc automobile français par des véhicules individuels électrique demanderait une démultiplication des capacités de production. Cette capacité ne pourrait semble-t-il pas être fournie par des énergies renouvelables en totalité. Les impacts environnementaux pourrait être très conséquents selon les choix privilégiés.

*Article du journal Le monde – 7 juillet 2011 – Audrey Garric*

*En France, chaque salarié, dans une entreprise de 100 personnes, reçoit en moyenne 58 courriels par jour et en envoie 33. A raison d'une taille moyenne d'1 Mo — chiffre de base des calculs, probablement excessif — l'Ademe a calculé que ces envois d'emails dans le cadre professionnel génèrent chaque année des émissions de gaz à effet de serre effarantes : pas moins de 13,6 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> à l'échelle de l'entreprise de 100 personnes — soit environ 13 allers-retours Paris-New York — ou encore **136 kg équivalent CO<sub>2</sub> par salarié.***

*En cause, l'utilisation d'énergie engendrée par le fonctionnement des ordinateurs de l'émetteur et du destinataire du mail, la production de cet ordinateur et notamment de ses composants électroniques — puisque l'ACV, contrairement au bilan carbone, étudie l'impact environnemental intégral d'un élément — ainsi que le fonctionnement des data centers, qui stockent et traitent les données.*

#### 4.6 LIMITES SOCIALES DES SMART GRID

Le bon fonctionnement du système électrique intelligent de demain ne sera pas effectif sans une généralisation à l'échelle nationale et européenne et sans une implication des consommateurs.

Plusieurs réflexions peuvent supposer que la mise en application parfaite des systèmes écogérés par les smart-grid relève d'une utopie technologique, souvent d'ailleurs associée à la ville « smart city ».

En effet, plusieurs obstacles et limites sociales pourraient freiner la banalisation des smart-grid :

- **Pas de smart grid sans smart territoires**

Le principe des smart-grid reposant sur des outils informatiques communicants de dernière génération. Cela suppose des connexions fibre optique, courant porteur ou gprs de bonne qualité sur l'ensemble du territoire français et européen. Cela suppose également que les consommateurs (entreprises, ménages, etc) soient équipés de compteurs communicant comme c'est prévu avec Linky, mais aussi que les bâtiments soient équipés de domotique et d'appareils électriques écoconçus et communicants.



Ces critères d'éligibilité au nouveau système électrique intelligent risque de creuser encore l'écart entre les régions européennes, entre les espaces urbains et les espaces ruraux et entre les « pouvoirs d'achat ».

- **Pas de « smart grid » sans « smart citoyens »**

Les consommateurs doivent devenir des consom'acteurs selon les différentes définitions des « smart-grid ». On imagine souvent un scénario où le ménage suit ses consommations grâce à son « smart-phone » pour ajuster le lancement de sa machine à laver aux heures creuses afin de délester le réseau. De la même façon, sa voiture électrique innovante servira de stockage d'électricité pour RTE lorsqu'elle est au garage afin de lisser la production. Mais ces images publicitaires qui mettent en avant le smart citoyen vivant dans une smart city ne sont pas représentatives de la réalité actuelle, ni même de l'avenir à court/moyen termes. Nous pouvons aisément supposer que ce changement de statut du consommateur n'interviendra pas naturellement.

Cela supposera des campagnes d'information pédagogiques et la mise en place de mesures incitatives ou coercitives.

Par exemple, les opérateurs et gestionnaires de réseaux devront proposer des contrats de fourniture d'électricité comprenant l'ajustement ou l'effacement des consommations flexibles avec un coût de l'électricité corrélé à la période de consommation (heures pleines, heures intermédiaires ou heure creuse). Le consommateur proposant des solutions de stockage pourrait être rémunéré par le gestionnaire de réseau.

Ces nouveaux contrats seront-ils incitatifs économiquement ou obligatoire ? Quelles seront les droits d'usage des données générées par ces nouveaux réseaux ? Cette organisation sociétale sera construite au fur et à mesure par le législateur, les entreprises du secteur et la société civile.

