

# LIVRE BLANC

Des industriels au service de  
l'intelligence énergétique

## RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS

Des propositions concrètes  
au service de la nouvelle organisation  
du marché énergétique

- VERSION DÉTAILLÉE -



*« Ils ne savaient pas  
que c'était impossible...  
alors ils l'ont fait. »*

*Mark Twain*

*Le présent document, rédigé par le Gimélec, est la propriété du Gimélec.  
Il est protégé par le droit d'auteur. Il ne peut être reproduit, modifié, diffusé,  
exploité sans l'autorisation écrite du propriétaire.*



# SYNTHÈSE

Ce livre blanc consacre le développement des réseaux d'électricité intelligents comme un axe majeur des réponses à apporter aux enjeux économiques, écologiques et sociétaux liés à notre politique énergétique.

Les entreprises du Gimélec ont formalisé dans ce livre blanc les enjeux associés au développement des réseaux électriques intelligents, ainsi que la palette des solutions technologiques et des mesures de politiques publiques susceptibles de répondre à ces enjeux, de manière opérationnelle.

Les propositions du livre blanc suivent un fil conducteur, la gestion énergétique active au service de la Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE) pour tous. Ce concept peut se résumer en 4 points :

1. **Les technologies exposées sont disponibles** et en capacité de répondre immédiatement à des objectifs de réduction majeure des consommations énergétiques et d'émissions de CO<sub>2</sub>.
2. **Les investissements dans la mise en œuvre de ces technologies ont une efficacité économique des plus compétitives** à condition de disposer d'un environnement juridique, fiscal et réglementaire tourné vers l'intégration des nouvelles technologies de l'énergie et vers le changement des comportements.
3. **Les domaines d'investissement visés prioritairement** – véhicule et transport électrique, énergies renouvelables, industrie à haute performance énergétique et environnementale, intelligence des réseaux et des bâtiments – **sont porteurs des métiers et des emplois de demain, tout en construisant les fondations de l'écologie industrielle.**
4. **Les propositions d'actions, de mesures et d'investissement portées dans le livre blanc doivent être comprises comme un bloc de « croissance durable »** dont l'éventuel émiettement ou parcellisation dans des politiques sectorielles isolées les unes par rapport aux autres réduirait significativement les bénéfices escomptés en matière d'amélioration climatique.

Par cette contribution au débat public, les entreprises du Gimélec sont désireuses de **maintenir et de renforcer l'excellence de l'industrie électrique française au niveau mondial** grâce à un partenariat renforcé entre les entreprises privées industrielles et l'Etat français autour d'un XXI<sup>ème</sup> siècle qui sera électrique et écologique. Pour cela, il est important de souligner combien le mariage de l'intelligence énergétique et du numérique est nécessaire à la révolution industrielle que représentent les réseaux électriques intelligents.

Le succès de cette révolution industrielle en marche repose tant sur les synergies entre les industries électrique et numérique que sur une modélisation en France de l'ensemble de ces nouvelles fonctionnalités susceptible de générer des succès à l'exportation.



## Préambule

Les entreprises du Gimélec (Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés) ont décidé de se positionner comme des acteurs leaders dans le domaine des réseaux électriques intelligents, dits *Smart Grids*. Dans un contexte d'évolution des besoins énergétiques au niveau mondial, leurs offres contribuent au développement de ces réseaux d'électricité intelligents et constituent, pour les principaux secteurs de l'économie, un axe majeur de la lutte contre le changement climatique.

Ces entreprises soutiennent les efforts engagés par les Pouvoirs Publics français pour faciliter le développement industriel des systèmes électriques intelligents et du stockage de l'énergie, notamment dans le cadre du « Comité Stratégique des Eco-Industries » (COSEI), dont la présidence est assurée par le Gimélec.

Ce livre blanc s'attache à présenter avec acuité les enjeux des réseaux électriques intelligents et à proposer des solutions concrètes et opérationnelles pour accélérer leur émergence et leur développement en France et dans l'Union Européenne.

Ce livre blanc s'inscrit dans le prolongement du livre blanc « l'Efficacité énergétique » du Gimélec et détaille le Livre Blanc sur les Réseaux Electriques Intelligents. Ces deux documents sont des composantes essentielles de ce que nous appelons l' « intelligence énergétique ».

## SOMMAIRE

Synthèse stratégique du livre blanc	5
<b>A. L'écosystème des réseaux électriques intelligents</b>	<b>9</b>
A.1. Une mutation nécessaire du réseau électrique	9
A.2. Un réseau électrique plus intelligent, une combinaison de trois systèmes	18
<b>B. Les objectifs économiques, environnementaux et sociétaux des réseaux électriques intelligents</b>	<b>22</b>
B.1. Les réseaux électriques intelligents : un marché mondial en cours de construction	22
B.2. Les bénéfices attendus de la mise en œuvre des réseaux électriques intelligents sont d'ordre environnemental, économique et sociétal	22
B.3. Les constructeurs et industriels du Gimélec, acteurs totalement mobilisés d'un nouveau marché pour un usage électrique innovant	27
<b>C. Les dix fonctions intégrées des réseaux électriques intelligents</b>	<b>28</b>
C.1. Production d'énergies conventionnelles et renouvelables	29
C.2. Qualité et efficacité du transport de l'énergie électrique	30
C.3. Protection, automatisation et contrôle des réseaux électriques	31
C.4. Gestion et pilotage global des systèmes électriques	32
C.5. Stockage distribué de l'électricité	34
C.6. Gestion et informatique des données	35
C.7. Systèmes de comptage communicant	36
C.8. Gestion active des bâtiments	37
C.9. Gestion du consommateur dans le secteur résidentiel	39
C.10. Intégration des véhicules électriques	41
C.11. Autres réseaux d'énergie	42
<b>D. Solutions techniques et architectures des systèmes d'information</b>	<b>44</b>
D.1. Comptage, mesure et équipement de contrôle	44
D.2. Systèmes de pilotage d'infrastructures	48
D.3. Pilotage de la demande	52
D.4. Infrastructures de télécommunication	53
D.5. Systèmes d'information	54
D.6. Solutions à base d'électronique de puissance	54
D.7. Architectures d'ensemble de systèmes et sous-systèmes	55
<b>E. Opportunités pour une filière industrielle française du <i>Smart Grid</i></b>	<b>57</b>
E.1. Une filière industrielle performante qui trouve des relais de croissance	57
E.2. Grands acteurs historiques et entreprises émergentes de la filière	59
E.3. Pôles de compétences, démonstrateurs et projets de recherche	60
<b>F. Feuille de route</b>	<b>63</b>
F.1. La normalisation internationale et les réseaux électriques intelligents	63
F.2. Les modifications réglementaires et les incitations pour développer les réseaux électriques intelligents en France	65

# A ■ L'écosystème des réseaux électriques intelligents

## A.1. Une mutation nécessaire du réseau électrique

Les réseaux électriques actuels sont inéluctablement destinés à connaître une profonde mutation dans les prochaines années. En effet, dans un contexte de développement d'énergies renouvelables intermittentes et probablement diffuses, de développement de nouveaux usages électriques et de nécessité d'optimiser l'efficacité des réseaux, il faudra continuer à assurer le meilleur équilibre possible entre la production et la consommation.

### A.1.1 Principes structurants d'un réseau électrique

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures qui assure l'acheminement de l'électricité depuis les lieux de production jusqu'au consommateur. Les premiers réseaux électriques ont été mis en place dès le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. Les grands principes d'un réseau électrique en vigueur à cette époque restent aujourd'hui d'actualité.

#### A.1.1.1 Nécessité d'équilibrer à tout instant production et consommation

L'électricité est très difficile à stocker. Il est donc nécessaire à tout instant d'équilibrer le réseau, en d'autres termes de s'assurer que la production (l'électricité injectée sur le réseau par les producteurs, c'est-à-dire l'offre d'électricité) est égale à la consommation (l'électricité soutirée sur le réseau par les consommateurs, c'est-à-dire la demande d'électricité). Si l'écart entre production et consommation augmente trop, le réseau subit des écarts de fréquence et de tension dommageables pour les équipements du réseau et ceux des consommateurs. Les conséquences peuvent aller jusqu'à la déconnexion de certaines branches du réseau (entraînant la coupure du courant chez certains consommateurs), voire l'incident généralisé (*blackout*). C'est ce type d'incident qui s'est produit le 4 novembre 2006, lorsque des problèmes survenus sur le réseau allemand ont provoqué, une rupture de plusieurs heures de l'alimentation de 15 millions d'Européens.

Pour préserver cet équilibre du réseau, il est nécessaire de prévoir au mieux la consommation et de disposer de capacités d'ajustement très réactives s'appuyant sur la mise en œuvre de moyens de production adéquats.

#### A.1.1.2 Gestion de la pointe électrique

La consommation d'électricité est éminemment variable. Cette variabilité est sensible à l'échelle d'une année, avec des consommations plus ou moins fortes selon les saisons. En France, où le chauffage électrique est très répandu, la « pointe saisonnière » a lieu en hiver. Dans les pays plus chauds, largement équipés en climatisation, la pointe saisonnière a plutôt

lieu en été. La consommation d'électricité varie également sensiblement à l'échelle d'une journée : en France, pendant l'hiver, la « pointe journalière » se situe aux alentours de 19 heures.

L'équilibrage du réseau est particulièrement crucial à la « pointe maximale », c'est-à-dire lorsque la demande atteint son maximum durant les jours de très grande consommation. C'est la valeur de cette pointe qui dimensionne le réseau d'électricité ; pour assurer la sécurité du réseau, des capacités de production complémentaires doivent être dédiées à la couverture de cette pointe.

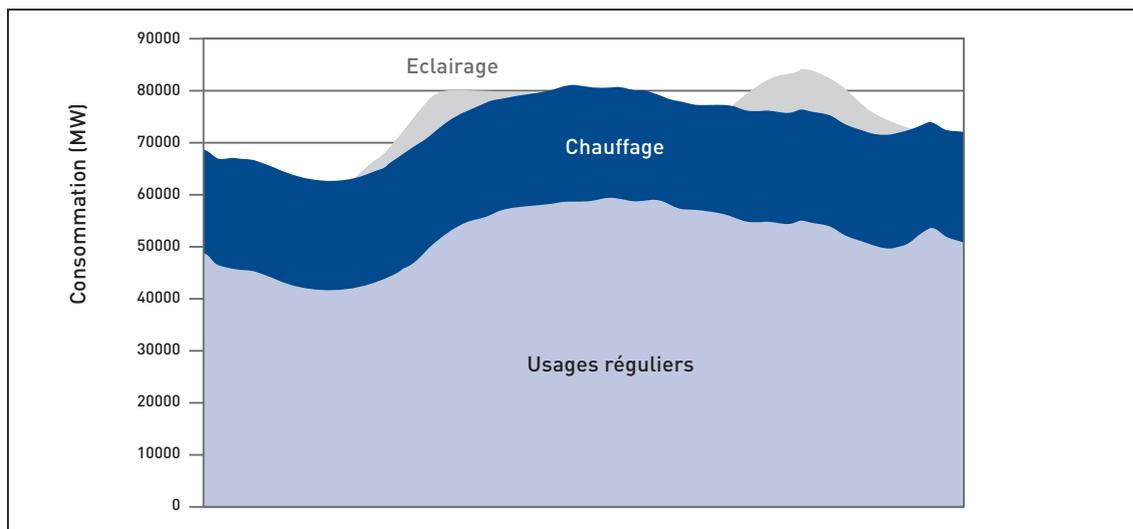


Fig 1 : Profil de consommation en puissance (MW) au cours d'une journée d'hiver

(Source RTE)

Les capacités de production de base sont celles qui fonctionnent la majorité du temps. Nécessitant des investissements lourds, elles ont un coût d'exploitation relativement faible. En France, la majorité de la production électrique de base est assurée par les centrales nucléaires : en 2009<sup>1</sup>, celles-ci ont fourni 75% de l'électricité produite dans le pays. Face à une pointe, il faut démarrer des moyens de production auxiliaires très réactifs. Puisque ces derniers ne sont utilisés qu'une partie de leur temps de disponibilité, on privilégie des moyens nécessitant de faibles coûts d'investissement, quitte à ce que leur coût d'exploitation soit plus élevé. Cela explique pourquoi l'électricité produite en pointe coûte plus cher que celle produite en base<sup>2</sup>.

Le graphique ci-après, qui détaille la puissance appelée par type de moyen de production au cours de l'hiver 2008-2009, met en évidence la sollicitation très variable du parc installé en fonction de la filière :

- le recours au parc nucléaire en base avec modulation saisonnière ;
- l'utilisation du parc hydraulique à la fois en base (installations au fil de l'eau) et en pointe (lacs et stations de transfert d'énergie par pompage - STEP) ;
- l'exploitation des filières charbon et gaz en période de pointe ;
- le recours à la filière fioul uniquement en extrême pointe.

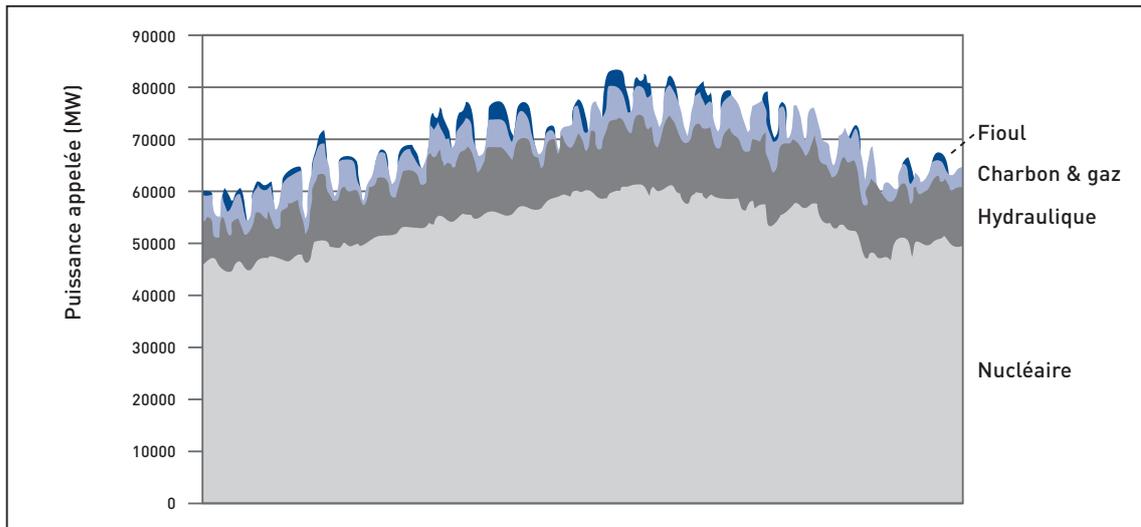


Fig.2 : Puissance appelée par type de moyen de production au cours de l'hiver 2008-2009

(Source UFE)

Par ailleurs, le réseau est également soumis à des phénomènes de pointe locale indépendants de la pointe synchrone nationale : une pointe peut être observée sur le réseau de distribution et conduire à une défaillance sans pour autant qu'il y ait un déséquilibre entre la production et la consommation au niveau national. Des coupures peuvent donc être dues à des défaillances du réseau, c'est-à-dire son incapacité à acheminer la production disponible au point de consommation à cause de congestions, pertes ou pannes, alors que l'équilibre global du réseau est assuré. Les coupures d'électricité de ces dernières années en France métropolitaine ont eu très majoritairement pour origine une défaillance du réseau.

Au delà de la sécurité du réseau, la gestion de la pointe revêt un enjeu environnemental. En effet, les différents types de production influent sur la nature plus ou moins carbonée de l'électricité produite : la production hydroélectrique ou à base d'autres énergies renouvelables ne rejette pas de  $\text{CO}_2$ , tandis qu'on évalue à 0,96 tonne la quantité de  $\text{CO}_2$  rejetée pour la production d'un Mégawattheure<sup>3</sup> avec une centrale à charbon<sup>4</sup>. Faisant largement appel – en France notamment – aux centrales thermiques à énergie fossiles et génératrices de  $\text{CO}_2$ , l'électricité produite en pointe est plus carbonée que celle produite en base<sup>5</sup>.

### A.1.2 Un réseau électrique est le fruit de l'interaction entre des acteurs variés

Plusieurs grands types d'acteurs sont amenés à interagir au sein d'un réseau électrique. Les **producteurs** assurent la génération de courant électrique grâce à des centrales de production d'électricité. Lorsque ces centrales sont de type nucléaire ou thermique à énergies fossiles (fioul, charbon, gaz), elles constituent des sources d'énergie non renouvelables, dans le sens où la consommation de ces énergies est plus rapide que leur renouvellement naturel. A contrario, lorsque ces centrales sont de type hydro-électrique, solaire, éolienne, ou encore fondées sur la biomasse, ces sources d'énergie sont considérées comme renouvelables. L'activité de production d'électricité est ouverte à la concurrence en Union Européenne. En France, l'acteur historique et détenteur de la majeure partie des moyens de production est Électricité de France (EDF). D'autres producteurs lui font concurrence, parmi lesquels POWEO, Direct Energie ou

encore Gaz de France. Enfin, de nouvelles catégories de producteurs sont récemment apparues à l'occasion de la mise en place des politiques d'encouragement et de soutien aux énergies renouvelables.

Le transport sur de longues distances de grandes quantités d'électricité sur les lignes à haute et très haute tension<sup>6</sup> est assuré par le **gestionnaire du réseau de transport**. Celui-ci est responsable de l'équilibre général du réseau, c'est-à-dire l'équilibre à tout instant entre l'offre et la demande d'électricité. En France, la responsabilité de cette activité (considérée comme un monopole naturel) incombe à Réseau de Transport d'Electricité (RTE).

Le raccordement et la distribution au quotidien du courant électrique auprès de l'ensemble des consommateurs sont assurés par le **gestionnaire du réseau de distribution**. En France, cette activité, également considérée comme un monopole naturel, est la responsabilité d'Electricité Réseau Distribution France (ERDF).

Les **fournisseurs** sont les entreprises responsables de la commercialisation et de la facturation de l'électricité auprès des consommateurs. Dans cette activité ouverte à la concurrence en France et en Union Européenne, nous retrouvons EDF, POWEO, Direct Energie et Gaz de France.

Au bout de la chaîne, les **consommateurs** d'électricité peuvent être de nature très différente, depuis les très gros consommateurs industriels jusqu'aux clients résidentiels, en passant par les consommateurs du secteur tertiaire.

L'ensemble de ces acteurs doit collaborer pour assurer la fourniture à tout instant d'une électricité de bonne qualité. Une entité est chargée de jouer le rôle de **régulateur** du marché de l'électricité et de veiller à son bon fonctionnement. En France, il s'agit de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), autorité administrative indépendante également en charge du marché du gaz.

Cette description des différents acteurs d'un réseau d'électricité s'inscrit dans un contexte européen. En effet, les réseaux nationaux européens sont tous interconnectés et les échanges entre eux sont importants, sous la responsabilité du gestionnaire du réseau de transport.

Par ailleurs, la situation actuelle est le fruit de la déréglementation – toujours en cours – des marchés européens de l'électricité. La Directive Européenne Electricité de 1996 sur la libéralisation du marché Intérieur de l'énergie a transformé la chaîne de valeur en créant de nouveaux maillons pour réduire les situations de monopole et en demandant à chaque Etat membre de mettre en place une autorité indépendante de régulation. Adopté par le Parlement Européen le 22 avril 2009, le troisième Paquet Energie poursuit cette dynamique.

### A.1.3 Le réseau électrique français en chiffres<sup>7</sup>

En 2009, le réseau électrique français a produit 518,8 TWh, l'origine de cette production étant répartie de la façon suivante :

- 390 TWh de production nucléaire (75,2%)
- 54,8 TWh de production thermique à combustible fossile (10,6%)
- 61,8 TWh de production hydroélectrique (11,9%)
- 7,8 TWh de production éolienne (1,5%)
- 4,4 TWh de production issue d'autres énergies renouvelables (0,8%)

Dans cette même année, les consommateurs français ont consommé 486 TWh. La France a exporté 68,2 TWh d'électricité auprès des pays transfrontaliers, mais a aussi importé ponctuellement de l'électricité (57 journées d'importation contractuelle nette pour un total de 43,5 TWh) afin de répondre à ses besoins de pointe. Le solde de la France en 2009 est donc exportateur net (24,7 TWh), mais les quantités d'électricité exportées diminuent chaque année (48 TWh en 2008 et 57 TWh en 2007). Le réseau électrique français possède donc des capacités de base qui lui permettent d'être exportateur. Mais ces capacités sont limitées en pointe, ce qui oblige à importer de l'électricité de façon ponctuelle pour assurer l'équilibre entre production et consommation.

La puissance installée en France, c'est-à-dire la capacité de production théorique maximale à un instant donné, est d'environ 116 GW. Pour autant, la disponibilité de cette capacité de production n'est pas égale à 100% : les pannes, les opérations de maintenance et d'entretien, les rénovations, l'absence de vent ou d'ensoleillement pour les énergies renouvelables font que la puissance installée réellement disponible à un instant donné est largement inférieure. La consommation à la pointe a dépassé trois maxima historiques les 5, 6 et 7 janvier 2009. Un maximum a été enregistré le 15 décembre 2010 à 19 heures avec une demande de 96,710 GW.

Le réseau électrique français est constitué de plus d'1,3 million de kilomètres de câbles. Le réseau de transport (haute et très haute tension) représente environ 100.000 km et celui de distribution environ 1,2 million de km.

#### A.1.4 Vers une demande d'électricité plus importante et plus volatile

Après une longue période de hausse régulière, la consommation totale d'électricité en France a baissé de 1,6% en 2009. En cause, la crise économique et la moindre activité des industries (consommation en baisse de 8,6% pour la grande industrie et de 3% pour les PME-PMI). Néanmoins, la baisse s'est atténuée en fin d'année et la consommation des ménages et des activités tertiaires a augmenté de 2%<sup>8</sup>. Les prévisions anticipent une augmentation tendancielle de la consommation d'électricité en France. A l'échelle mondiale, l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) prévoit un doublement de la demande d'électricité d'ici 2020. En Europe, la consommation électrique devrait augmenter de 40% entre 2003 et 2030.

Fig 3 : Prévion d'évolution de la consommation d'électricité en France d'ici 2025 selon divers scénarios

Source RTE

Cette tendance à la hausse est liée à la croissance globale de l'économie et, plus particulièrement, à la croissance de l'économie tertiaire et de l'économie numérique. Ces économies s'appuient sur le développement de technologies particulièrement gourmandes en électricité et très sensibles à la sécurité du réseau électrique (Datacenters, serveurs, calculateurs, infrastructures de télécommunication).

La tendance s'explique également par le développement de nouveaux usages électriques et le transfert d'usages depuis une source d'énergie non électrique vers l'électrique. Le véhicule électrique, dont le développement est l'occasion de transformer la consommation d'énergie issue du pétrole en une consommation électrique, représente le cas le plus emblématique de ces transferts d'usage.

Le réseau électrique devra donc être capable de transporter et d'amener au consommateur des quantités croissantes d'énergie électrique.

Au delà de la hausse de la quantité globale d'électricité consommée, l'autre tendance lourde de la demande est sa volatilité de plus en plus grande : les variations de la puissance électrique appelée par rapport à la moyenne deviennent de plus en plus importantes. Depuis une dizaine d'années, la puissance appelée en période de pointe de consommation croît plus rapidement que la consommation. Ainsi, entre 1997 et 2008, la différence entre la puissance moyenne et la puissance maximale appelées en hiver est passée de 14 GW à 19 GW. On constate donc que la progression des niveaux de pointe n'est plus corrélée et dépasse la progression de la consommation globale d'électricité.

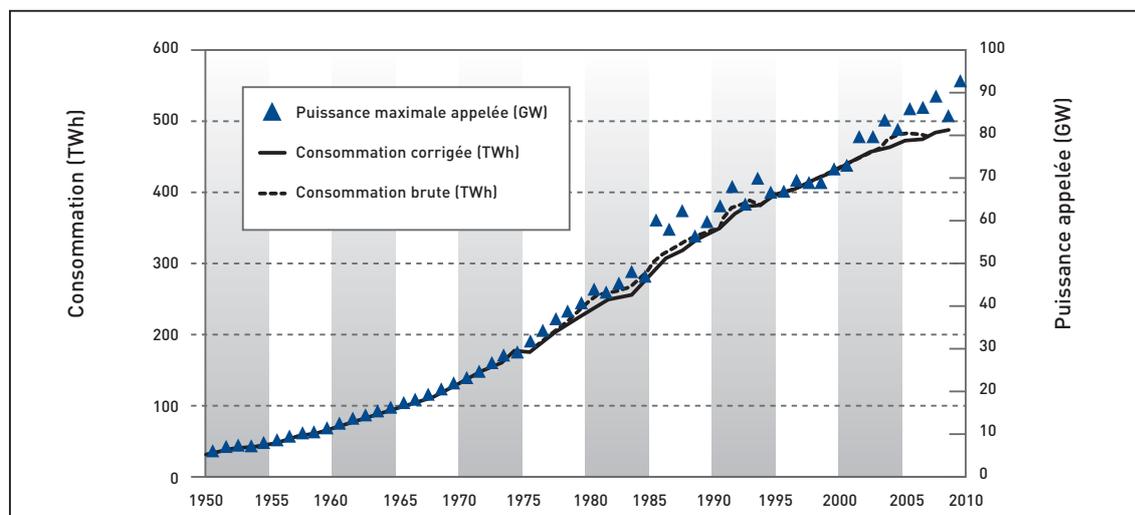


Fig 4

Les scénarios proposés par RTE illustrent clairement la hausse attendue des niveaux de pointe d'ici 2025 :

	2012/13	2014/15	2019/2020	2024/25
Pointe à température normale (GW)	86,9	88,2	91,0	94,9
Pointe « à une chance sur dix » (GW)	102,0	103,8	107,7	112,0

Fig 5 : Prévisions de puissance de pointe d'ici l'hiver 2024/2025 dans le scénario de « référence » du bilan prévisionnel 2009 de l'équilibre offre/demande

Source RTE

Cette plus grande volatilité de la demande s'explique notamment par le développement du chauffage électrique en France, qui rend le pays très sensible aux variations de température : on estime aujourd'hui qu'une baisse de 1°C en hiver entraîne une demande électrique supplémentaire de 2100 MW, soit l'équivalent de 2 fois la consommation d'une ville comme Marseille. L'impact du chauffage électrique et de son développement (les trois-quarts des installations neuves sont équipés de chauffage électrique) associée à l'avènement des nouveaux usages électriques, dont on ne connaît pas encore précisément l'impact sur la demande<sup>9</sup>, risquent d'accentuer cette sensibilité, qui devrait atteindre 2 500 MW par °C en 2025 à cadre inchangé. Cette plus grande volatilité de la demande exige donc de disposer d'un réseau plus flexible et plus réactif, pour assurer à tout instant – et en particulier en pointe – l'équilibre entre l'offre et la demande.

### A.1.5 Vers une production d'électricité plus erratique et plus décentralisée

En 2009, la production d'électricité issue d'énergies renouvelables hors hydraulique (éolien, photovoltaïque, biomasse) a atteint 12,2 TWh, soit environ 2,3% de la production totale française. Grâce aux mécanismes de soutien mis en œuvre depuis quelques années en France, c'est le type de production qui se développe le plus actuellement (+ 35% d'électricité produite par l'éolien en 2009 par rapport à 2008) et dont les perspectives sont les plus grandes.

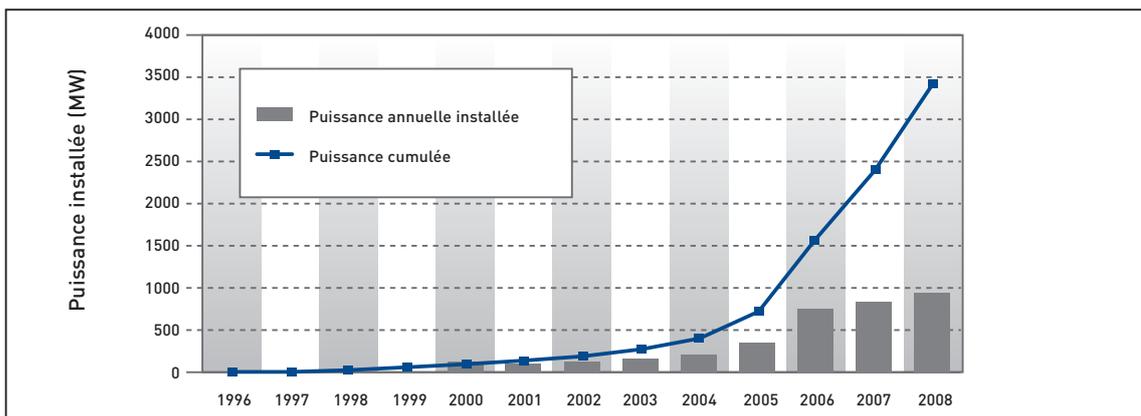


Fig. 5 : Evolution de la puissance éolienne installée en France, en MW

Source RTE

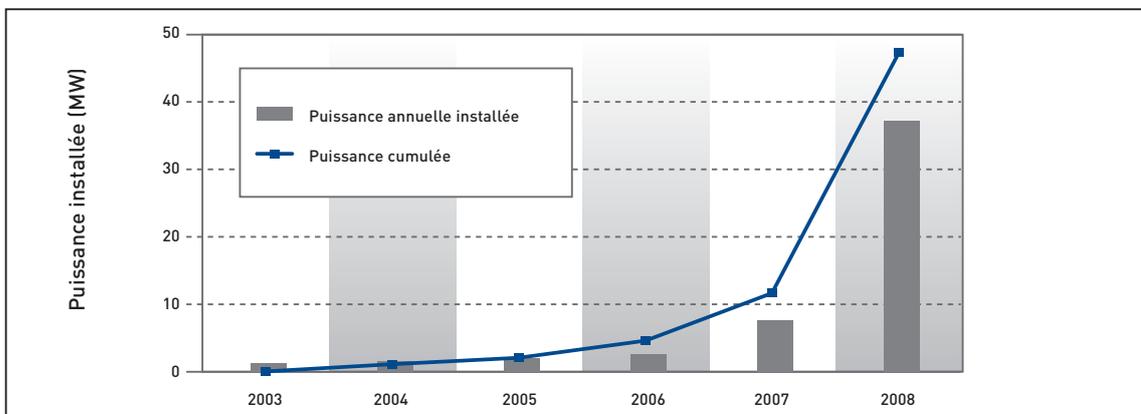


Fig. 6 : Evolution de la puissance photovoltaïque installée en France, en MW

Source RTE

Les nouvelles capacités de production fondées sur les énergies renouvelables participent résolument à l'augmentation de la puissance installée en France. Ainsi, parmi les 2600 MW de capacité supplémentaire installée en France en 2009, 1070 MW sont des capacités de production fondées sur l'éolien<sup>10</sup>.

En intégrant de plus en plus de sources de production fondées sur des énergies renouvelables, la production d'électricité en France va progressivement changer de nature. La forte progression de ce type de production électrique répond au fort souhait sociétal d'accélérer leur développement. Néanmoins, ces sources d'énergie possèdent des caractéristiques tout à fait particulières qu'il s'agit de bien prendre en compte pour envisager d'en faire des sources importantes de production électrique.

Il s'agit tout d'abord de sources d'énergie intermittentes et assez difficilement prévisibles, puisque dépendantes de contraintes météorologiques très variables : le ratio de disponibilité des ressources éoliennes et solaires dépend fortement de la vitesse du vent et des radiations solaires, qui varient d'une minute à l'autre. A contrario, les énergies thermique ou hydraulique dépendent de la situation pluviométrique ou de la température ambiante, dont la variabilité s'étale sur plusieurs jours. Pour assurer l'équilibre du réseau, il faudra pouvoir piloter finement la production électrique de ces sources d'énergie et disposer de capacités d'équilibrage du réseau pouvant être mises très rapidement à profit en cas de baisse (nuage, baisse de l'intensité du vent) de la production solaire et/ou éolienne.

Par ailleurs se pose la question de la nature de ces centres de production : le réseau d'électricité a été historiquement conçu pour transmettre de façon unidirectionnelle du courant électrique produit de manière centralisée, dans un nombre restreint de grandes centrales de production. Si des fermes éoliennes ou des centrales photovoltaïques disposent de capacités de production supérieures à 100 MW, le développement d'une production décentralisée, de petite capacité et localisée à proximité des lieux de consommation va nécessiter pour le réseau de gérer des flux bidirectionnels et de les intégrer dans l'optimisation de son équilibre. Représentant aujourd'hui environ 14%<sup>11</sup> de la production française, cette production décentralisée devrait largement augmenter. La France vise en effet un objectif de 23% d'énergies renouvelables dans sa consommation énergétique finale brute d'ici 2020 et l'Etat soutient cet objectif par une politique volontariste avec le mécanisme d'obligation d'achat.

### A.1.6 Un équilibre de plus en plus complexe à atteindre

Les évolutions que connaissent l'offre et la demande d'électricité vont rendre leur ajustement plus complexe. Fini le réseau traditionnel où il s'agissait d'ajuster la production centralisée à la demande ; il s'agit désormais de plus en plus d'ajuster la production centralisée, la production décentralisée, la production issue de moyens de stockage décentralisés et enfin les éventuelles importations et exportations à une demande rendue plus flexible et pilotable.

Cet ajustement devient d'autant plus difficile que l'offre d'énergies renouvelables ne concorde généralement pas avec la demande, ni sur une journée, ni sur une période temporelle. Les deux graphes ci-après illustrent cette non-concordance de l'offre éolienne (en gris) et de la demande (en bleu) mesurées à un poste source :

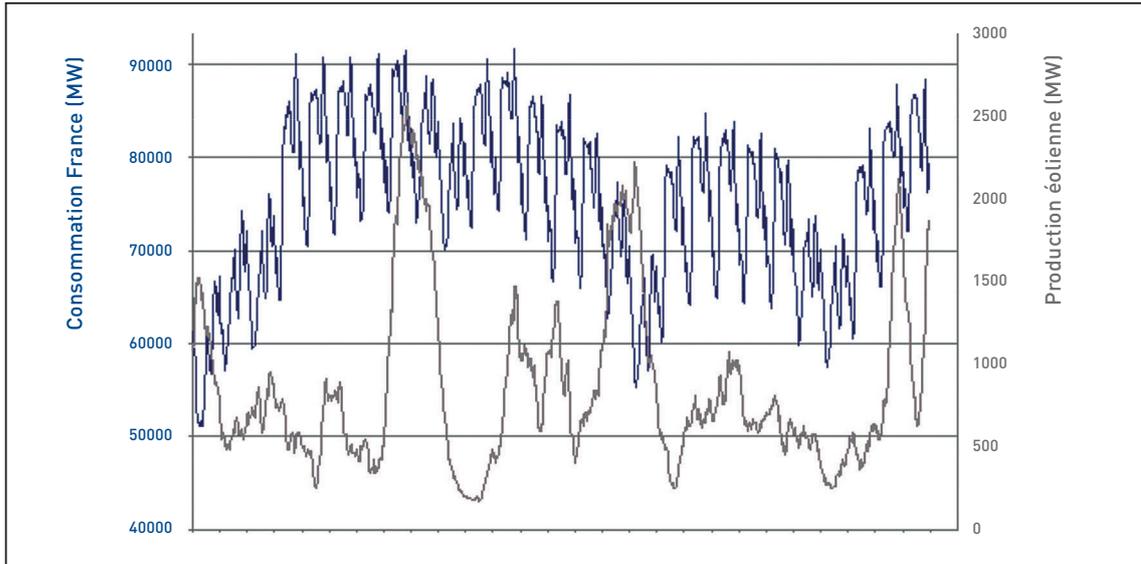


Fig. 7 : Janvier 2010 - comparaison de l'offre éolienne à la demande

Source RTE

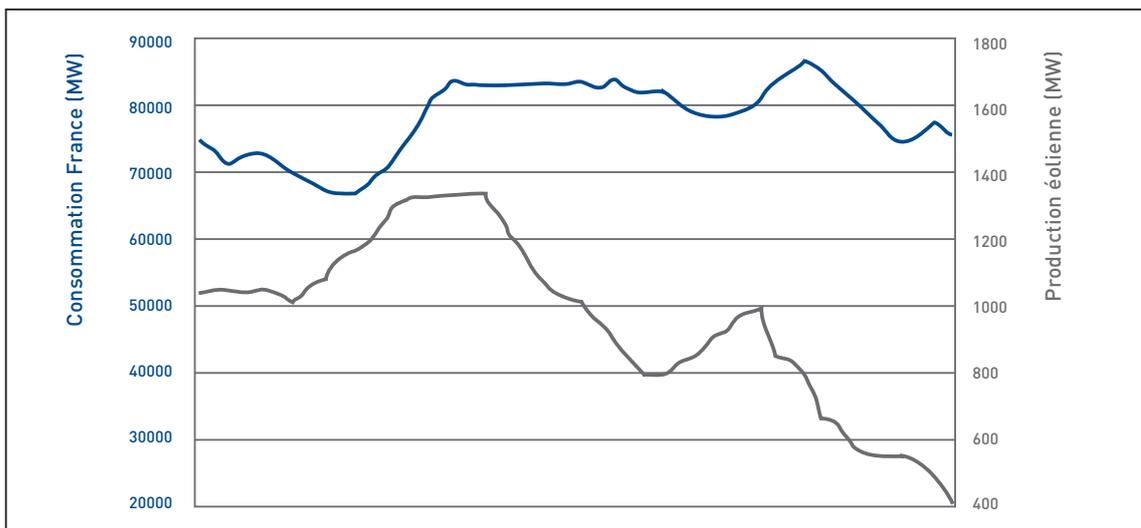


Fig. 8 : 14 Janvier 2010 - comparaison de l'offre éolienne à la demande

Source RTE

Bien qu'elle soit dotée de capacités de base importantes grâce à son parc électronucléaire, la France doit faire face à tout instant à une problématique d'équilibre de l'offre et de la demande de plus en plus complexe. Cette situation est à son paroxysme lorsque la demande atteint des niveaux de pointe et dépasse les limites de capacité.

## A.2. Un réseau électrique plus intelligent, une combinaison de trois systèmes

### A.2.1 Définition d'un réseau électrique intelligent

Les experts de la *Taskforce for Smart Grids* de la Commission Européenne retiennent la définition suivante : « un réseau électrique intelligent est un réseau qui est capable d'intégrer au meilleur coût les comportements et les actions de tous les utilisateurs qui y sont reliés : producteurs, consommateurs ainsi que ceux qui sont les deux à la fois. L'objectif est d'assurer au système électrique d'être durable et rentable, avec des pertes faibles et avec des niveaux élevés de sécurité, de fiabilité et de qualité de la fourniture <sup>12</sup>».

De façon plus précise, un réseau électrique intelligent (*Smart Grid* en anglais) a pour objectif de générer et distribuer de l'énergie de façon plus efficace, plus économique et plus durable qu'un réseau classique, tout en assurant la sécurité de l'approvisionnement. Il intègre et interconnecte à cette fin des technologies (produits et services) et outils innovants sur l'ensemble de sa chaîne de valeur, depuis la production d'énergie jusqu'aux équipements du consommateur. Cette intégration est réalisée grâce à l'utilisation de capteurs et d'équipements numériques de protection, de mesure et de communication, en interface avec les centres de contrôle et de pilotage. Le réseau électrique intelligent offre à tous les consommateurs la possibilité d'obtenir des informations précises sur leurs usages électriques. Cela leur permet de mieux connaître et piloter leur propre consommation, leur éventuelle autoproduction et d'améliorer leur efficacité énergétique, en liaison avec le réseau et ses opérateurs.

Ainsi, on mobilise l'intelligence du réseau au service de la continuité et de la qualité de l'alimentation électrique, dans un contexte de hausse de la demande et de la volatilité de celle-ci, et avec une offre plus décentralisée et plus intermittente, tout en permettant de minimiser (retardement ou suppression) les investissements lourds en matière d'infrastructures de réseaux d'énergie.

Enfin, il est important de noter que l'enjeu technique du développement du réseau électrique intelligent relève peu d'une révolution technologique, mais plutôt de la capacité du réseau électrique à adopter et intégrer dans ses systèmes des équipements et technologies de l'information et de la communication de façon optimale, tout en garantissant pendant toute cette mutation le maintien de la qualité de la fourniture d'électricité et la sécurité du réseau.

### A.2.2 Caractérisation d'un réseau électrique intelligent

Le réseau électrique intelligent constitue un écosystème complexe que l'on peut décrire sous forme d'une **combinaison de systèmes** afin de saisir les éléments les plus structurants de cette « nouvelle économie de l'électricité » ou « nouvelle économie de l'énergie » au sens large. L'écosystème des réseaux électriques intelligents modifie le système actuel des réseaux qui repose sur une gestion unidirectionnelle (de l'amont vers l'aval) en introduisant une gestion systématique intégrée à plusieurs niveaux et bidirectionnelle (de la production centralisée aux productions décentralisées).

Trois niveaux de systèmes s'interpénètrent:

- **les systèmes de production d'énergies conventionnelles et renouvelables**, qui regroupent l'ensemble des capacités de production du vecteur électrique,

- le **système local** qui correspond à une activation de l'intelligence énergétique dans l'industrie et les bâtiments résidentiel<sup>13</sup>, tertiaire ou collectif<sup>14</sup> et à l'intégration des énergies renouvelables, des systèmes de stockage et des véhicules électriques,
- le **système transversal** qui est constitué des réseaux de distribution et de transport actifs, pilotés et ajustés en temps réel entre l'offre d'énergies (conventionnelles et renouvelables) et la demande du système local.

Le réseau électrique intelligent ainsi constitué répond aux priorités de la nouvelle économie de l'électricité, que l'on peut synthétiser en trois grandes valeurs d'usage :

- l'**intégration** des énergies renouvelables, intermittentes et des nouveaux usages électriques,
- la **flexibilité** de la production et de la consommation pour la réduction de la pointe électrique,
- la **gestion de flux d'information et d'énergie bidirectionnels**<sup>15</sup> entre les trois niveaux de systèmes.