# Synthèse

La déplétion des énergies fossiles, le changement climatique et les accidents nucléaires ont amené l'Europe et les sociétés industrielles à se pencher de plus en plus sérieusement sur les systèmes de maîtrise de la demande de l'énergie et le développement des énergies renouvelables. Une des solutions à l'étude pour optimiser ces deux derniers objectifs est de rendre les réseaux d'électricité (ou même de chaleur ou de gaz) intelligents à l'aide de programmes communiquant et grâce à une interconnexion des outils de production d'énergie, de consommation et de stockage. C'est ce concept des « smart-grid » qui nourrit beaucoup d'espoir.

Rappelons qu'à l'heure actuelle, ce sont les énergies fossiles qui sont hégémoniques sur toutes les autres. L'électricité est le sujet d'application essentiel des smartgrid, ce vecteur énergétique noble est pourtant au second plan des besoins en énergie globaux, avec 1/4 de la demande énergétique des français. Cela nous amène donc à nous interroger sur la réelle capacité des smart grid à apporter une réponse pertinente dans le cadre de la transition énergétique qui attend nos sociétés. Nous concluons que les « smart grids » pourraient alors offrir des marges de manœuvre d'écogestion substantielles s'ils sont pensés comme des outils d'optimisation de la MDE<sup>10</sup>, des énergies renouvelables et des systèmes de stockage et s'ils s'étendent aux réseaux de chaleur et de froid ou au réseau de gaz<sup>11</sup>.

En effet, l'électricité est un vecteur énergétique noble, mais on ne sait pas la stocker à grande échelle. Elle est donc bien moins pratique à valoriser que le pétrole, le charbon, l'uranium ou même le gaz.

Des solutions de stockage de l'électricité existent. Aujourd'hui les solutions les plus courantes sont les retenues d'eau, soit à partir de barrages hydroélectriques, soit à partir de stations de transfert d'énergie par pompage. Il existe d'autres technologies (stockage d'énergie par air comprimé, batteries, méthanation) mais elles ne sont pas généralisées car leur technologie est encore immature ou trop coûteuse. Cependant, ces technologies sont à prendre en compte sérieusement dans les perspectives d'avenir.

Par ailleurs, les énergies renouvelables sont considérées comme des énergies de flux car elles se régénèrent en permanence. Il est donc plus difficile d'en faire des réserves de grande quantité.

On constatera que les énergies les plus soumises à des fluctuations sont l'éolien, le photovoltaïque, les énergies de la houle et des courants marins et l'hydraulique au fil de l'eau. Les autres (biomasse, géothermie, hydraulique de retenue, solaire thermique) sont de nature stockable ou continue. Malgré cette nature variable, les énergies du vent, du soleil et de l'hydraulique peuvent s'avérer assez complémentaires.

De fait, l'équilibre entre les moyens de production d'électricité et la demande des consommateurs devient de plus en plus fragile avec l'introduction d'énergies de flux, l'imprévisibilité des nouvelles consommations et compte-tenu du caractère peu flexible de la production électronucléaire.

Face à la nécessité d'accroître la part des énergies de flux dans le mix électrique français (ou Limousin) malgré les contraintes qui les accompagne, des solutions concrètes sont imaginées pour inverser la

<sup>10</sup> MDE : Maîtrise de la Demande de L'Energie ou de l'Electricité

<sup>11</sup> Notre analyse se limite toutefois aux systèmes électriques.

tendance actuelle et permettre d'adapter l'offre à la demande : qualité de la prévision de la demande, qualité de la prévision des ressources de flux, maîtrise et organisation de la consommation à la demande, stockage de l'électricité.

Les promoteurs des smart-grid les présentent comme l'intelligence de cette architecture menant vers une éco-gestion du système électrique.

Les réseaux intelligents doivent donc permettre de :

- Distribuer l'énergie avec sécurité et fiabilité
- Mutualiser les productions décentralisées
- Adapter les moyens de productions à la prévision météorologique
- Adapter les moyens de production à la prévision de la demande et à la demande réelle
- Rediriger le surplus d'électricité vers les systèmes de stockage
- Adapter la consommation d'électricité à la production

Les smart-grid sont, selon nous, une réponse aux risques de surtension et de coupure du réseau électrique liées à l'augmentation de la part des énergies intermittentes et décentralisées dans le mix énergétique et à l'arrivée de nouvelles consommations d'électricité comme la recharge de véhicules électriques. Ils ont aussi la vocation de limiter les pertes en surproduction et les pertes en ligne, participant ainsi à l'efficacité énergétique.