Ces trois systèmes sont représentés dans le schéma ci-dessous<sup>16</sup> élaboré par le Groupe de Travail du Comité d'Orientation Stratégique des Eco-Industries (COSEI)<sup>17</sup>, dédié aux Systèmes Electriques Intelligents et Stockage d'énergie :

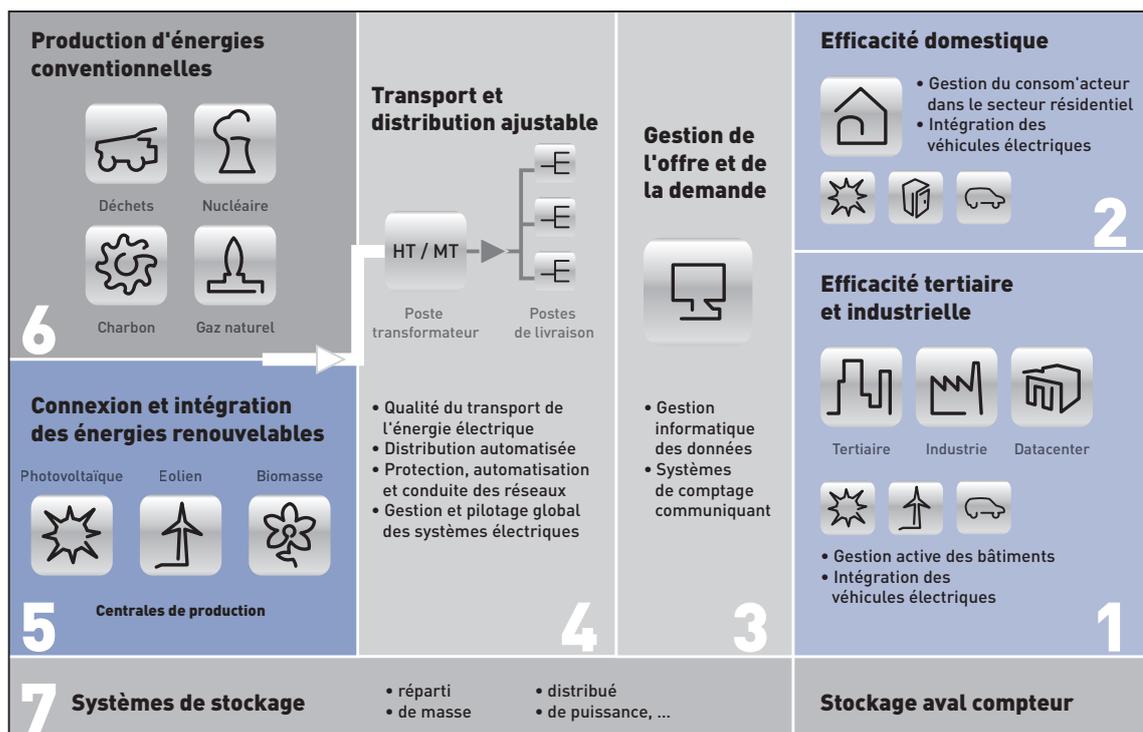


Fig. 9 : Systèmes Electriques Intelligents et Stockage de l'Énergie

Source : COSEI - novembre 2010

Au delà de cette vision synthétique d'un écosystème complexe, le réseau électrique intelligent se caractérise tout d'abord par sa capacité à gérer des productions d'énergie centralisées et décentralisées (notamment **les productions à base d'énergies renouvelables**, dont il permet le développement et l'intégration optimale). Il permet aussi le développement et l'intégration de sources d'énergie issues de **moyens de stockage**, notamment diffus et décentralisés.

Il se caractérise ensuite par le déploiement massif et l'utilisation à tous les niveaux de **compteurs intelligents** (ou *Smart Meters*). Ces compteurs sont plus précis, capables de mesurer plusieurs types de flux électriques et surtout, ils sont communicants. Ils permettront de contrôler et de piloter des **flux bidirectionnels de courant et d'information**, à tous les niveaux du réseau.

Un réseau d'électricité intelligent rend également possible la **Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE)**, au service de tous les consommateurs. Il s'agit premièrement de diminuer globalement la consommation d'électricité en changeant les comportements. En fournissant aux consommateurs des informations précises sur leur consommation et l'impact de leurs usages électriques, un réseau d'électricité intelligent permet à ces derniers de devenir « **consom'acteurs** » et d'adapter leurs comportements. Le pilotage et la gestion de leur éventuelle autoproduction leur permet de devenir « consommateurs-producteurs » (*prosumers*). La gestion active des bâtiments (secteur tertiaire), le pilotage énergétiquement plus efficace des procédés de fabrication (secteur industriel) et l'optimisation de la consommation domestique sont facilités, au service de l'efficacité énergétique de tous les consommateurs. À plus grande échelle, un réseau électrique intelligent favorise le développement des villes du futur (*smart cities*) constituées d'éco-quartiers disposant de productions décentralisées et des moyens de pilotage de ces productions (*microgrids*).

La Maîtrise de la Demande d'Electricité consiste à faire de la demande une variable d'ajustement : cela signifie que l'on doit pouvoir répondre à un déséquilibre du réseau en agissant sur la demande d'électricité plutôt que sur l'offre. Un réseau électrique intelligent est capable de piloter finement et de **lisser la courbe de charge** pour agir sur la demande, notamment en pointe (pic de consommation). Le pilotage de la courbe de charge passe par des **effacements de consommation**, c'est-à-dire la coupure momentanée, autorisée et ciblée (usages électriques reportables ou annulables sans impact sur le confort) de l'alimentation électrique de certains équipements. Pour offrir une grande capacité de demande effaçable, ces effacements – ou délestages – peuvent être diffus, c'est-à-dire qu'ils sont répartis entre de très nombreux consommateurs. Le pilotage de la courbe de charge passe également par des effacements programmés, qui visent en particulier le secteur industriel.

En diminuant ou en reportant dans le temps certains appels de puissance électrique, il est possible d'assurer l'équilibre du réseau tout en limitant le recours au démarrage de nouvelles productions d'électricité (qui sont les plus polluantes).

Enfin, un réseau d'électricité intelligent permet le développement et l'intégration des nouveaux usages électriques, notamment dans le transport (*transports en commun, véhicule hybride rechargeable, véhicule électrique*). Les véhicules électriques sont intégrés au réseau et leur usage (V2G, *Vehicle to Grid*) est optimisé : la rapidité de la charge est pilotée selon l'infrastructure et les moyens de production disponibles et les véhicules peuvent être utilisés comme un moyen de stockage diffus.

Si les grandes caractéristiques d'un réseau électrique intelligent sont similaires partout dans le monde, les objectifs visés diffèrent quelque peu selon le continent où l'on se place : les Etats-Unis mettent en particulier l'accent sur la sécurité du système énergétique et le renouvellement d'un réseau de plus en plus obsolète. La Chine insiste plutôt sur son besoin de répondre à la forte croissance de la demande, quand l'Australie cherche avant tout à lisser sa pointe électrique saisonnière.

Notre approche et notre vision des réseaux d'électricité intelligents s'inscrit dans le contexte européen, où le fonctionnement des marchés de l'énergie est soumis à des règles similaires. L'ensemble des acteurs de ces réseaux fait aujourd'hui face au défi de l'optimisation des processus énergétiques globaux, dans un contexte juridique et réglementaire en évolution dans tous les pays et où l'interconnexion des différents réseaux nationaux est aussi une source d'optimisation globale.

# B. Les objectifs économiques, environnementaux et sociétaux des réseaux électriques intelligents

## B.1. Les réseaux électriques intelligents : un marché mondial en cours de construction

Le lancement par les Etats-Unis d'un plan *Smart Grids* en 2009 a révélé au grand public cette notion qui, depuis, a généré une prise de conscience générale, notamment dans les pays et continents en pleine croissance.

Pour autant, l'expression *smart grids* recouvre des dimensions différentes : certains y voient une solution numérique en aval compteur et destinée majoritairement aux clients résidentiels alors que d'autres considèrent qu'il s'agit d'une vision systémique globale, transcendant la structure actuelle du marché énergétique pour générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociétaux pour tous.

C'est cette vision technologique, marketing et économique que les industriels du GImélec et leurs partenaires souhaitent faire partager et développer dans la suite de ce livre blanc dédié aux réseaux électriques intelligents.

Pour renforcer cette impression de révolution industrielle en marche, il suffit de rappeler la dimension mondiale du marché des réseaux électriques intelligents et les premières valorisations financières de cette nouvelle économie de l'électricité :

**Valorisation du marché mondial :  
entre 12 et 50 Milliards d'Euros par an à l'horizon 2020**

## B.2. Les bénéfices attendus de la mise en œuvre de réseaux électriques intelligents sont d'ordre environnemental, économique et sociétal

### B.2.1 Bénéfices environnementaux

La réponse globale et locale du réseau électrique aux défis du changement climatique implique des actions tant au niveau de la fourniture que de la demande d'électricité. L'objectif est de répondre à une demande toujours plus grande et volatile, tout en diminuant drastiquement les émissions de CO<sub>2</sub>. La mise en œuvre d'un réseau électrique intelligent permet une diminution conséquente de l'impact de la fourniture d'électricité sur l'environnement par :

- L'évolution du *mix énergétique*,
- Une meilleure maîtrise de la demande d'électricité (MDE),
- L'amélioration de l'efficacité du réseau.

Ainsi, un rapport du *Climate Group* estime que grâce au déploiement des réseaux électriques intelligents, la réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la production d'électricité atteindra 2,03 GT équivalent CO<sub>2</sub> dans le monde en 2020.

Aux États-Unis, selon l'Electric Power Research Institute (EPRI), une amélioration de 5% de l'efficacité du réseau aux États-Unis se traduit par une économie de 44 GW en pointe, soit la production de 25 centrales au charbon ou encore les rejets de 53 millions de véhicules. Les économies d'énergie attendues devraient représenter en 2020 entre 3,7 et 8,3% de la consommation totale d'énergie<sup>18</sup>.

En Europe, selon Cap Gemini, un programme de MDE modéré aurait comme impact une économie de 59 TWh par an en 2020, une réduction du pic de production de 28 GW et une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> de 30 MT par an.

Un réseau électrique plus intelligent constitue donc une réponse pertinente aux enjeux environnementaux. Il doit permettre à la France et aux autres États membres de l'Union Européenne, de tenir leur engagement du Paquet Energie Climat. Ce train de mesures, adopté en décembre 2008 par l'Union Européenne, engage les 27 aux « 3 x 20 » : il s'agit, par rapport au niveau de 1990, de réaliser 20% d'économies d'énergie, de diminuer de 20% les émissions de gaz à effet de serre et d'intégrer 20% d'énergie renouvelable dans la consommation totale d'énergie.

À plus long terme, l'objectif fixé par l'Union Européenne est le Facteur 4. Il s'agit d'un engagement, pris officiellement par la France en 2003, à diviser par quatre d'ici 2050 le niveau des émissions de gaz à effet de serre par rapport à celui de 1990.

## B.2.2 Bénéfices économiques

Un réseau électrique intelligent offre d'importantes perspectives de développement économique de l'ensemble du secteur des réseaux d'énergie et de l'écosystème associé :

- Il rend possible une gestion plus efficace du patrimoine que constituent les actifs du réseau, en particulier sur le réseau de distribution sur lequel la visibilité est très faible actuellement ;
- C'est un vecteur d'émergence de l'innovation, de nouvelles offres, de nouveaux métiers et d'emplois, avec des champions français reconnus comme des leaders mondiaux ;
- La maturité des technologies électriques, électroniques, informatiques et télécom permet d'envisager un **déploiement rapide et à grande échelle**. Diffusées massivement auprès du grand public, financièrement abordables, avec des protocoles ouverts, modulaires et flexibles, ces technologies permettent d'accompagner le déploiement d'un réseau électrique intelligent. Leur accessibilité, leur compatibilité et leur ergonomie seront cruciales, notamment dans le résidentiel, pour sensibiliser le public et en faire de véritables « consom'acteurs ».

Le niveau des investissements consentis est à la hauteur de l'intérêt porté aux réseaux électriques intelligents. Ainsi, suite à l'*American Recovery and Reinvestment Act* de 2009, les États-Unis y consacrent un budget de recherche d'environ 4,5 milliards de dollars. Les sociétés de capital-risque, de leur côté, y ont investi en 2007 et 2008 plus de 800 millions de dollars. En France, le Grenelle de l'environnement a posé les bases d'une politique d'investissements publics de grande envergure dans le développement durable, avec 440 milliards d'Euros à l'horizon 2020, dont 115 consacrés aux énergies renouvelables.

### B.2.3 Bénéfices sociétaux

Au delà des aspects environnementaux et économiques, un réseau électrique intelligent fournit des réponses à l'évolution des besoins fondamentaux de la société en énergie et accompagne la politique énergétique globale de la France.

En permettant la hausse de la part des énergies renouvelables dans le *mix énergétique*, un réseau d'électricité intelligent rend possible une **moindre dépendance aux sources d'énergies fossiles**. Il permet d'**accompagner une croissance durable**, en répondant aux besoins en énergie et à leur augmentation, notamment celle entraînée par le développement de nouveaux usages.

L'enjeu de moindre dépendance énergétique est également stratégique. Les niveaux de dépendance risquent d'augmenter si le mix énergétique n'évolue pas. Ainsi, on estime que d'ici 2030 l'Europe pourrait devoir importer jusqu'à 84% de son gaz, 59% de son charbon et 94% de son pétrole.

Un réseau électrique intelligent est enfin l'occasion d'assurer et d'améliorer la **qualité de la fourniture et la sécurité du réseau**. En effet, il pérennise le développement de la télérelève et de la téléconduite des équipements électriques installés et en optimise la maintenance, il améliore la détection et la localisation des pannes. Ce faisant, il est capable de lancer des reconfigurations automatiques suite à un incident et devient autocicatrisant.

Toutes ces améliorations permettent d'assurer la qualité du courant fourni, et de diminuer la fréquence et la durée des coupures. En particulier, les moyens de pilotage de la demande et de meilleure efficacité du réseau permettent d'améliorer la gestion de la pointe et d'éviter les grands *blackouts*.

Ces améliorations permettent d'envisager un réseau plus sûr et plus fiable en cas d'incident, dans un contexte de dépendance de plus en plus forte de toutes les activités humaines vis-à-vis de l'électricité. Face, notamment, aux phénomènes climatiques de grande ampleur ou au risque d'attaque terroriste, la sécurisation de l'alimentation électrique permet de répondre à une demande de plus en plus forte de la collectivité.

### B.2.4 Une réponse à des attentes sociétales et des bénéfices répartis sur la chaîne des acteurs

Combinée à la raréfaction programmée des énergies fossiles et à l'impératif de sécurité énergétique, la protection de la qualité de l'air et du climat nous entraîne dans un mouvement inéluctable de recours accrus aux énergies renouvelables, qu'elles proviennent du vent, du soleil, de la terre ou de la mer.

Compte tenu de la volatilité intrinsèque de la production des énergies renouvelables (cycle diurne/nocturne, conditions météorologiques), il est essentiel de renforcer la disponibilité et la flexibilité de la production d'électricité et d'en faire un axe structurant du changement d'organisation globale et nationale du système électrique existant.

La fourniture d'énergies conventionnelles et renouvelables doit en outre répondre aux besoins de la demande des consommateurs à une échelle macroéconomique et, si possible, avec une instantanéité entre l'adéquation de l'offre et de la demande.

C'est pour assurer l'équilibre entre l'offre et la demande énergétique, toutes deux en pleine mutation, qu'il faut rendre les réseaux électriques intelligents pour, à terme, intégrer par capillarité les autres réseaux énergétiques.

Il est possible de synthétiser les moteurs et accélérateurs de mise en œuvre des réseaux électriques intelligents ainsi que les bénéfices attendus dans les tableaux ci-après.

### Les moteurs et accélérateurs de la mise en œuvre des réseaux électriques intelligents

---

#### Moteurs

---

1. Ajouter de la stabilité aux réseaux électriques existants pour intégrer les nouvelles énergies et les nouvelles utilisations finales des énergies.
  2. Augmenter la puissance électrique disponible et l'efficacité énergétique des réseaux pour couvrir les nouveaux besoins tels que le véhicule électrique et l'émergence des nouvelles économies.
  3. Diminuer l'émission de CO<sub>2</sub> pour toutes les composantes de l'économie conventionnelle par l'intégration des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans les usages finaux.
- 

#### Accélérateurs

---

1. Mobiliser les technologies de l'énergie et du numérique déjà existantes, tout en promouvant l'innovation, pour donner un élan de relance économique après une crise financière, économique et industrielle sans précédent.
  2. Renforcer l'implication des Pouvoirs publics sur des impulsions structurelles pour faire évoluer le cadre réglementaire et fiscal national et européen.
  3. Accroître le rôle actif du consommateur (consom'acteur) dans sa propre gestion de performance énergétique par une acceptation sociétale largement partagée.
-

## Les bénéfices attendus des réseaux électriques intelligents

---

### Pour l'état et les comptes publics nationaux :

- Atteinte des objectifs de l'Agenda 20/20/20,
  - Mise en place des conditions favorables à l'efficacité énergétique,
  - Accroissement de l'indépendance énergétique par l'intégration des énergies renouvelables et la réduction de la pointe,
  - Contribution à la sécurité des réseaux électriques et plus largement à la cybersécurité,
  - Sécurisation des débouchés commerciaux pour les industriels nationaux du secteur électrique,
  - Pénétration des nouvelles technologies de l'énergie et soutien à la recherche nationale,
  - Contribution à l'économie circulaire et à la préservation des matières premières.
- 

### Pour les consommateurs :

- Accès à des solutions d'efficacité énergétique économiquement compétitives et déjà existantes,
  - Promotion des comportements vertueux par une tarification plus flexible en fonction des usages,
  - Modification volontaire des comportements dans le respect de la vie privée grâce à une standardisation et une législation spécifique de protection des données,
  - Meilleure maîtrise de la production d'énergie renouvelable et des nouveaux usages.
- 

### Pour les distributeurs d'électricité :

- Optimisation des réseaux et de leur gestion en fonction de la source de production d'électricité,
  - Intégration harmonieuse de l'utilisation des véhicules électriques et des nouveaux usages électriques,
  - Sécurisation de l'équilibre des réseaux.
- 

### Pour les transporteurs d'énergie :

- Pilotage global du système de production, de transport et de distribution,
  - Gestion par anticipation et modélisation des capacités disponibles de production d'énergies en fonction de la demande réelle et/ou spontanée.
- 

### Pour les constructeurs et industriels électriques français :

- Pérennité d'emplois à haute valeur ajoutée sur le territoire,
  - Soutien à l'exportation du savoir-faire et de l'excellence de l'industrie électrique française et européenne par l'interconnexion croissante des réseaux,
  - Renforcement de la normalisation et des standards pour la pénétration des économies émergentes.
- 

### Pour l'Université et la recherche :

- Mobilisation des chercheurs et universitaires autour de plateforme applicative et grandeur réelle pour le croisement des technologies.
-

### **B.3. Les constructeurs et industriels du Gimélec, acteurs totalement mobilisés d'un nouveau marché pour un usage électrique innovant**

Le concept de réseau électrique intelligent signifie la flexibilité de la production, la distribution, le stockage et l'utilisation des énergies, avec une croissance des renouvelables. De ce fait, un système d'information capillaire assurant l'équilibre du système électrique d'amont en aval et, réciproquement, de l'utilisation finale à la production, en devient la base. De plus, la locution « réseau électrique intelligent » implique, par association de notions juridiques, des questions fondamentales autour de la protection de la vie privée qui ne trouveront leur règlement que dans une acceptation sociétale largement partagée et une réglementation spécifique.

Car, s'il y a bel et bien un nouvel acteur dans la nouvelle économie de l'électricité, c'est le « consom'acteur », qui est la mutation du consommateur en producteur et en utilisateur d'énergies, tout en restant un citoyen, un contribuable et un acteur de la Cité au sens large.

C'est la raison pour laquelle les technologies de l'information ont un rôle fondamental à jouer pour assurer l'interaction active entre l'amont et l'aval du compteur communicant et/ou évolué ; le croisement des technologies numériques et énergétiques va générer un nouveau marché synonyme de maintien d'emplois à forte valeur ajoutée dans l'industrie française, tout en faisant naître des nouveaux métiers sur la chaîne aval d'exécution.

# C ■ Les dix fonctions intégrées des réseaux électriques intelligents

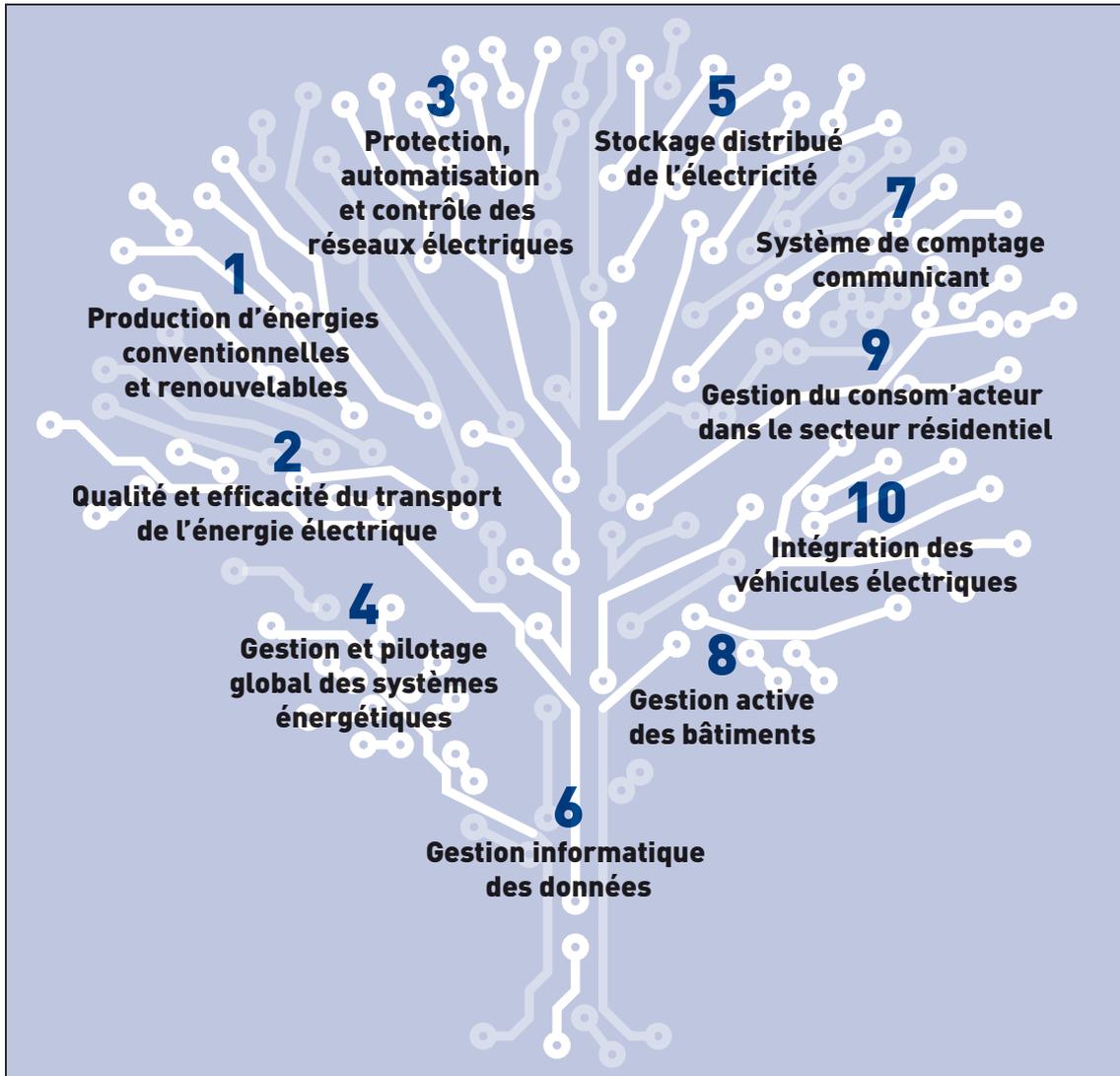


Fig. 10

L'arborescence évoquée par les dix fonctions essentielles montre combien leur intégration respective dans les différents niveaux de systèmes locaux et transversaux de production se fera par les technologies de l'information dans leurs différentes composantes.

## C.1. Production d'énergies conventionnelles et renouvelables

En amont des Systèmes Energétiques Intelligents se situent les centrales de production, historiquement basées sur des moyens de production centralisés conventionnels – charbon, gaz, nucléaire et hydro-électrique – et évoluant progressivement vers des moyens de production renouvelables décentralisés : éolien, solaire thermique et photovoltaïque, géothermie, énergies marines et piles à combustibles.

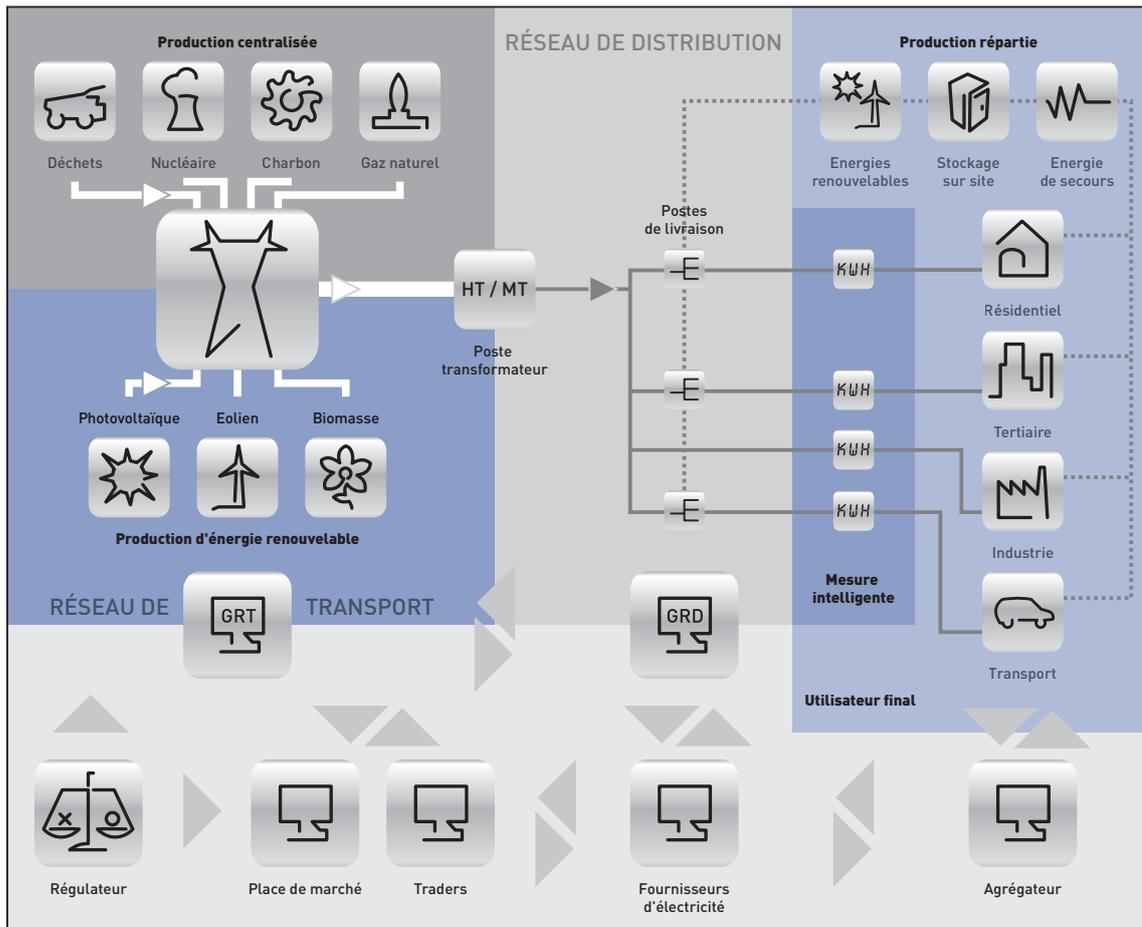


Fig. 11

### C.1.1 Production centralisée

Les gestionnaires de centrales s'efforcent déjà de maximiser le rendement en énergie issu de la conversion de leurs combustibles primaires en électricité. À cette fin, ils renouvellent et optimisent les technologies de contrôle et de pilotage de leurs installations. Actuellement, le rendement calorifique moyen de la base installée des centrales à charbon est inférieur à 30 % : plus de deux tiers de l'énergie générée du charbon part littéralement en fumée. L'amélioration des technologies de contrôle des centrales électriques pourrait, à long terme, élever ce rendement jusqu'à près de 50 %.

Le futur réseau d'électricité, qui devra gérer une demande plus volatile et une part plus importante **d'énergies renouvelables intermittentes, valorisera auprès des producteurs leur capacité à être flexibles**. Ces derniers devront être capables de vendre leur production sur les marchés de l'énergie au moment le plus opportun, en fonction de la demande et de l'état du réseau. Le producteur qui ne s'adapte pas s'exposera au risque de produire de l'électricité à des instants où elle est en **surplus par rapport aux besoins, ce qui peut se traduire sur les marchés par des prix de vente nuls voire négatifs**.

**Pour répondre à ces besoins, les centrales doivent donc intégrer des fonctionnalités plus abouties de contrôle-commande, de mise en réseau et d'optimisation de la production.**

Par ailleurs, nous rejoignons la **préconisation du rapport Sido-Poignant de développer un marché secondaire dit de capacités**. Sur ce marché, les producteurs pourraient faire valoir des capacités d'ajustement, par une hausse de la production mais aussi par le délestage, au service de l'équilibre du réseau.

## C1.2 Production distribuée et décentralisée

La production décentralisée est essentiellement associée à des moyens de production d'énergie renouvelable intermittente intégrés aux bâtiments (panneaux photovoltaïques, etc.), mais aussi à des moyens de production disponibles au niveau des infrastructures (cogénération, biomasse, moyens de génération de secours). Ces sources de production ont une capacité bien moindre (typiquement entre 0,1 et 50 MW) que celle des centrales de production (typiquement supérieure à 50 MW). Pour s'intégrer dans un réseau d'électricité intelligent, elles vont nécessiter :

- Une forte coordination de la production de multiples petites sources de production (alors qu'historiquement l'équilibrage temps réel offre/demande était réalisé au travers de quelques centaines de points de production) ;
- De meilleurs outils de planification de la production selon les données météo, les estimations de consommation, etc. ;
- Une intégration dans le réseau au travers de flux d'information bidirectionnels ;
- Des facilités d'intégration et raccordement au réseau électrique (de distribution notamment) ;
- L'intégration éventuelle de capacités de stockage permettant de compenser l'intermittence de ces sources d'énergie.

**La transition de ces moyens de production intégrant une part croissante de ressources renouvelables nécessite donc de mettre en œuvre de nouveaux systèmes de pilotage et de contrôle de ces moyens de production pour amener une flexibilité opérationnelle suffisante.**

## C.2. Qualité et efficacité du transport de l'énergie électrique

Le réseau de transport électrique comporte des lignes à haute et très haute tension qui permettent la transmission de grandes quantités d'électricité sur de longues distances. **Au même**

titre que les moyens de production intermittents perturbent l'équilibrage offre-demande, ces moyens impactent aussi la qualité de l'onde électrique et impliquent en particulier de nouvelles contraintes de stabilité en cas de défaut dans le réseau, du fait de leur très faible inertie.

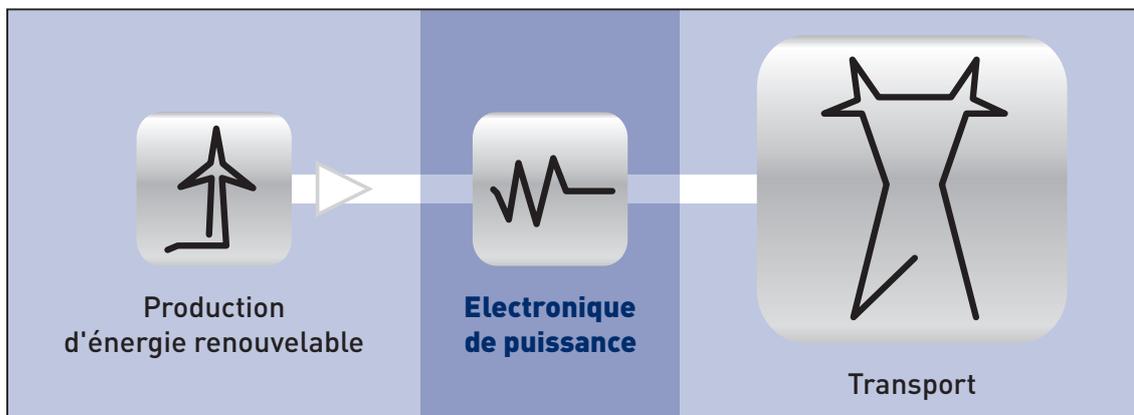


Fig. 12 : De nouveaux systèmes d'électronique de puissance au service de la qualité de l'onde électrique

Ceci nécessite, d'une part, la mise en œuvre de **systèmes d'électronique de puissance associés au réseau pour compenser les défauts induits au niveau de la qualité de l'onde électrique** en cas de défaut, d'autre part, d'optimiser les capacités des **infrastructures de transport et de distribution selon la disponibilité temps réel de l'énergie renouvelable**.

De plus, ces contraintes impliquent la **mise en œuvre de nouvelles technologies de conversion de puissance au niveau des installations – convertisseurs éoliens et onduleurs solaires** – devant échanger des informations en temps réel avec les opérateurs de réseau pour être télé-réglées selon les conditions de fonctionnement d'ensemble du réseau.

### C.3. Protection, automatisation et contrôle des réseaux électriques

Les réseaux électriques permettent un aiguillage des flux électriques entre la production en amont et la consommation en aval. Leur grande diffusion et leurs caractéristiques critiques de disponibilité nécessitent la **mise en œuvre d'équipements de protection extrêmement rapides** permettant d'une part d'isoler les sections de réseau en défaut et d'autre part de piloter à distance la reconfiguration de certaines branches de réseau selon les incidents encourus ou les campagnes de mise en retrait de certains équipements.

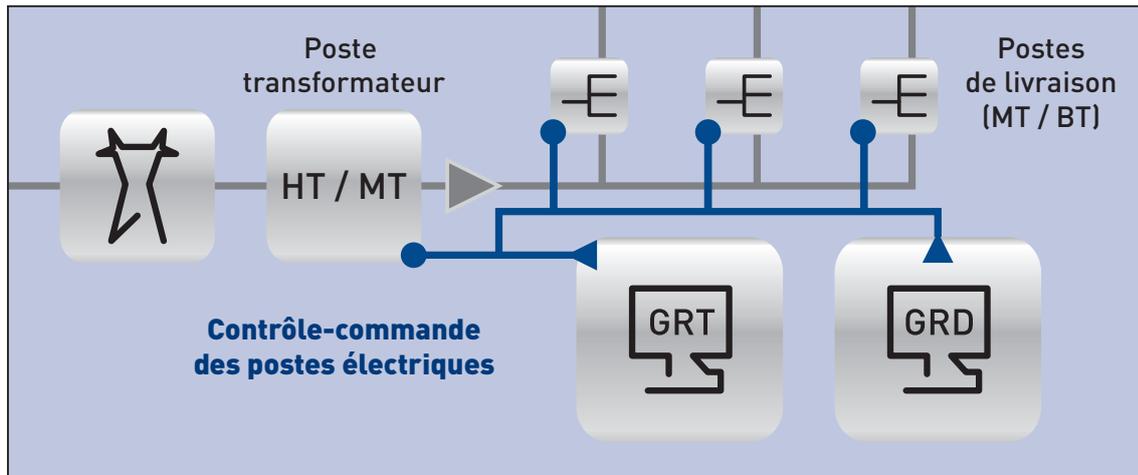


Fig. 13 : Les gestionnaires de réseaux doivent pouvoir piloter à distance les divers postes électriques

Ceci nécessite la mise en œuvre d'équipements de protection, de contrôle et d'automatisme dans chacun des postes électriques des réseaux de transport et de distribution. Alors que ces technologies ont progressivement migré vers les technologies numériques dans les postes de transport, une part importante d'automatisation reste à réaliser au niveau des réseaux de distribution décentralisés pour permettre une interaction bidirectionnelle avec les nouveaux consommateurs énergétiques incorporant de plus en plus de points de micro production.

#### C.4. Gestion et pilotage global des systèmes électriques

L'optimisation globale des systèmes énergétiques nécessite la mise en œuvre de technologies de « Centres de Contrôle » opérant sur les flux énergétiques temps réel dans les réseaux de transport et de distribution. Ces centres de contrôle sont répartis à différents niveaux des réseaux (national, régional et urbain) et opérés par les gestionnaires de réseau dans le cadre de leur fonction d'opérateurs systèmes.



Fig. 14

Sur la base des informations fournies par les capteurs et les équipements de protection et de contrôle répartis dans les postes électriques, ils interagissent en temps réel avec les clients offrant une flexibilité suffisante pour contribuer à l'équilibrage des réseaux.

#### C.4.1 Au niveau du réseau de transport

Le développement d'un véritable réseau de transport d'électricité intelligent, impactant tous les acteurs à tous les niveaux de **ce réseau**, répond à des besoins d'amélioration spécifiques. Le gestionnaire du réseau de transport cherche aujourd'hui à améliorer la fiabilité du **système global, son efficacité opérationnelle et à utiliser au mieux ses infrastructures**.

Ces objectifs exigent **l'amélioration des équipements électrotechniques** et de leur efficacité. Ils nécessitent aussi la mise en œuvre de capacités améliorées du système d'information, fondé sur la collecte et la **transmission de données sur le réseau de transport, mais aussi de données issues des acteurs avec lesquels le Gestionnaire du Réseau de Transport (GRT) est en interaction et qui vont lui permettre de piloter plus finement** et de façon plus optimale l'équilibre général du réseau : **producteurs de tous types, réseau de distribution, moyens de stockage, consommateurs de tous types et autres réseaux de transport européens. Pour être correctement comprises et analysées, ces données doivent être parfaitement standardisées et partagées selon des règles claires.**

**Plus largement, le GRT va devoir faire appel, dans le cadre de sa recherche d'un équilibre optimal, à des services de stockage local, de production locale ou encore de mise en œuvre et de pilotage de son système d'information.**

Cela nécessite par ailleurs la mise en œuvre de nouvelles structures d'agrégation d'information en lien avec les services (responsabilité d'équilibre) requis au niveau de la gestion des marchés.

#### C.4.2 Au niveau du réseau de distribution

**Le gestionnaire du réseau de distribution est le garant du raccordement au réseau du consommateur – ce dernier pouvant également être producteur. Il fait donc face à des variations de plus en plus intermittentes et localisées de l'offre et de la demande, variations sur lesquelles il n'a aujourd'hui quasiment aucune maîtrise. Afin d'optimiser son rendement, le gestionnaire du réseau de distribution doit élargir son rayon d'action et sa capacité d'analyse.**

Les besoins du réseau de distribution pour intégrer un réseau véritablement intelligent sont donc nombreux, en particulier :

##### C.4.2.1 Améliorer la conduite et l'exploitation du réseau

Tout au long du réseau de distribution français (1,2 million de kilomètres de câble), le gestionnaire du réseau doit être capable de collecter et de transmettre des données qui seront centralisées puis analysées. Pour gérer ces données et pouvoir s'en servir de façon optimale, le gestionnaire a aussi besoin de renforcer ses technologies de contrôle-commande pour être en mesure de prendre des décisions instantanées impliquant des millions d'adresses de communication différentes ainsi que des milliards d'unités de données collectées puis transmises par

le réseau. Les logiciels devront embarquer des fonctions améliorées d'analyse d'incidents et de reprise automatique du service. Ces besoins doivent pouvoir être mobilisés pour gérer de façon locale le réseau qui peut être soumis ponctuellement à des pointes extrêmement localisées. En cas d'incident, le gestionnaire du réseau doit être capable de faire de l'ilotage, c'est-à-dire d'isoler certaines zones afin d'éviter la propagation de l'incident.

Plus largement, une meilleure conduite du réseau passe par de nouveaux moyens de supervision, de pilotage et de contrôle des infrastructures du réseau Basse Tension, au plus proche des consommateurs et jusqu'à leur compteur, sur lequel le gestionnaire est aujourd'hui quasiment aveugle : les pannes qui surviennent au delà d'un poste source ne sont pas détectées par ERDF, mais signalées par les consommateurs qui appellent pour l'en informer.

L'exploitation au quotidien d'un réseau de distribution intelligent suppose également le développement de capacités améliorées de communication avec le terrain, afin de piloter plus précisément les actions des agents et, ce faisant, d'améliorer la qualité de la fourniture et de diminuer la fréquence et la durée des interruptions de service.

#### C.4.2.2 - Optimiser et faciliter l'intégration des actifs du réseau

Afin d'optimiser la longévité et la disponibilité des différents équipements installés sur le réseau de distribution (gestion optimisée de ses actifs), le gestionnaire doit aussi développer ses capacités de prévision de défaillance et de détection de panne. Il doit enfin disposer d'outils plus efficaces de diagnostic de défaillance, tant à distance que sur le lieu de la panne.

Ces outils d'anticipation, de détection et d'analyse de panne reposeront également sur des moyens avancés de collecte et de transmission des données du réseau. Le gestionnaire du réseau de distribution doit également être capable d'incorporer et piloter tous les équipements actuels et futurs. L'intégration optimale de tous les types d'équipements amenés à être raccordés au réseau de distribution, en particulier des équipements de stockage et de production à base d'énergie renouvelables, passe par des standards ouverts.