Grâce à la mise en place de réseaux de communication (fibre optique, GPRS, CPL, etc.), et d'information (capteurs, compteurs linky, etc), les éléments composant le système électrique - moyens de productions, postes de transformation, consommateurs - sont reliés les uns aux autres. Ainsi, à l'aide d'outils informatiques et d'organes de manœuvre, un centre de gestion peut, de façon manuelle ou automatisée, contrôler, ordonner et ajuster l'offre et la demande pour veiller à l'équilibre entre les deux.

L'ajustement de l'offre peut se faire par :

- la mise en route ou l'effacement de centrales de production en fonction des prévisions de demande et des prévisions de production des énergies intermittentes,
- le stockage du surplus d'électricité produite,
- l'achat d'électricité à l'étranger.

L'ajustement de la demande se fait par :

- l'effacement des consommations aux heures de pointe pour les reporter aux heures creuses pour des usages flexibles (ex: lave-linge, lave-vaisselle, arrêt ou baisse du chauffage, etc)
- la programmation des périodes de consommation en fonction des pics de production des énergies intermittentes, pour certains usages flexibles comme la recharge de batteries ou d'accumulateurs (ex : véhicules électriques, des convecteurs à accumulateurs, etc), de chauffe-eau ou de procédés industriels spécifiques.

L'évolution du paysage énergétique français lié à l'introduction des smart-grid ne peut être imaginée sans considérer l'évolution d'un système complet. Cette évolution peut être résumée par la

transformation du système actuel « centralisé-tout nucléaire » vers un système « décentralisé-énergies locales-microgrid-stockage ».

Les solutions et avantages des smart-grid et du système électrique qui les accompagne doivent être relativisés et questionnés du point de vue environnemental :

- L'analyse de cycle de vie des équipements
- L'analyse des effets environnementaux des systèmes de stockage (batteries, STEP, stockage d'air comprimé, etc)
- Les effets environnements des énergies renouvelables
- La consommation d'énergie des systèmes communicants : la technologie de l'information nécessite des serveurs de stockage des informations très gourmands en énergie
- Le développement de l'usage électrique pour des applications pouvant être remplies par d'autres vecteurs énergétiques (chaleur, mobilité).

Par exemple, le remplacement du parc automobile français par des véhicules individuels électrique demanderait une démultiplication des capacités de production. Cette capacité ne pourrait semble-t-il pas être fournie par des énergies renouvelables en totalité. Les impacts environnementaux pourrait être très conséquents selon les choix privilégiés.

Enfin, plusieurs obstacles et limites sociales pourraient freiner la banalisation des smart-grid.

Il n'y aura pas de smart grid sans smart territoires. Le principe des smart-grid reposant sur des outils informatiques communicants de dernière génération. Cela suppose des connexions fibre optique, courant porteur ou gprs de bonne qualité sur l'ensemble du territoire français et européen. Cela suppose également que les consommateurs (entreprises, ménages, etc) soient équipés de compteurs communicant comme c'est prévu avec Linky, mais aussi que les bâtiments soient équipés de domotique et d'appareils électriques écoconçus et communicants.

Ces critères d'elligibilité au nouveau système électrique intelligent risque de creuser encore l'écart entre les régions européennes, entre les espaces urbains et les espaces ruraux et entre les « pouvoirs d'achat ».

Il n'y aura pas de « smart grid » sans « smart citoyens ». Les consommateurs doivent devenir des consom'acteurs, choisissant les meilleures périodes pour mettre en route leurs équipements, gérant des solutions de stockage ou de production d'énergie, etc. Cela ne passera que par des campagnes d'information pédagogiques et la mise en place de mesures incitatives ou coercitives.