## C.5. Stockage distribué de l'électricité

Le caractère intermittent des moyens de production renouvelable nécessite la mise en œuvre de nouvelles ressources permettant un équilibrage de cette intermittence au niveau des systèmes énergétiques. Le stockage électrique, quoique complexe à réaliser, répond exactement à ces besoins.

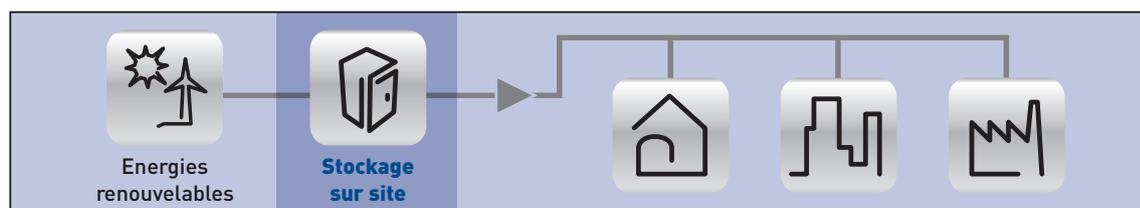


Fig.15

Pouvoir stocker l'électricité, c'est offrir la possibilité d'introduire de l'élasticité dans le flux tendu permanent, entre production et consommation, d'un réseau d'électricité. Le développement de capacités de stockage est un élément absolument nécessaire au développement d'un réseau intelligent, auquel il contribue de plusieurs manières : grâce à sa grande flexibilité et réactivité, le stockage permet de contribuer ponctuellement à l'équilibre du réseau et à sa stabilité, comme variable d'ajustement, notamment en pointe. C'est déjà la fonction principale des unités de production d'énergie hydroélectrique, mais ces capacités sont limitées par les stocks hydroliques.

Ces capacités d'ajustement permettent également d'augmenter la fiabilité globale du réseau en régulant la fréquence du courant transmis. Des unités de stockage peuvent également être adossées aux centres de production fondés sur les énergies renouvelables et permettre de lisser l'intermittence de leur production en stockant de l'électricité lors de périodes de forte production pour la délivrer lors des périodes de pointe de consommation.

Des capacités de stockage peuvent également offrir – très ponctuellement – de précieuses solutions de secours en cas de risque de chute du réseau (*blackout*). Les solutions de stockage diffus doivent enfin permettre de favoriser l'autoconsommation, ce qui déchargerait les réseaux et limiterait les pertes dues au transport de l'électricité.

Les solutions de stockage de masse demeurent encore limitées. Le stockage diffus et décentralisé constitue une piste d'amélioration mais il faudra pouvoir l'intégrer au réseau et le piloter de façon globale avec les outils adéquats.

Pour pouvoir servir un réseau électrique intelligent, ces capacités de stockage requièrent donc des technologies fiables et économiquement accessibles, ainsi qu'une intégration optimale dans le réseau de distribution optimale, tant du point de vue des flux bidirectionnels d'électricité que des flux de données qui permettront de les piloter.

Le déploiement significatif des véhicules électriques permettra par ailleurs d'améliorer les technologies de stockage électrique à base de batteries tant en termes de durabilité que de coût, ce qui conduit à considérer de nouveaux usages de batteries connectées aux réseaux, soit directement dans les postes électriques, soit au niveau des centrales renouvelables ou de grands centres de consommation. Pour être exploités, ces moyens de stockage fortement distribués doivent être intégrés aux centres de contrôle.

Par ailleurs, d'autres moyens de stockage sont en phase d'émergence : dans les centrales de production, on utilise l'air comprimé ou le stockage thermique, alors que les volants à inertie sont pour l'instant réservés à des usages spécifiques.

## C.6. Gestion et informatique des données

L'intégration des consommateurs dans le réseau nécessite une modélisation plus fine de leurs usages ; en particulier, il s'agit de prendre en compte la flexibilité énergétique potentiellement dérivée des nouveaux usages du « consommateur ». Ceci requiert d'intégrer plus étroitement les systèmes d'information pour la gestion de ces nouveaux profils de clients avec les centres de contrôle « agrégateurs » intégrant ces nouveaux usages.

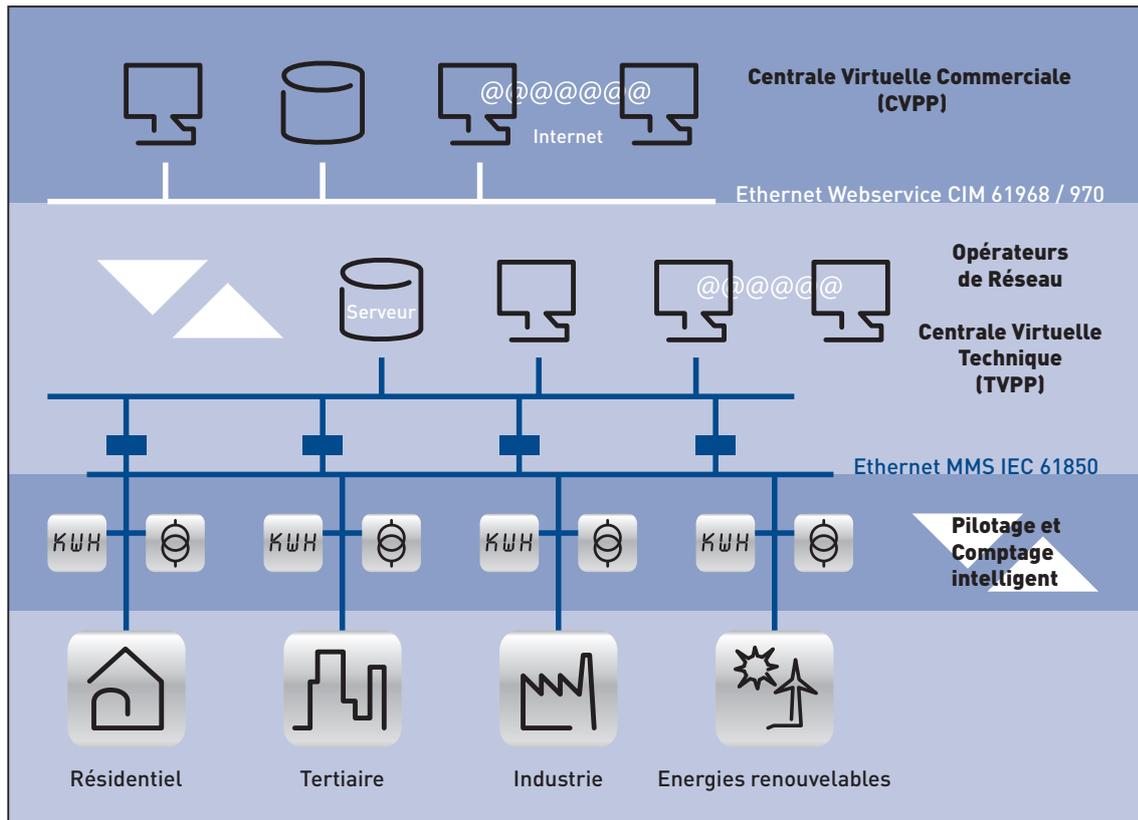


Fig. 16 : L'architecture de contrôle des réseaux électriques intelligents

Cette plus grande intégration a pour conséquence de rapprocher les mondes des intégrateurs IT et les spécialistes et industriels de l'efficacité énergétique afin d'offrir de nouvelles solutions clés en main incorporant des systèmes d'information et des solutions de gestion active selon des échanges d'information standardisés.

## C.7. Systèmes de comptage communicant

Les compteurs communicants sont une des composantes du déploiement des réseaux électriques intelligents. Ils sont une première étape vers le déploiement de futurs systèmes de comptage intelligent. Les nouveaux produits proposés sont de plus en plus complexes ; ils gèrent les fonctions classiques de mesure de l'énergie consommée et de tarification variable (à minima le tarif Heures Pleines / Heures Creuses, mais à terme des tarifications beaucoup plus flexibles et dynamiques).

Ces compteurs sont capables de mesurer l'énergie produite (mesure de flux bidirectionnels), de gérer la puissance qui transite et de piloter la courbe de charge. Ils disposent enfin de capacités de communication bidirectionnelle qui permettent de faire de la relève à distance et qui les rendent pilotables à distance. Ils donnent donc, enfin, la possibilité au consommateur d'avoir facilement une meilleure appréhension de ses consommations.

Pour être effectivement utiles, les données de comptage devront être intégrées dans les centres de pilotage du réseau et traitées par les outils informatiques appropriés. Cela permettra la modélisation fine du pilotage de la charge ainsi que l'anticipation de la production d'énergie et du stockage décentralisés.

## C.8. Gestion active dans l'industrie et le bâtiment

### C.8.1 Gestion active dans l'industrie

La qualité et le coût de la fourniture d'électricité ont un impact important sur l'activité de nombreuses industries. L'impact des perturbations électriques sur l'activité peut se traduire par d'importants surcoûts opérationnels voire une baisse sensible de la productivité. Par ailleurs, dans certaines industries, les coûts énergétiques pèsent significativement sur les coûts de production : ceci fait du coût énergétique un critère essentiel d'investissement et de compétitivité globale.

Les industriels travaillent donc depuis longtemps en collaboration étroite avec les gestionnaires de réseau afin d'optimiser leur consommation d'électricité, le meilleur exemple en France étant le tarif EJP (Effacement Jour de Pointe). Pour autant, elles ont d'importantes opportunités à saisir en s'intégrant dans le développement d'un réseau électrique intelligent. Il s'agit de passer à une véritablement haute performance énergétique et environnementale, en pilotant et maîtrisant son approvisionnement énergétique.

Les moyens d'informations sur l'état du réseau, sa courbe de charge, le coût de l'électricité, ainsi que les prévisions sur ces dimensions, permettent aux industriels de mettre en œuvre un véritable management de l'énergie, c'est-à-dire de piloter l'outil industriel en optimisant son impact sur le réseau et, par voie de conséquence, les coûts et la qualité de la fourniture. Il est aussi possible à l'industriel de réguler la compensation d'énergie réactive des grosses unités à un seuil adapté, en fonction des besoins du gestionnaire du réseau de distribution.

Ce management de l'énergie s'accompagne du développement de l'intelligence des systèmes et solutions d'automatismes (optimisation de la maintenance et de la disponibilité des équipements, amélioration de leur productivité) qui permet des économies supplémentaires de l'ordre de 10%.

On parle déjà de certains centres industriels comme de « micro-réseaux » (microgrids), c'est-à-dire de centres équipés de systèmes énergétiques qui incluent la capacité à consommer de l'électricité produite sur site tout autant que de l'électricité issue du réseau. Cette flexibilité les rend moins dépendants des éventuelles perturbations du réseau et leur permet de revendre leur autoproduction au moment le plus propice.

Le management de l'énergie inclut le pilotage de capacités de production installées sur le site, dont l'utilisation (autoconsommation, stockage, injection sur le réseau) doit être optimisée en fonction de l'état du réseau et des besoins des industriels. Le management de l'énergie suppose également de disposer des outils d'analyse, de contrôle et de pilotage de ces équipements de production, ainsi que d'une connexion au réseau. Disponibles et opérationnels, ces systèmes d'optimisation et d'efficacité énergétique globale deviennent accessibles aux petites et moyennes industries.

### C.8.2 Gestion active des bâtiments

Pour les entreprises et les administrations publiques, la gestion active est le moyen le plus rapide, le plus économique et le plus efficace de réduire leur facture énergétique et leurs émissions de CO<sub>2</sub> tout en accompagnant la croissance de la demande et de la production industrielle. La gestion active couvre l'ensemble du cycle énergétique d'un bâtiment, neuf ou ancien, industriel ou commercial.

À partir d'audits – donc de mesures vérifiables –, il s'agit d'installer des équipements à basse consommation, d'introduire des outils de mesure et de contrôle en temps réel et d'optimiser en permanence l'ensemble des utilisations finales grâce à l'intelligence énergétique « ajoutée ».

Éclairage, chauffage et air conditionné, équipement informatique et serveurs, moteurs dans les procédés industriels, variation de vitesse... dans le cadre d'une gestion globale d'un bâtiment, le potentiel d'économies d'énergies peut être similaire à l'isolation extérieure, faisant de la gestion active des bâtiments un complément indispensable aux solutions passives si l'on veut atteindre voire dépasser les objectifs du Grenelle.

Désormais, il s'agit de disposer de suffisamment d'intelligence pour transformer le bâtiment en un « consom'acteur » de sa consommation énergétique et intégrer ses éventuelles productions d'énergie. Ainsi, l'arrivée du véhicule électrique dans les parkings collectifs va nécessiter de piloter leur recharge et leur éventuelle décharge. De même, les capacités de production installées sur le bâtiment, généralement intermittentes, vont devoir être pilotées. L'optimisation et le pilotage de ces nouveaux flux passe par une interactivité et une communication avec le réseau électrique, afin de déterminer à tout moment le choix énergétique optimal, y compris le délestage.

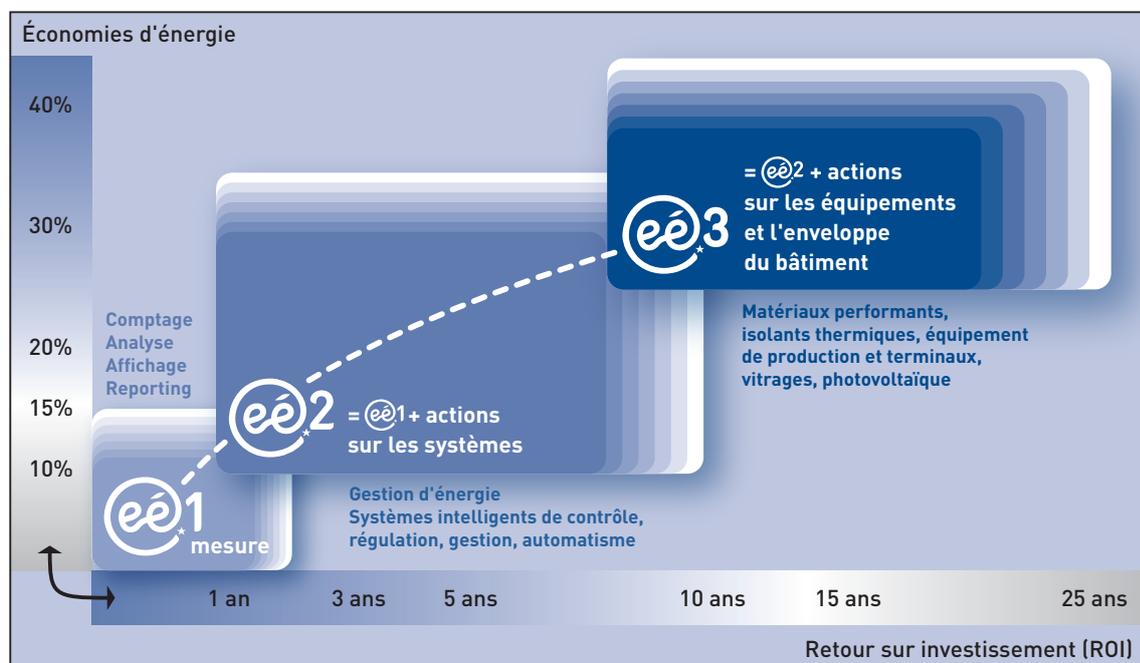


Fig. 17 : Offre de gestion active des bâtiments

La GTB (Gestion Technique du Bâtiment) doit donc développer de nouvelles fonctionnalités pour offrir une véritable gestion active du bâtiment. Ces fonctionnalités reposeront sur plus d'automatismes, plus d'interactions entre les équipements et le réseau et enfin des applications avancées de gestion de flux électriques. En connectant des bâtiments devenus actifs aux réseaux électriques intelligents par le biais de réseaux locaux (*microgrids*) au sein d'éco-quartiers, les gestionnaires et propriétaires immobiliers profiteront des nouvelles opportunités offertes pour optimiser leur budget d'investissement et de fonctionnement.

## C.9. Gestion du consomm'acteur dans le secteur résidentiel

À l'instar de l'industrie et du tertiaire, l'enjeu des réseaux électriques intelligents du point de vue de l'habitat est d'en améliorer l'efficacité énergétique en rendant le bâtiment acteur de sa consommation et du marché libéralisé de l'énergie, au travers du réseau.

Les habitats équipés d'un système de commande disposent de capteurs et d'une infrastructure d'information et de communication permettant de mesurer la consommation, de détecter des dysfonctionnements et d'actionner des équipements (stores, systèmes de chauffage ou de climatisation, chauffe-eau, équipements électroménagers, éclairage). Pour les occupants, les économies d'énergie permises par ces équipements sont immédiates : chaque année, le potentiel d'économies d'énergies pour un ménage est estimé à 20% en moyenne en cas de mise en place d'une domotique résidentielle optimisant les utilisations finales (coupure eau chaude sanitaire, coupure des appareils électroniques en veille, volets roulants, coupure d'éclairage en mode absence, régulation du chauffage) et en informant les utilisateurs de ces consommations par usages.

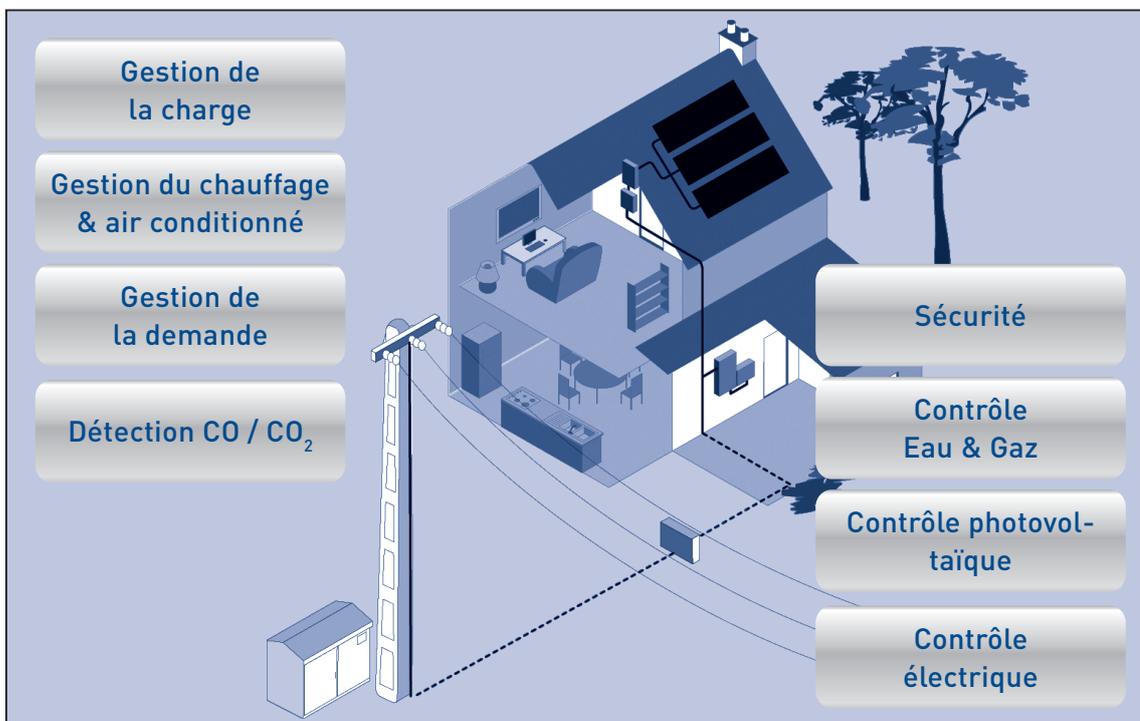


Fig. 18 : L'écosystème énergétique de la maison

Pour être correctement perçue, la valeur ajoutée d'un tel système doit aussi être portée par des interfaces utilisateurs suffisamment ergonomiques, qui sauront afficher l'impact des usages électriques et des actions de MDE (Maîtrise de la Demande d'Electricité) du consommateur : consommation globale, par équipement, par usage, variation coûts, empreinte carbone, etc.

Mais l'enjeu du développement de réseaux électriques intelligents est aussi d'optimiser les coûts et les émissions de CO<sub>2</sub> en interaction avec l'intelligence du réseau. Il s'agit, une fois encore, de faire du consommateur un véritable acteur de sa consommation d'électricité. Au delà du simple suivi du coût temps réel de ses consommations, ce dernier peut faire ses choix de confort et de pilotage énergétique, en interaction avec les informations obtenues du réseau intelligent.

Ces systèmes permettent par exemple le délestage ciblé de certains équipements, l'ajustement de courbe de consommation et l'autorégulation de la maison sur le plan énergétique (pilotage intégré et optimisé des consommations et des éventuels apports du stockage intégré aux installations photovoltaïques ou au véhicule électrique). Cette régulation peut être pilotée par le consommateur, en fonction de ses besoins et de ses absences (vacances, week-ends), mais aussi de façon automatique. Le réseau a donc une meilleure visibilité sur la demande diffuse, et peut agir dessus. Il lui est possible de mieux coupler la production d'électricité et sa consommation en termes de puissance appelée et, ce faisant, de diminuer les appels de puissance en pointe ainsi que les congestions de réseau.

Cette amélioration de l'efficacité énergétique globale nécessite des infrastructures de production et de stockage diffus qui s'intègrent dans le système électrique de la maison, des systèmes de pilotage et d'optimisation de l'ensemble des flux, des facilités de raccordement au réseau de distribution qui devra être capable de gérer des flux bidirectionnels d'information et de courant.

La création d'une valeur ajoutée suffisante aux yeux du consommateur est essentielle dans le développement de l'habitat intelligent. Elle exige des incitatifs forts, tels une construction dynamique du prix de l'électricité, avec une modulation des tarifs et d'importantes contreparties financières en cas de délestage ou d'utilisation des moyens de stockage diffus au service de l'équilibre du réseau.

Enfin, le développement de l'habitat intelligent et connecté au réseau passe par le développement de nombreux services à valeur ajoutée pour le consommateur. En amont doivent se développer des offres de conseils en gestion énergétique (aide à la décision, détection et diagnostic des dysfonctionnements pour l'énergie dans le bâtiment). Au quotidien, des offres de services intégrés dans une *energy box* incluent un ensemble de prestations domestiques, avec la gestion d'alertes techniques (fumée, inondation, alarmes anti intrusion), l'optimisation du confort (éclairage), la gestion des entrées et sorties, et bien sûr l'efficacité énergétique : régulation et optimisation thermique, gestion de la consommation énergétique, information sur le réseau et de mise en service... Ces services peuvent être accompagnés d'options innovantes telles les téléservices énergétiques sur la facturation, les tarifs, la nature de l'électricité (plus ou moins carbonée), les possibilités de changement de puissance ou de transfert d'abonnement, au travers de nouveaux types de contrats.

Les offres de téléservices nécessiteront des infrastructures télécom fiables (qualité de service, maîtrise de la cybersécurité) et optimisées, en particulier dans l'habitat (des protocoles de communication, technologies sans fil, courants porteurs ou technologie bus standardisés et à très basse consommation), associées à des solutions logicielles modulaires et flexibles. Les équipements installés localement embarqueront des automatismes avancés et de l'intelligence logicielle.

Dans ce cadre, la protection des données individuelles doit être un point de vigilance pour assurer une pénétration acceptable des nouvelles technologies de l'énergie et de l'information ; l'enjeu est de réussir la massification sans créer de défiance de la part des consommateurs-citoyens-contribuables.

## C.10. Intégration des véhicules électriques

Le développement attendu du véhicule électrique et de son impact sur le réseau d'électricité va en faire un acteur majeur du développement des réseaux électriques intelligents. Le succès du véhicule électrique est intimement lié à la mise à disposition préalable des infrastructures de recharge adéquates. En cours de développement actuellement, celles-ci seront de différentes natures (rapidité de la recharge, station d'échange de batterie...).

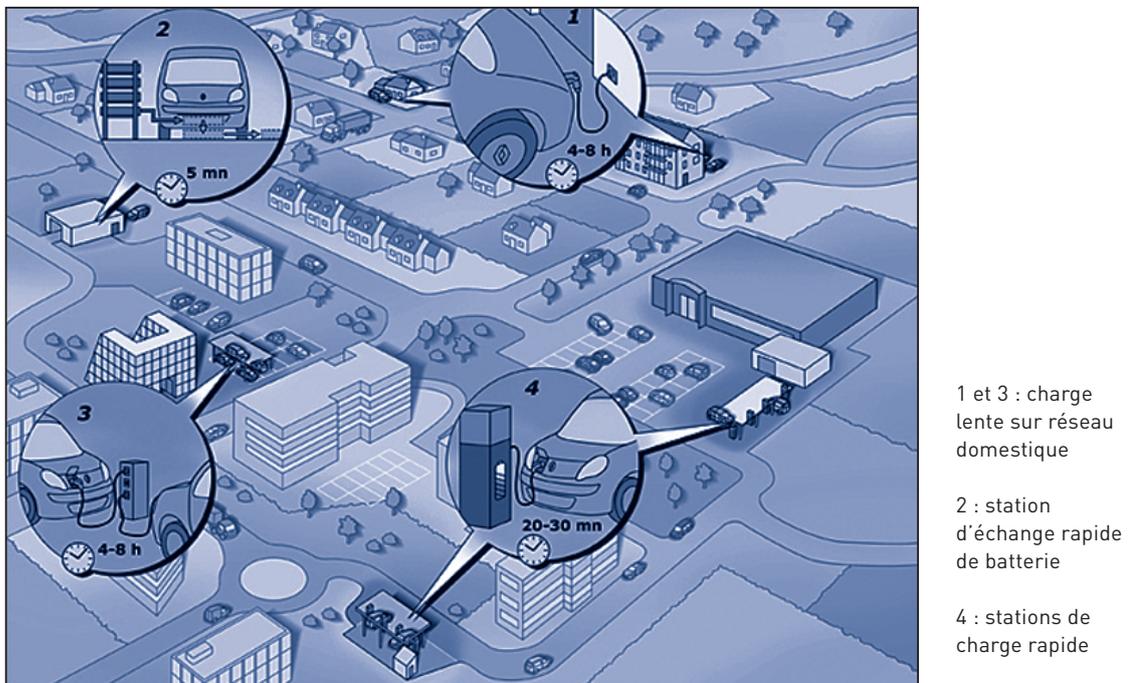


Fig. 19 : Véhicule électrique : infrastructures de recharge

Le dimensionnement du parc d'infrastructure de recharge devra prendre en compte la forte densité urbaine, la variabilité dans le temps de la demande (journalière, hebdomadaire, saisonnière) et garantir la mobilité continue du véhicule électrique à l'aide d'installations au niveau résidentiel, dans les immeubles de bureaux ou dans les lieux publics. Ces infrastructures nécessiteront des outils d'optimisation, de lissage et de pilotage de la charge, en lien avec le réseau afin d'assurer la sécurité du réseau et la qualité de la fourniture. En effet, on estime que la charge lente simultanée d'un million de véhicules électriques, soit moins de 3% du parc automobile actuel, appellerait une puissance électrique d'environ 3 GW, soit la puissance de deux centrales nucléaires EPR : un étalement et un pilotage de la charge, fondé sur l'intelligence du réseau et celle du véhicule électrique, est indispensable. L'infrastructure de recharge

devra donc, d'une part, assurer et automatiser la communication entre le véhicule et le réseau et, d'autre part, gérer des fonctions annexes comme l'identification du propriétaire du véhicule ou la facturation.

Cependant, le véhicule électrique offre aussi au réseau des possibilités de pilotage et d'optimisation extrêmement intéressantes, grâce à la capacité de stockage diffus qu'il peut représenter. En effet, un véhicule est le plus souvent à l'arrêt : 95% du temps s'il parcourt 16.000 km par an à 40 km/h de moyenne. Dans la mesure où il est connecté au réseau, sa charge et son pilotage sont contrôlables la majorité du temps et peuvent participer largement à l'équilibre du réseau et à sa stabilité. Ainsi, le même million de véhicules électriques pourrait proposer au réseau jusqu'à 8 GWh, avec une puissance de 1,6 GW. Il est donc possible de fournir au réseau quelques GWh dès la mise en circulation du premier million de véhicules électriques en France.

Cette ambition se fonde sur la qualité des infrastructures de recharge, sur leur capacité à optimiser la charge et à offrir la possibilité de délestage et d'injection ponctuelle d'énergie sur le réseau (gestion de flux d'information et de courant bidirectionnels). Cette ambition suppose évidemment des mesures incitatives qui rémunèreront justement le pilotage de la charge au service de l'équilibre du réseau.

Il faut cependant noter que les spécifications de performances attendues des batteries pour les véhicules électriques sont actuellement peu compatibles avec les attentes placées sur la fonction de gestion de réseau. De même, ce second usage qui est envisagé est de nature à réduire significativement la durée de vie de la batterie embarquée, ce qui compromettrait l'équilibre économique de son exploitation.

Le développement du véhicule électrique doit donc s'accompagner d'infrastructures et d'outils permettant l'optimisation de sa charge. On parle de V2G (*Vehicle To Grid*). Là encore, la maîtrise de la demande d'électricité trouve un important gisement de progrès.

Cet appel de puissance électrique dédiée à la recharge des véhicules électriques va conduire à une modification du scénario conventionnel de la consommation électrique et implique que des dispositions spécifiques à la charge et à sa tarification soient intégrées dès l'origine pour ne pas perturber l'équilibre des réseaux électriques.

Enfin, la charge devra s'effectuer dans le respect des normes applicables tant pour la sécurité des personnes que celles des biens en France.

## C.11 Autres réseaux d'énergie

Le développement d'un réseau électrique intelligent doit permettre d'améliorer l'interactivité avec tous les consommateurs en intégrant des technologies de l'information et de la communication, des automatismes et des équipements de contrôle-commande plus avancés.

Ces technologies se développent aussi sur les autres réseaux d'énergie, de gaz, de chaleur et d'eau. Elles permettront à ces réseaux de devenir eux aussi plus intelligents, au service d'une optimisation et d'une meilleure maîtrise de la demande de ces sources d'énergie.

Les consommateurs, qui disposent de ces multiples sources d'énergie, vont vouloir en optimiser l'usage et ils vont pousser à la convergence et à la compatibilité entre ces réseaux. Les équipements terminaux de ces derniers devront donc intégrer de l'intelligence pour être capables d'interagir avec le réseau électrique.

L'utilisateur pourra alors disposer d'un véritable hub, qui lui permettra d'optimiser son *mix énergétique* global. Le système de contrôle actif saura à tout instant gérer la stratégie d'optimisation du bâtiment ou du domicile, entre la réduction de la demande, l'optimisation des apports électriques gratuits (énergies renouvelables), les apports du véhicule électrique et le choix des équipements de production et de distribution d'énergie. Il utilisera les énergies lorsqu'elles sont les plus pertinentes, et le consommateur ne fera pratiquement plus la différence entre les sources.

Les scénarios de prospective intègrent cette optimisation dans leurs hypothèses et en quantifient l'impact. Ainsi, dans son scénario dit « de référence », RTE considère que des pompes à chaleur pourraient être installées dans l'habitat ancien en conservant toujours les chaudières existantes, que des solutions de chauffage bi-énergie dans ces logements seraient encouragées et pérennisées. Ainsi, lors des jours très froids, la présence d'un appoint fioul ou bois pourrait permettre l'effacement de la pompe à chaleur. À l'échelle de la France, cela représente un potentiel d'effacement de puissance de 1,5 GW sur l'hiver 2012-2013 et de 2,8 GW sur l'hiver 2019-2020.

# D Solutions techniques et architectures des systèmes d'information

Les entreprises du Gimélec ont massivement investi dans la recherche et le développement de technologies efficaces sur l'ensemble de la chaîne de valeur des réseaux électriques intelligents.

L'expertise acquise permet une maîtrise simultanée des disciplines d'électrotechnique, d'électronique de puissance, d'automatismes et de TIC qui sont applicables sur la chaîne de valeur globale d'un réseau électrique intelligent, depuis les producteurs d'énergie jusqu'à l'ensemble des consommateurs. Elles peuvent donc en faire bénéficier largement l'ensemble des parties prenantes impactées par les réseaux intelligents et les différents opérateurs, à savoir les Pouvoirs Publics, les entreprises et les ménages.

L'essentiel de ces technologies est mature et disponible : c'est donc un élan supplémentaire donné à l'ensemble de la filière et un signal fort aux investisseurs sur un programme ambitieux en matière de réseaux électriques intelligents.

## D.1. Comptage, mesure et équipement de contrôle

### D.1.1 Compteurs intelligents

Les entreprises du Gimélec développent des offres de compteurs communicants et des systèmes répondant aux besoins de tous les acteurs amenés à intervenir sur les réseaux intelligents :

- **Les opérateurs de réseau**  
Ils pourront intégrer les informations de comptage intelligent en temps réel à leur centre de contrôle pour permettre une modélisation plus fine du réseau et de la demande, en lien avec les différents usages.
- **Les fournisseurs / agrégateurs**  
Ils permettront un accès plus fréquent aux profils de consommation de leurs clients pour élaborer des offres de tarif et de service multiples.
- **Les consommateurs / consom'acteurs**  
Ils pourront directement accéder à des informations concernant leur consommation. Ils pourront, s'ils le souhaitent, connecter leur compteur avec le système de gestion énergétique et permettre un affichage déporté en temps réel des informations.

L'infrastructure passe par des moyens de communication et des concentrateurs de données associés à un système d'information capable de traiter et modéliser les données générées ainsi qu'à des technologies de contrôle-commande capables de piloter les compteurs.

Ces systèmes de comptage intelligents doivent en particulier être hautement sécurisés pour résister à des cyberattaques et permettre une sécurisation de bout en bout des informations de comptage.

L'ensemble de ces technologies doit s'intégrer avec les dispositifs mis en place par les gestionnaires de réseau qui permettent de faire de la gestion de la charge et de l'optimisation globale du réseau. Il est enfin important de noter que les compteurs communicants ne se situent pas uniquement chez les consommateurs ; ils ont vocation à être placés à tous les niveaux du réseau.

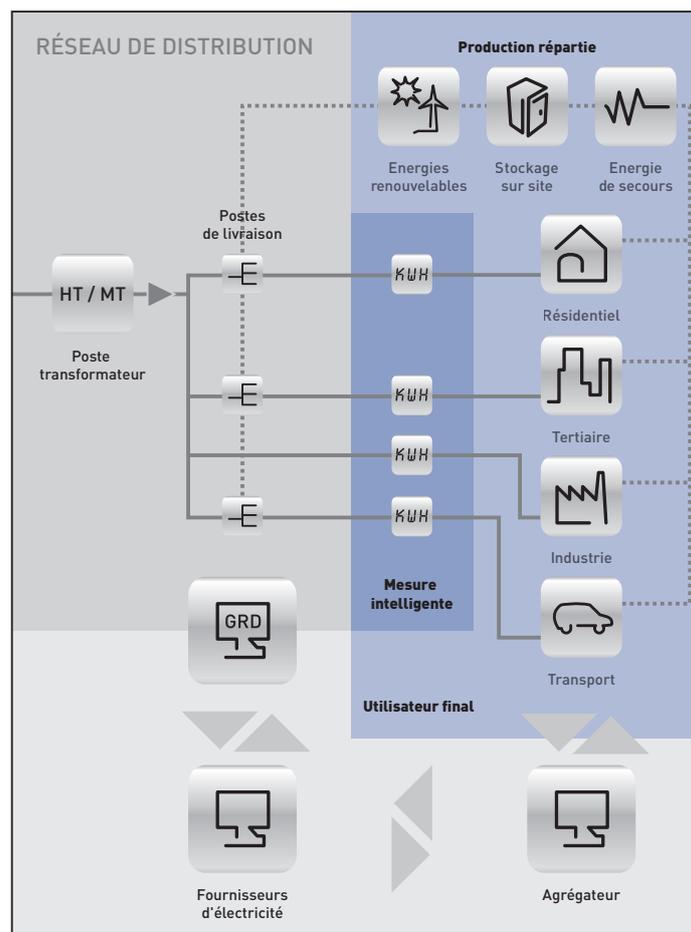


Fig. 20

Les entreprises du Gimelec mettent en œuvre des offres :

- de pilotage à distance des compteurs (AMM, *Advanced Metering Management*),
- de construction des infrastructures nécessaires à la collecte et à la transmission des données de comptage (AMI, *Advanced Metering Infrastructures*),
- de gestion des données collectées (MDM, *Metering Data Management*).

Ainsi, elles sont capables de proposer des offres de comptage, de mesure et d'équipement de contrôle complètes, intégrées et optimisées, au service du développement de réseaux électriques intelligents. Elles participent d'ailleurs au projet d'expérimentation *Linky*, mené par ERDF sous contrôle de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE),

### D.1.2 Equipements de mesure et instrumentation : capteurs, actionneurs et équipements d'automatisme

Les capteurs de données physiques, qui embarquent de plus en plus d'électronique à des coûts compétitifs, permettent d'obtenir, en plus des données de comptage, des informations pertinentes nécessaires d'une part à une gestion optimale des flux dans les réseaux énergétiques et d'autre part à la protection de ces infrastructures. Associés à des actionneurs, les capteurs de courant et de tension, situés au pied de l'appareillage des postes électriques, sont des éléments critiques et de base de l'intelligence du réseau électrique.

Ces équipements mesurent, surveillent et recueillent les informations d'environnement là où ils ont installés. Ces données peuvent être de nature variée, selon les besoins d'analyse et de suivi de la qualité de l'onde électrique (phase, fréquence, tension, intensité, etc.). Ils permettent, en plus, d'analyser ces données, de les formater et de les enregistrer localement. Certaines de ces données sont transmises au niveau des centres de contrôle via des systèmes de télécommunication de diverses natures (optique, *wireless*, etc..) en utilisant différents types de protocoles dédiés.

Les entreprises du Gimélec fournissent des solutions de mesure, d'instrumentation complètes et d'automatisation répondant à tous ces besoins, depuis le capteur jusqu'aux systèmes d'information des clients qui opèrent sur la chaîne des réseaux intelligents, tant sur l'amont compteur (les infrastructures) que sur l'aval compteur (les usages). Elles proposent des dispositifs de cybersécurité permettant de protéger l'accès aux solutions de pilotage de ces infrastructures.

### D.1.3 Equipements de stockage

Les équipements de stockage proposés par les entreprises du Gimélec sont principalement basés sur l'électrochimie Li-Ion. Cette technologie s'est dans un premier temps développée pour répondre aux deux extrêmes du spectre des attentes ; d'un côté, le stockage destiné à la grande consommation de faible capacité, faible coût et durée de vie réduite, essentiellement pour téléphonie mobile et petits équipements similaires et, de l'autre côté, le stockage très performant à cyclage fréquent, longue durée de vie et très faible série pour satellites civils et militaires. Cette technologie peut dorénavant être utilisée pour les applications de stockage au sein d'un réseau électrique.

Intégrés au réseau, des dispositifs de stockage décentralisés peuvent répondre aux besoins d'injection et de soutirage rapide et ainsi participer aux fonctions de service système au niveau national. Dans le cadre d'une gestion plus fine des équilibres locaux, ils peuvent aussi apporter la flexibilité nécessaire au réseau de distribution.

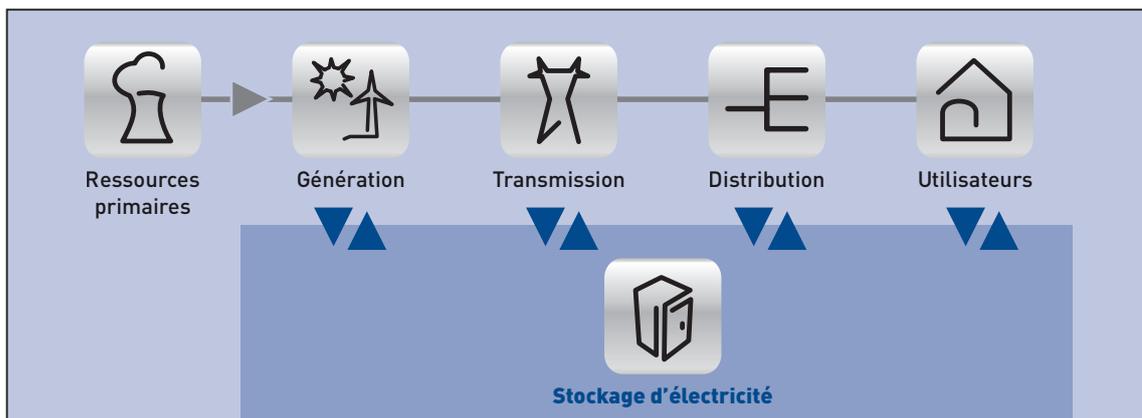
Couplés aux installations de production d'électricité renouvelable d'une certaine dimension, ces dispositifs décentralisés permettent d'améliorer la qualité et donc la valeur d'usage de l'électricité produite, notamment en minimisant l'écart entre le profil de l'énergie réellement produite et le profil d'une prévision communiquée préalablement au gestionnaire, en lissant la production pour en gommer l'intermittence (sur période comprise entre quelques secondes et quelques heures) et en déplaçant (de quelques heures) l'injection de la période de production vers la période de pointe de consommation.

Le panachage de ces différentes fonctions, au bénéfice du réseau comme de l'installation de production, est d'ailleurs le modèle d'affaire envisagé et testé à ce jour.

À l'extrémité de la ligne, les équipements de stockage « diffus », situés en proximité immédiate des producteurs domestiques et de capacité réduite, permettent d'assurer l'autoconsommation de ces utilisateurs, autoconsommation génératrice d'économies pour la collectivité (réduction du tarif de rachat), pour le client (facture d'électricité réduite) et pour l'opérateur de réseau (moindre besoin d'adaptation du réseau aux exigences des ENR).

Enfin, ces installations diffuses peuvent aussi être placées sous le contrôle et la commande d'un opérateur de réseau dans le cadre d'un contrat adapté. L'opérateur dispose ainsi d'un « nuage d'énergie » (*cloud storage*) qui lui donne la possibilité d'insérer aux tranches horaires désirées une énergie répartie.