# Annexe 1 : Bilan 2012 de l'électricité et de l'énergie en France

## Électricité

Unité : GWh

2010		2011		2012 p	
Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation

## Approvisionnement

	H : 78237 N : 428519		H : 64129 N : 442383		H : 82013 N : 425371	
Production énergie primaire (P)						
Importations	19 475		9 501		12 213	
Exportations	-50 206		-65 914		-56 734	
Stocks (+=déstockage, -= stockage)						
Soutes maritimes internationales						
<b>Total disponibilités (D)</b>	<b>476 024</b>		<b>450 100</b>		<b>462 864</b>	

## Emplois

## Consommation de la branche énergie

Raffinage	-1 250	3 358	-1 119	3 760	-1 071	3 703
Production d'électricité thermique	-61 565		-55 125		-52 770	
Usages internes de la branche (1)		22 135 32 244		15 868 34 110		11 163 35 063
Pertes et ajustement		31 953		30 335		30 755
<b>Total (A)</b>	<b>-62 815</b>	<b>89 690</b>	<b>-56 245</b>	<b>84 073</b>	<b>-53 841</b>	<b>80 685</b>

## Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie		10 464		11 155		10 625
Industrie		110 486		108 019		107 324
Résidentiel		161 609		153 045		159 134
Tertiaire		140 634		138 197		139 742
Agriculture		7 616		8 003		8 003
Transports (2)		12 224		12 113		12 407
<b>Total (B)</b>		<b>443 033</b>		<b>430 532</b>		<b>437 234</b>

## Consommation finale non énergétique

<b>Total (C)</b>						
------------------	--	--	--	--	--	--

## Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

<b>Total corrigé (A+B+C)</b>	<b>469 908</b>	<b>458 360</b>	<b>464 077</b>
<b>Dont corrections climatiques</b>	<b>-6 116</b>	<b>8 260</b>	<b>1 213</b>
<b>Indice de rigueur climatique</b>	<b>1,13</b>	<b>0,81</b>	<b>0,97</b>

H : Hydraulique, éolien, photovoltaïque N : Nucléaire.

(1) Dans la branche énergie, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(2) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SoeS, bilan de l'énergie 2012

## Bilan de l'énergie 2012

Unité : Mtep

Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)	Total
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consommation		

## Approvisionnement

Production énergie primaire (P)	0,12		0,81	0,29	0,45		H : 7,05 N : 110,85		16,75	136,32
Imports	9,85	0,69	56,82	43,01	38,95	-	1,05		0,44	150,80
Exports	-0,11	-0,05	-0,18	-20,47	-2,14	-	-4,88		-0,12	-27,95
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	+0,51	-0,14	-0,41	+0,87	+0,76	-			-	+1,59
Soutes maritimes internationales				-2,32						-2,32
<b>Total disponibilités (D)</b>	<b>10,86</b>		<b>57,04</b>	<b>21,38</b>	<b>38,03</b>	<b>-</b>	<b>114,08</b>		<b>17,07</b>	<b>258,45</b>

<b>Indépendance énergétique (P/D)</b>	<b>1,1%</b>		<b>1,4%</b>		<b>1,2%</b>		<b>103,4%</b>		<b>98,1%</b>	<b>52,7%</b>
---------------------------------------	-------------	--	-------------	--	-------------	--	---------------	--	--------------	--------------

## Emplois

## Consommation de la branche énergie

Raffinage			56,50	-53,18	0,56		-0,09	0,32		4,11
Production d'électricité thermique	4,32	-		0,72	3,64	0,59	-4,54		1,85	6,58
Usages internes de la branche (3)	2,79	-2,21	-	-	0,36	-0,19		0,96 3,02	0,41	5,13
Pertes et ajustement	0,58	0,09	0,54	-1,03	0,05	-0,02		76,92	0,06	77,19
<b>Total (A)</b>	<b>7,69</b>	<b>-2,12</b>	<b>57,04</b>	<b>-53,49</b>	<b>4,61</b>	<b>0,37</b>	<b>-4,63</b>	<b>81,21</b>	<b>2,32</b>	<b>93,00</b>

-0,49

## Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (4)	1,41	2,24		0,02	0,50	0,64 -1,02		0,91	-	4,71
Industrie	0,99	0,28		5,11	9,63	-		9,23	2,18	27,42
Résidentiel	0,16	0,03		6,82	16,21	-		13,69	9,14	46,04
Tertiaire	0,11	-		3,91	5,74	-		12,02	0,83	22,62
Agriculture	-	-		3,45	0,23	-		0,69	0,06	4,42
Transports (5)	-	-		45,30	0,09	-		1,07	2,72	49,18
<b>Total (B)</b>	<b>2,68</b>	<b>2,54</b>		<b>64,60</b>	<b>32,41</b>	<b>-0,37</b>		<b>37,60</b>	<b>14,93</b>	<b>154,39</b>