Il est à noter que d'autres technologies de stockage éprouvées sont à la disposition des opérateurs. Ces dernières couvrent plutôt les besoins de stockage massif et sont en dehors du champ couvert par le Gimélec : Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) ou encore *Compressed Air Energy Storage* (CAES). D'autres enfin sont en phase de développement ou de mise au point tels que les volants d'inertie ou le stockage par hydrogène.



		Service	
		Opérateurs de génération et transmission	Utilisateurs
Localisation	centralisée (MW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Energie</b> Déplacement d'énergie dans le temps</li> <li>• <b>Puissance</b> Ecrêtage - Lissage - Montée en puissance - Services réseaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Stockage commercial</b> Ecrêtement de la demande pour réduire les facturations en heures « pleines »</li> </ul>
	décentralisée (kW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Réseaux de distribution</b> Contrôle des flux d'énergie entre génération décentralisée et réseau de distribution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Maisons intelligentes</b> Autoconsommation Maison avec zéro impact énergétique Protection contre les pannes secteur</li> </ul>

Fig. 21

## D.2 Systèmes de pilotage d'infrastructures

Les entreprises du Gimélec accompagnent les producteurs d'électricité, les gestionnaires de réseau et les agrégateurs énergéticiens en leur proposant un ensemble d'équipements, d'infrastructures électriques et des moyens de pilotage associés.

Dans le cadre du développement des réseaux électriques intelligents, elles proposent des solutions de centre de pilotage intégrées pour faciliter notamment le pilotage de la production à base d'énergie renouvelable, l'optimisation des flux d'énergie dans les réseaux de Transport et de Distribution (centres de contrôle) ainsi que la gestion temps réel de la maîtrise de la demande en énergie (MDE).

Les entreprises du Gimélec maîtrisent en particulier l'ensemble des technologies logicielles et applicatives d'optimisation énergétique, ce qui leur permet de fournir des solutions « produit » complètes de pilotage des infrastructures de production, de réseau et de consommation en faisant bénéficier les opérateurs de ces infrastructures des meilleurs pratiques établies dans le monde dans ce domaine. Ces solutions s'appuient sur un socle temps réel *middleware* issu des SCADA (systèmes de contrôle et de supervision au niveau des mesures et des commandes), complété par un ensemble d'applications logicielles nécessaires à un équilibrage temps réel et une optimisation énergétique multiniveau de ces infrastructures. Ces systèmes permettent typiquement de piloter l'ensemble de la production (fréquence, qualité de l'énergie, convertisseurs de puissance, transformateurs, poste électrique) des équipements de réseau (poste de transport et de distribution) ainsi que l'agrégation des ressources de production, de consommation et de stockage distribuées selon différentes échelles temporelles allant de la milliseconde (pour la stabilité dynamique des réseaux) à la seconde, la minute, l'heure et jusqu'à des horizons temporels multijournaliers (pour permettre une optimisation de programmes de flux énergétiques).

Parallèlement à l'architecture physique des réseaux de transmission et de distribution d'énergie, ces systèmes nécessitent le déploiement d'infrastructures de communication permettant une circulation temps réel bidirectionnelle des informations nécessaires à la gestion des réseaux et des responsables d'équilibre dans le réseau (incluant les marchés d'équilibre). Le déploiement des réseaux intelligents nécessite notamment un renforcement significatif des réseaux de communication et de transmission des données pour permettre, d'une part, l'intégration de la production décentralisée et, d'autre part, un pilotage plus flexible des moyens de consommation (offrant de nouvelles ouvertures auprès des clients finaux). Les entreprises du Gimélec ont historiquement établi des relations stratégiques avec les équipementiers de télécommunication pour réaliser l'adaptation de ces technologies aux spécificités du monde de l'énergie (disponibilité, environnements électromagnétiques contraints, besoins de résilience en cas d'incident énergétique majeur).

L'architecture générale mentionnée dans ce document s'appuie sur les recommandations scientifiques exprimées au travers de différents groupes de travail internationaux tels que le groupe de travail D2.24 du comité d'étude CIGRE (Système de gestion de l'énergie – Architecture pour le 21<sup>ème</sup> siècle), le Comité Technique de normalisation IEC TC57 (Conduite des systèmes de puissance et échanges d'informations associées) ainsi que les projets de recherche déjà réalisés dans le cadre de différents programmes internationaux liés au déploiement de réseaux intelligents (en particulier le projet européen Fenix qui correspond aux fonctions du point C6 du présent document).

Cette architecture distingue :

- les Systèmes liés à la gestion de Centrales Virtuelles Commerciales (CVPP), assurant l'accès au marché d'une agrégation de centrales de production décentralisée et de moyens de consommation flexible (agrégation de points de consommation flexible),
- les Systèmes liés à la gestion de Centrales Virtuelles Techniques (TVPP), assurant la stabilité du réseau et l'optimisation des réseaux énergétiques dans leur ensemble en prenant en compte, d'une part, le modèle technique de l'ensemble des ressources de production, consommation et stockage fournies par les CVPP et, d'autre part, les contraintes techniques et limites liées à la gestion des infrastructures de réseau.

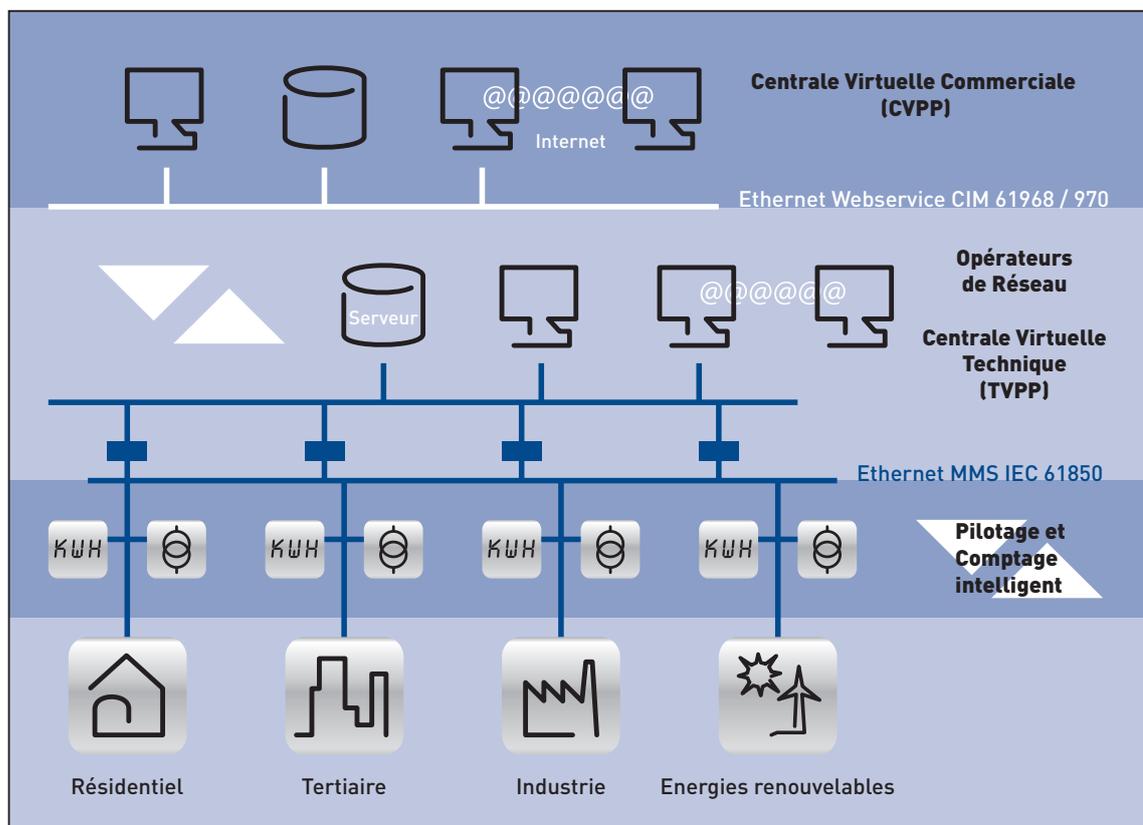


Fig. 22 : L'architecture de contrôle des réseaux électriques intelligents

Le schéma précédent représente les différents étages de l'architecture de Système d'information du réseau intelligent interconnectant les différentes sources de production, de consommation et de stockage décentralisées jusqu'au niveau du pilotage des réseaux et des marchés. Il capitalise sur le déploiement et la pénétration des réseaux IP aux plus bas niveaux des procédés et des infrastructures. Il s'appuie sur les standards établis par le TC57 de l'IEC, en particulier :

- **MMS IEC61850** pour l'échange d'informations techniques temps réel (pas de temps à la seconde et moins), pour la gestion des services auxiliaires « primaires » entre les moyens de production renouvelable et la Centrale Virtuelle Technique (par exemple le contrôle de fréquence, pilotage de tension, réglages harmoniques, etc.),
- **CIMxml Service Web** (standard IEC) pour l'échange d'informations techniques (pas de temps minute et plus) pour la gestion des services auxiliaires « secondaires » et ter-

tières entre les moyens de production renouvelable et la Centrale Virtuelle Commerciale (programmes de production J-1 & *Intraday*, programmes d'équilibre, programmes de réserves secondaires et tertiaires, etc.).

La Centrale Virtuelle couvre notamment les fonctions suivantes :

- **Les outils de supervision des moyens de production et de consommation distribuée.** Un des premiers enjeux pour l'opérateur de réseau de transport est de disposer de 100 % d'observabilité de ces moyens de production ou de consommation flexible. Ceci est possible via la connexion des systèmes de télémesure et d'échange d'informations (DEIE) ou de systèmes SCADA via des protocoles de communication standards (IEC 870-5-101/104 par exemple amenés à évoluer vers de nouveaux standards orientés objet tels que l'IEC61850 permettant une intégration IT de ces ressources à moindre coût),
- **Les outils de gestion active des moyens de production et de consommation distribuée,**
- **Les outils de prévision d'énergies renouvelables.** L'intégration des prévisions de production d'énergie renouvelable en France au niveau de la conduite est une étape clé pour améliorer la connaissance des conditions à venir. Grâce à la mise à jour périodique des prévisions, les incertitudes liées à la production intermittente des fermes éoliennes ou solaires sont réduites et un calcul des nouvelles réserves de production nécessaires peut être réactualisé afin de ne pas surdimensionner celles-ci. D'autre part, la gestion d'alarmes associées à des fortes variations de conditions climatiques ou de production d'énergie renouvelable peut alerter l'opérateur sur la nécessité de relancer les études de sécurité réseaux sur la base des dernières informations reçues.
- **Les outils de contrôle automatique des moyens de production et de consommation distribuée.** À ce jour, le contrôle automatique (asservissement automatique pour le réglage secondaire fréquence / puissance) est relativement peu mis en œuvre dans les pays européens au niveau des fermes éoliennes, alors même que la technologie et la législation le permettent. L'enjeu se situe donc davantage au niveau de l'amélioration de la connaissance des conditions d'exploitation des moyens de production (par exemple la disponibilité des ouvrages de production) et de l'amélioration des prévisions de production. De meilleures prévisions permettront un calcul optimal des besoins de réserves et donc une minimisation des écarts et des sollicitations vers le marché d'ajustement.

Deux entités distinctes composent une centrale virtuelle :

**La centrale virtuelle Commerciale (CVPP, *Commercial Virtual Power Plant*)** assure l'accès au marché de l'électricité de la production de différents sites. Elle planifie, facture la fourniture d'électricité et est aussi responsable des contrats de livraison. Elle dispose d'outils de prévision des moyens de production intermittents d'énergie distribuée, d'un suivi en temps réel de la production et de la consommation par rapport aux prévisions. Elle est aussi en charge de la supervision du vieillissement et de l'usure des équipements dont elle assure la maintenance. C'est enfin elle qui se charge de centraliser les données de comptage et de facturer l'électricité produite, en optimisant les revenus à partir du portefeuille de production et de la demande sur le réseau.

**La centrale virtuelle technique (TVPP, *Technical Virtual Power Plant*)** assure la stabilité du réseau d'énergie auxquels les moyens de production décentralisée agrégés sont connectés. Elle dispose d'outils de supervision, de gestion et de pilotage centralisé des ressources connectées

au réseau en visant à préserver la disponibilité de ce dernier et en maximiser son usage temps réel. Ces solutions de dispatching, généralement opérées par les gestionnaires de réseau, couvrent en particulier les fonctionnalités suivantes :

- **Les Outils de gestion de marché d'équilibrage**  
Ces outils offrent aux acteurs du marché une interface temps réel permettant un équilibrage instantané du réseau en lien avec les programmes de production et de consommation échangés avec les acteurs de production et les agrégateurs de consommation. Ces outils sont critiques pour indiquer le prix de l'énergie en temps réel en fonction des ressources énergétiques disponibles à chaque instant au niveau du système. Dans le cadre des réseaux intelligents, ces outils doivent évoluer pour permettre une interaction en temps réel des transactions énergétiques avec la granularité nécessaire pour permettre aux agrégateurs de consommation de positionner leurs nouvelles offres d'énergie flexible.
- **Les Outils d'estimation d'état et d'analyse de contingence transport**  
Sachant que la majeure partie de la production d'énergie éolienne est injectée depuis les réseaux moyenne tension (HTA), il est important pour les analyses de sécurité réseaux de disposer d'informations fiables sur les injections effectives au niveau des points de raccordement au réseau de transport, non seulement en temps réel, mais aussi pour un futur proche. Grâce aux télémesures complétées par les techniques d'estimation, grâce au calcul d'agrégation des prévisions d'injection aux points de raccordement au réseau de transport, les calculs d'estimation d'état gagnent en observabilité et les calculs d'analyse de contingence gagnent en précision. Ces outils doivent en particulier évoluer pour mieux intégrer les modèles liés à la gestion de ressources de production intermittente et pour intégrer les points de consommation flexibles.
- **Les Outils d'observabilité et d'analyse de contingence distribution**  
Tout comme pour la conduite des réseaux de transport, un des principaux enjeux de la conduite en distribution est de disposer d'informations fiables en temps réel ainsi qu'en prévisionnel (d'où l'importance d'un interfaçage avec les outils de prévisions de production, notamment pour les parcs d'éoliennes). Grâce à ces informations, les applications d'analyses réseaux peuvent détecter les risques potentiels de surcharge et permettre à l'opérateur de modifier les consignes de production voire de consommation (lorsque cette dernière est flexible) pour revenir à des conditions d'exploitation normales. Un autre enjeu est de s'assurer qu'aucun moyen de production décentralisé n'opère en condition de réseau isolé, ceci afin de limiter les risques de sécurité et de dommages sur les réseaux, ouvrages et personnels intervenant sur ces réseaux.
- **Les Outils de pilotage de Tension**  
Un des problèmes de l'insertion de productions décentralisées et de véhicules électriques dans les réseaux de distribution est la possibilité d'avoir un plan de tension hors condition nominale d'exploitation. Dans ce cas, et si les ouvrages réseaux et de production le permettent, il est possible d'optimiser le plan de tension sur ces réseaux grâce à des fonctions de type VVC (*Voltage Var Control*) qui permettent d'asservir des profils de tension, sous réserve de disponibilité de téléinformation, d'intelligence locale et d'actionneurs avec effet sur la consigne de tension. Ces outils permettent en particulier une meilleure optimisation des pertes au niveau des systèmes énergétiques dans leur ensemble.

### D.3 Pilotage de la demande

En aval du compteur, les entreprises du Gimélec offrent différents types de systèmes d'automatisation, d'efficacité énergétique active et de gestion de la demande, partie prenante de la gestion active dans l'industrie, dans les bâtiments tertiaires et résidentiels (Cf C7-8-9) au service des utilisateurs et des consommateurs.

Dans le monde industriel, par exemple, les systèmes de contrôle-commande de procédés et d'utilités énergétiques intégrant des moteurs électriques à vitesse variable permettent une plus grande flexibilité des processus industriels.

Dans le monde tertiaire et commercial, les offres de Gestion Technique du Bâtiment s'adaptent, en intégrant le pilotage de systèmes et la gestion de données techniques et économiques en interaction avec le réseau électrique et les systèmes de communication associés.

Proposées aux maîtres d'ouvrage et gestionnaires de bâtiment soucieux d'optimiser leur efficacité énergétique, ces solutions intègrent différentes technologies déjà disponibles (contrôleurs programmables, système de comptage et de sous-comptage, télé-services...) qui permettent d'envisager, avec les acteurs qui conviennent, le développement rapide et prioritaire d'un marché de l'effacement dans le monde tertiaire.

Aux consommateurs domestiques, les entreprises du Gimélec proposent des systèmes gestion de la demande intégrant des offres d'effacement qui pilotent au plan énergétique des systèmes domotiques existants ou à installer. Associées ou non à un compteur communicant et via des interfaces utilisateurs dédiées, ces applications offrent la possibilité au consommateur de mesurer précisément l'impact de ses usages électriques (coût et impact CO<sub>2</sub>) et de modifier ses comportements pour améliorer son efficacité énergétique de façon active, tenant compte d'une nécessaire modulation tarifaire dynamique.

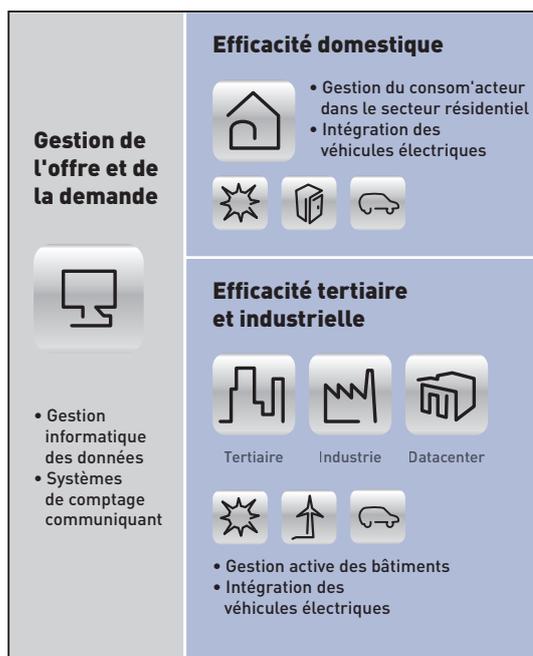


Fig. 23

Ces mêmes entreprises offrent des dispositifs de stockage diffus (associés aux installations de production domestique d'ENR). En adaptant la courbe de production locale à la courbe de charge domestique, ces dispositifs permettent de réaliser au plus près du consommateur un meilleur équilibre production-consommation.

Le pilotage de la demande passe aussi par des solutions d'agrégation et d'effacement diffus intégrées à la centrale virtuelle (cf. paragraphe précédent).

Ce type d'offre de service consiste à agréger des capacités d'effacement diffus dans les différents foyers afin de valoriser sur le marché de l'énergie une capacité de délestage. Ce délestage peut être effectué sur ordre extérieur ou, plus simplement, en fonctionnement automatique sur les heures de pointe. Le consommateur en sera averti la veille et aura moyen de déroger au délestage. L'efficacité de ce type de pilotage peut être renforcée par la mise à disposition d'un stockage auprès des producteurs domestiques d'ENR.

## D.4 Infrastructures de télécommunication

Les entreprises du Gimélec ont toujours associé à une infrastructure de télécommunication les équipements et les infrastructures fournis à leurs clients. En effet, parallèlement à l'architecture physique de transport et de distribution électrique, le réseau de communication assure la circulation d'informations nécessaires à la gestion du réseau : pas de système de supervision d'infrastructure sans transmission de données et système de télécommunication associé...

On peut d'ailleurs remarquer que le réseau de fibre optique installé sur le réseau de RTE est le troisième plus long de France, avec 15.000 kilomètres de fibre optique portés par près de 250.000 pylônes électriques. Au delà de son usage propre, RTE valorise d'ailleurs ses infrastructures télécom en les louant, via sa filiale @rteria, aux collectivités territoriales et aux opérateurs de télécoms.

Pour autant, l'intégration de la production décentralisée va nécessiter un renforcement considérable des capacités des infrastructures de télécommunication. Les évolutions récentes et la standardisation des réseaux télécom autour de l'IP ou des standards issus du TC 57 de la CEI ou de la CEI 61850 apportent des solutions à forte valeur ajoutée (flexibilité et simplicité de l'accès à l'information, transparence et partage d'interfaces standardisées). Cependant, ces solutions nécessitent d'être correctement couplées au réseau électrique et de répondre à ses besoins spécifiques. Les enjeux de cybersécurité, de protection et de confidentialité des données demeurent particulièrement cruciaux à tous les niveaux du réseau.

Fortes de leur expertise métier dans le monde électrique, les entreprises du Gimélec fournissent aujourd'hui des solutions de téléconduite et télécontrôle des postes et centrales de commande qui utilisent les infrastructures télécoms parallèles aux infrastructures électriques. Les entreprises du Gimélec souhaitent poursuivre cette collaboration fructueuse avec les entreprises du monde des télécoms et des technologies d'information et rappeler que l'infrastructure du réseau électrique est absolument indissociable de son « intelligence ». Les infrastructures de télécommunication associées au développement d'un réseau d'électricité intelligent devront être le fruit d'une vraie intermédiation entre les métiers et les expertises intersectorielles.