## Consommation finale non énergétique

<b>Total (C)</b>	<b>-</b>	<b>0,07</b>		<b>10,44</b>	<b>1,47</b>	<b>-</b>				<b>11,99</b>
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--	--------------

## Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

<b>Total corrigé (A + B + C)</b>	<b>10,87</b>		<b>78,59</b>		<b>38,49</b>		<b>114,18</b>		<b>17,24</b>	<b>259,38</b>
<b>Dont corrections climatiques</b>	<b>0,01</b>		<b>0,18</b>		<b>0,46</b>		<b>0,10</b>		<b>0,17</b>	<b>0,92</b>

Indice de rigueur climatique = 0,973.

H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de ferrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.



## Annexe 2 : Questionnaires

Dans le cadre de ce rapport, des questionnaires en ligne ont été adressés au Ministère de l'environnement à Saint-Pierre-et-Miquelon (Jean-Pierre Claireaux : 'Jean-pierre.Claireaux@developpement-durable.gouv.fr'), à l'ADEME de Polynésie Française (François Maurice : 'ademe.polynesie@ademe.fr' et 'francois.maurice@polynesie-francaise.pref.gouv.fr'), à RTE (chargé de mission Jean Charvet : 'jean.charvet@gmail.com'), à QUADRAN – producteur d'énergies renouvelables (Dominique Lefebvre, chargé de mission RetD : d.lefebvre@quadran.fr'), au Conseil Général de Mayotte (Ibrahim Bahedja, chargé de mission énergie : ibrahim.bahedja@cg976.fr) et à Nice Grid.

Adresse des questionnaires en ligne :

<https://docs.google.com/forms/d/1TqCSeY2hAPmhHdUUUVBtHRUfWdqlvtLAm1IHqqXjUrY/viewform>

[https://docs.google.com/forms/d/1Vm8m0ADBXR8U3b6XADMtQHHPtIO\\_B28qiifwiYBQ-E/viewform](https://docs.google.com/forms/d/1Vm8m0ADBXR8U3b6XADMtQHHPtIO_B28qiifwiYBQ-E/viewform)

## **Questionnaire pour les gestionnaires de réseau en milieu insulaire**

Nom : ..... Mission : .....

Quelle est la consommation d'électricité du territoire en kWh ?

.....

Quels sont les usages principaux de l'électricité sur votre territoire (électricité spécifique, éclairage, froid, chaud, process industriels, etc) ?

.....  
.....

Quels sont les moyens de production : en base, en saisonnier, en heure de pointe ?

.....  
.....  
.....

Quelle est la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité ? Quelle est la répartition par ENR ?

.....  
.....  
.....

Le développement des énergies renouvelables pose-t-il des difficultés sur le réseau ?

.....  
.....

Des solutions de stockage de l'électricité ont-elles été mises en œuvre ?

.....  
.....

Des solutions de Maîtrise de la Demande de l'Electricité ou d'effacement ont-elles été mises en œuvre ?

.....  
.....

En quoi les « smart-grids » peuvent améliorer la situation du réseau électrique ?

.....  
.....  
.....  
.....

Est-il programmé d'équiper les consommateurs de compteurs communicants ? Y'a-t-il des difficultés à son développement sur l'île ?

.....  
.....  
.....  
.....

## **Questionnaire pour les chargés de mission réseau – RetD**

Nom : ..... Mission : .....

Quelles sont, selon vous, les principales difficultés d'adaptation du réseau au développement des énergies renouvelables ?

.....  
.....  
.....  
.....

Quelles sont, selon vous, les principales solutions de stockage de l'électricité pertinentes à moyen terme ? Quelles places vont-elles occuper dans le système électrique français d'ici 2030 ?

.....  
.....  
.....  
.....

Quelle est votre définition des « smart-grids » ?

.....  
.....  
.....  
.....

En quoi les « smart-grids » peuvent améliorer la situation du réseau électrique ?

.....  
.....  
.....  
.....

Quelles sont, selon vous, les perspectives de développement des smart-grid en France ?

.....  
.....  
.....  
.....