## D.5 Systèmes d'information

Les entreprises du Gimélec n'ont donc pas vocation à proposer à leurs clients des solutions de systèmes d'information de gestion. En revanche, les équipements et infrastructures qu'elles fournissent à leurs clients embarquent de plus en plus de couches logicielles intégrées (*firmware*) associées à des systèmes d'information techniques dédiés à leur métier. Ces couches logicielles permettent de contrôler et de piloter au mieux ces équipements. Les entreprises du Gimélec sont donc des fournisseurs de logiciels sur leurs propres équipements et proposent à leurs clients des logiciels spécifiques de leurs métiers, en particulier les applicatifs d'un réseau électrique intelligent.

En conséquence, la responsabilité des entreprises du Gimélec est de fournir des systèmes de gestion technique qui puissent s'interfacer au mieux avec les systèmes d'information, les ERP et autres systèmes de gestion. Ce faisant, les flux bidirectionnels d'information peuvent être véhiculés par le réseau de télécommunication vers des partenaires qui sauront en tirer profit (facturation, information, supervision et gestion, etc.).

Les entreprises du Gimélec souhaitent rappeler que les développements logiciels nécessaires au déploiement d'un réseau électrique intelligent seront le fruit d'une collaboration accrue entre les parties prenantes et que les solutions de systèmes d'information n'ont de sens qu'en interaction et en bonne compréhension avec les données des équipements électriques.

Cette coopération accompagne, en particulier dans le cadre de ces partenariats, les aspects liés à la cybersécurité, afin de protéger les réseaux contre tout risque d'attaque qui pourrait se traduire par une prise de contrôle du réseau et son éventuel effondrement. Les entreprises du Gimélec appliquent à cette fin un certain nombre de règles, de normes et de standards existants.

De même, toujours dans le cadre de ces collaborations, elles intègrent dans leurs démarches de conception les principes fondamentaux liés à la gestion de données privées.

## D.6 Solutions à bases d'électronique de puissance

L'électronique de puissance regroupe l'ensemble des technologies qui permettent la commande électronique des processus de conversion de l'électricité (onduleurs, redresseurs, etc.). Ces technologies sont au cœur du métier des entreprises du Gimélec.

L'électronique de puissance va prendre une importance croissante dans le management de l'énergie, en particulier dans les réseaux électriques. Ces technologies sont présentes à tous les niveaux de la chaîne électrique, des moyens de production aux équipements des consommateurs en passant (bien évidemment) par le réseau électrique. Fondées sur des systèmes électroniques, elles facilitent la transmission, la collecte et le partage d'informations, en temps réel avec d'autres éléments du réseau. Leur développement et leur intégration au réseau permettent donc de les mettre au service du développement des réseaux électriques intelligents. Ces technologies offrent des solutions particulièrement attractives pour faciliter le développement des énergies renouvelables. Toutes les éoliennes ainsi que les installations solaires photovoltaïques comprennent des convertisseurs permettant la connexion au réseau. Pour

de grands parcs de production éolienne off-shore installés loin des côtes, des autoroutes de l'énergie à base de liaisons en courant continu à haute tension (HVDC) assureront la connexion au réseau. Des quantités importantes de courant, produites parfois à plus de 50 km des côtes, peuvent ainsi être transmises avec des pertes et des coûts réduits. Tous ces équipements ont aussi un rôle important pour assurer une qualité d'électricité élevée, conforme aux règles imposées par les opérateurs de réseau.

Ces technologies sont également au cœur des dispositifs de pilotage des solutions de stockage et de gestion de la charge/décharge des batteries. Les entreprises du Gimélec offrent les solutions technologiques qui permettent aux fournisseurs d'une solution de stockage d'enrichir la fonction d'une batterie par des fonctionnalités complémentaires et de disposer ainsi d'un système performant de stockage adapté aux différents besoins d'un réseau électrique. Elles apportent des solutions aux différentes échelles, de la gestion de moyens de stockage pour lisser des fluctuations à très court terme à la gestion et au pilotage des infrastructures de charge des véhicules électriques, en passant par le stockage de quelques minutes (qui améliore la disponibilité de l'alimentation électrique dans un bâtiment tout en procurant une certaine capacité de délestage).

L'électronique de puissance offre également des solutions pour améliorer l'efficacité du réseau de transport. Elle se retrouve ainsi dans les Systèmes de Transmission Flexible en Courant Alternatif (FACTS, *Flexible Alternating Current Transmission Systems*), ensemble d'équipements d'appoint utilisés pour contrôler la tension, assurer la stabilité dynamique et améliorer les capacités de transit des réseaux.

Les entreprises du Gimélec proposent enfin des solutions d'électronique de puissance innovantes aux clients industriels. Les équipements (variateurs de vitesse, onduleurs, filtres harmoniques actifs et passifs, redresseurs qui intègrent des semi-conducteurs comme les thyristors, etc.) ont pour objectif d'optimiser la qualité de l'onde électrique utilisée par les équipements industriels. Ils permettent notamment la compensation d'énergie réactive, c'est-à-dire la diminution de la part de la puissance du courant alternatif qui n'est pas transformée en chaleur ou en travail par les équipements électriques<sup>19</sup>. Ce faisant, l'énergie totale soutirée au réseau est globalement réduite. Avec des économies d'énergie réalisées qui se chiffrent par dizaines de % de la consommation globale, les procédés de compensation d'énergie réactive constituent des solutions extrêmement attractives en matière de maîtrise de la demande d'électricité.

## D.7 Architectures d'ensemble de systèmes et sous-systèmes

Un réseau électrique intelligent repose sur l'interaction de multiples compétences, des producteurs d'électricité aux consommateurs de tous types, en passant par les gestionnaires du réseau. S'y ajoutent de nouvelles parties prenantes, tels que les acteurs de la mobilité électrique (constructeurs automobiles), les acteurs du monde des systèmes d'information, ou encore les acteurs de la domotique. Un réseau électrique intelligent est ainsi un véritable écosystème.

Dès lors, la valeur ajoutée générée par chaque sous-système rattaché au réseau dépend prioritairement de son intégration optimale dans l'architecture d'ensemble de ce réseau. Ainsi, si l'installation de compteurs communicants est une condition sûrement nécessaire à la mise en œuvre d'une tarification flexible et dynamique, elle est très loin d'être suffisante. Sans une

vision d'ensemble et une compréhension des enjeux de cohérence globale de l'écosystème, il est tout à fait envisageable d'assister au développement d'architectures de sous-systèmes particulièrement réussies en elles-mêmes, mais qui ne permettront pas d'accompagner le développement d'un véritable réseau d'électricité intelligent, et les objectifs fixés ne pourront pas être atteints.

Les entreprises du Gimélec proposent des solutions d'équipement et d'architecture système à tous les acteurs des réseaux électriques. Elles bénéficient d'une vision globale des futurs réseaux électriques intelligents et sont bien positionnées pour en accompagner les enjeux de coordination globale.

Elles insistent sur l'intérêt de collaboration à l'échelle européenne au travers de consortiums et de politiques ainsi que sur l'importance d'une standardisation globale et cohérente. Elles mettent également l'accent sur la nécessité de partage entre les parties prenantes de plateformes communes de développement.

Dans ce cadre, le Gimélec a vocation à devenir le chef de file de cet écosystème complexe et souhaite, par l'expertise acquise lors de ses travaux techniques et normatifs au plan international et par sa compréhension des besoins, se faire le porte-parole de l'industrie à tous les niveaux des pouvoirs politiques nationaux et européens.

# E.

## Opportunités pour une filière industrielle française du *Smart Grid*

### E.1. Une filière industrielle performante qui trouve des relais de croissance

#### E.1.1 Des écosystèmes de croissance

La France bénéficie aujourd'hui d'une industrie énergétique et électrique de renom, filière d'excellence internationalement reconnue et dotée d'un socle normatif performant.

Le contexte énergétique est globalement positif en France, avec un faible coût collectif de l'électricité<sup>20</sup>, une production peu carbonée<sup>21</sup>, une bonne sécurité d'approvisionnement, des tarifs intéressants pour les particuliers, une stabilité du réseau et un faible niveau de congestion en dehors de quelques régions (Bretagne, PACA). Ce contexte, associé à un certain nombre de solutions technologiques et industrielles déjà disponibles, offre un terrain favorable à l'émergence de réseaux électriques intelligents.

À l'instar du programme électronucléaire des années 1970 qui avait permis l'émergence de la filière électrique actuelle, l'émergence d'une filière *Smart Grid* reconnue constitue une grande opportunité pour la France de maintenir son leadership industriel en Europe et dans le monde.

La filière industrielle électrique, représentée par le Gimélec, est constituée par les fournisseurs d'équipements et de services pour l'ensemble des acteurs du réseau, de la production d'électricité aux consommateurs industriels, tertiaires et domestiques. Cette filière industrielle se complète par sa filière aval, constituée par l'ensemble des acteurs qui sont à l'interface entre l'industrie et le consommateur : les installateurs et metteurs en œuvre de nos offres, les grossistes et distributeurs, les bureaux d'étude, les entreprises de service de maintenance, les entreprises de chauffage et de climatisation ou encore les opérateurs de réseau.

Pour se développer, cette filière doit être soutenue par de véritables écosystèmes de croissance. Ces écosystèmes intègrent de nombreux acteurs : aux acteurs historiques de la filière se joignent aujourd'hui de nouveaux entrants, qui proposent de nouvelles sources de valeur ajoutée dans de nouveaux cadres d'interaction. Ils sont les porteurs de nouvelles offres de produits et de service associées à de nouveaux modèles d'affaires, offres qui permettront le développement d'un réseau électrique intelligent.

Auprès des gestionnaires de réseau doit se développer un écosystème dédié, constitué d'acteurs qui proposeront des offres de stockage local, de production locale (centrale virtuelle de production), d'effacement de consommation (agrégateurs de demande), d'optimisation du réseau, de prédiction de charge ou encore de maintenance des installations.

Auprès des consommateurs doivent se développer des offres de services de gestion énergétique (pilotage de la production décentralisée, effacement, optimisation multi-énergie, gestion de la charge des véhicules électriques), des contrats d'engagements de performance (bâtiments tertiaires, collectivités) ainsi que des offres de contrats énergétiques plus flexibles et enrichis de services additionnels (facturation dynamiques de l'électricité, facilités de changements de puissance ou de transfert d'abonnement, choix d'une électricité verte, etc.).

L'ensemble des fournisseurs d'équipements pour la maison participe au développement d'un réseau électrique intelligent en associant leurs produits et leurs offres au réseau (gestionnaires d'énergie, afficheurs, etc.). Ils peuvent être associés aux acteurs télécom dont les atouts (grande connaissance du client final, capacités de facturation, d'assistance, maîtrise des canaux de distribution et de communication, image technologique) peuvent les amener à proposer des offres *triple play* enrichies d'offre domotique ou de GTB évoluée intégrant de la gestion énergétique.

Enfin, les acteurs du monde du transport électrique (constructeurs automobiles, transport publics) doivent s'associer aux membres de la filière électrique, leurs offres étant indissociables des infrastructures du réseau associées. Ils forment ensemble un autre écosystème de croissance pour la filière électrique.

### E.1.2 Nouveaux modes d'interaction

Un réseau électrique intelligent repose sur des modes d'interactions nouveaux entre toutes ces parties prenantes. Ces interactions sont rendues possibles par des interfaces d'échange claires et standardisées.

Les gestionnaires des réseaux de transport et de distribution vont devoir faire face à des flux d'électricité désormais bidirectionnels, les consommateurs pouvant également être des producteurs. Ces flux supposent une collaboration plus avancée (systèmes de contrôle, partage d'information en temps réel) entre les gestionnaires de réseaux, pour favoriser des équilibres locaux (sur le réseau de distribution) tout en assurant la stabilité et la sécurité globale du réseau.

Comme les producteurs, les fournisseurs de solutions de stockage, d'effacement ou de pilotage de la charge des véhicules électriques doivent pouvoir trouver leur place dans le fonctionnement des marchés de l'électricité au travers d'engagements contractuels justes pour tous les acteurs auprès des gestionnaires de réseau. Le consommateur doit bénéficier d'informations pertinentes concernant ces offres pour en percevoir la valeur.

Les données issues du comptage vont être multiples et riches. Le gestionnaire du réseau de distribution doit gérer les flux, retransmettre les informations reçues en toute confidentialité, et partager les données de façon efficace fiable et non discriminatoire aux fournisseurs de services reconnus comme tels.

### E.1.3 Effet d'entraînement et rôle des entreprises du Gimélec

La filière *Smart Grid*, qui regroupe donc des acteurs multiples aux compétences distinctes mais complémentaires, pourra avoir un effet d'entraînement important sur toutes les industries qui

y sont liées au travers des écosystèmes de croissance – transport, bâtiment et activités de services associées (installateurs, réparateurs, etc.) –, à supposer qu’il y ait un cadre juridique et réglementaire adapté à la collaboration de tous ces acteurs.

La diversité des acteurs, tant par leur taille, leur positionnement et leur expertise, démontre bien l’enjeu de coordination globale et de définition d’interfaces claires entre toutes ces parties prenantes, au service de notre stratégie énergétique.

En tant que fournisseurs de solutions technologiques et de services associés, les entreprises du Gimélec sont présentes à tous les niveaux de la filière et proposent des offres répondant à toutes les **valeurs d’usages** de chaque typologie de clientèle. Leur vision s’appuie sur des réalités industrielles (technologies existantes et souvent éprouvées), sur leur connaissance des spécificités du monde de l’électricité et sur l’ambition de bâtir les modèles économiques qui génèrent une véritable valeur ajoutée auprès des clients. Elles préconisent de s’appuyer sur leur expertise pour construire un écosystème globalement performant et pérenne, c’est-à-dire capable de répondre aux valeurs d’usages perçues par les clients.

Les expériences passées ont bien montré que sans l’adhésion des utilisateurs, les meilleures technologies ne trouvent pas de marché (ex : le véhicule électrique et la domotique dans les années 1990). On peut d’ailleurs remarquer que les déploiements des compteurs communicants en Californie, Texas et aux Pays-Bas sont ralentis actuellement à cause de procédures à l’initiative de groupes de consommateurs.

## E.2. Grands acteurs historiques et entreprises émergentes de la filière

Les potentielles parties prenantes du développement d’un réseau électrique intelligent sont de natures très variées. La France voire l’Europe disposent de leaders internationaux, de nouveaux entrants et d’un foisonnement de *startups* innovantes et émergentes.

Les industriels de la filière sont des firmes multinationales reconnues et intégrées. Ils sont les fournisseurs des grands producteurs d’électricité et gestionnaires de réseau, dans un contexte de monopole ou quasi-monopole en France et en Europe. La filière compte aussi des entreprises plus spécialisées – chacune bien souvent leader mondial dans son domaine – ainsi qu’un grand nombre de spécialistes, de généralistes et de *startups* dans la fourniture de compteurs, sur le marché des équipements de commande et de régulation, chauffage et climatisation.

Les écosystèmes de croissance se développent également grâce à de nombreux acteurs.

Les nouvelles offres de management de l’énergie sont en train de se développer, portées par des *startups* ou filiales de grands groupes, sur les logiciels et services de récupération de données de gestion d’énergie. Des opérateurs dédiés aux offres d’effacement diffus à partir de logiciels dédiés voient également le jour.

De nombreuses firmes se développent pour proposer des solutions de télécommunication qui répondent aux besoins d’un réseau d’électricité intelligent : certaines entreprises technologiques proposent des composants électroniques utilisant soit des technologies radio soit le

courant porteur en ligne sur différents appareils destinés aux usages domestiques et tertiaires. Les acteurs de la filière travaillent de longue date en partenariat avec ceux de l'industrie informatique (équipementiers, fournisseurs de composants, fournisseurs de services informatiques et de systèmes d'information de gestion, etc.).

Le stockage et le développement de batteries sont soutenus par les acteurs de la filière électrique industrielle. D'autre part, des développements sont menés pour le compte des constructeurs automobiles dans le cadre des accords stratégiques qui se sont mis en place entre constructeurs français et japonais, par exemple.

Les initiatives françaises répondent avant tout aux problématiques européennes, avec une forte composante locale. Mais le marché auquel elles s'adressent à terme est mondial et elles peuvent aussi connaître de grands succès à l'export.

Les acteurs de la filière électrique intègrent aussi dans leurs projets d'innovation les acteurs de leur filière aval.

### **E.3. Pôles de compétences, démonstrateurs et projets de recherche**

Les technologies et services mis au service d'un réseau électrique intelligent doivent être fiables, abordables et compétitifs. Les modèles économiques associés doivent être pérennes, c'est-à-dire que la valeur ajoutée de ces offres doit être correctement perçue par les différents types de consommateurs pour justifier leur prix et leur assurer des débouchés.

Ces objectifs nécessitent un effort continu de R&D pour tester, valider et démontrer la valeur et la pertinence de ces offres qui vont intégrer plusieurs dimensions (technologies électriques, informatiques, service associés). Il s'agit de maintenir et de renforcer dans la durée les positions actuelles pour favoriser une filière d'excellence, avec des emplois non dé-localisables, des technologies et de nouveaux métiers associés.

La France a donc intérêt à multiplier les projets de recherche, les pilotes et les démonstrateurs pour se positionner comme un acteur de référence à l'international et faire levier avec son expertise en termes d'architecture de réseaux électriques. Les projets de démonstrateurs à grande échelle jouent, en particulier, un rôle crucial dans le développement et l'adoption d'un réseau électrique intelligent, car ils constituent un moyen d'adhésion et de compréhension à grande échelle des bénéfices d'un tel réseau (intégration de la dimension sociologique, expérimentation grandeur nature de la maîtrise de la demande).

En partenariat avec le secteur industriel, les fournisseurs de services et les centres de recherche publics comme privés, les entreprises du Gimélec se mobilisent déjà pour travailler ensemble à la concrétisation de nombreuses solutions. Elles bénéficient du soutien des pouvoirs publics (appels à projet et sources de financement). En Région Parisienne, en PACA, en Rhône-Alpes, certains pôles de compétitivité accueillent ces projets de R&D.

La problématique de l'intégration au réseau des énergies renouvelables est traitée dans le cadre de nombreux projets. Un programme de R&D européen lancé suite au 3<sup>ème</sup> paquet énergie de

2009 a donné lieu au lancement de projets de recherche comme *Twenties*, consacré à la faisabilité des réseaux off-shore à courant continu (HVDC), *Safewind*, dont l'objectif est d'améliorer les prévisions de production éolienne, ou encore *Optimate*, dédié à l'étude des modèles de marchés les plus favorables à l'intégration des énergies renouvelables. L'expérimentation *Linky*, menée par ERDF sous la supervision de la CRE et avec de nombreux partenaires adhérents du Gimélec, est le premier projet de déploiement de compteurs intelligents à grande échelle en France.

Les problématiques liées à l'efficacité énergétique grâce à une plus grande implication du consommateur sont également au cœur de nombreux projets de recherche. En France, le programme Eco Watt a testé en Bretagne l'envoi de SMS à des volontaires pour les prévenir du besoin de couper leurs appareils électriques. Le projet OPCO a pris le relais et teste la faisabilité, le pilotage et l'impact de micro-coupures de courant sur les installations de chauffage électrique des particuliers.

Le pilotage de la demande grâce au réseau électrique intelligent fait également l'objet de nombreuses études. En PACA, autre région française sensible aux coupures électriques, le projet *Premio*, mené à Lambesc, cherche à associer de petits producteurs d'électricité et des consommateurs à la gestion du réseau. L'expérimentation doit fournir des enseignements de terrain sur le pilotage, sur un territoire donné, de ressources électriques de différentes natures, y compris les capacités de production décentralisée, d'effacement et de stockage.

Le pilotage de la demande par effacement diffus va être étudié en France au travers d'expérimentations telles que *Greenlys* et *Millener*, dans le cadre du 1<sup>er</sup> AMI. Celles-ci étudient l'impact et la faisabilité technique de l'effacement, éventuellement associé à d'autres moyens de pilotage de la charge comme le stockage. À l'échelle européenne, la France participe par exemple à *ADDRESS*, doté de 16 millions d'euros sur quatre ans, dont les objectifs sont de proposer des solutions techniques de délestage, d'en identifier les bénéfiques et de proposer des structures de marché (rôle des agrégateurs) et des mesures d'accompagnement nécessaires à son développement.

Des projets comme *Multisol*, dont le relais a été pris par Reactiv'Home, ont pour objectif de gérer l'énergie électrique et de l'optimiser en suivant des critères économiques et écologiques sans dégradation de confort. Ils intègrent des études de scénarios de réduction des pics de consommation, de valorisation optimale de l'électricité photovoltaïque et d'intégration du véhicule électriques (charge et éventuel délestage). Doté de 88 millions d'euros sur quatre ans, le projet *HOMES* regroupe 120 chercheurs et 14 partenaires européens, parmi lesquels EDF, le CEA, Schneider Electric, Philips, Delta Dore et Wateco. Il a pour objet de doter chaque bâtiment des solutions d'efficacité énergétique active nécessaires pour atteindre sa meilleure performance énergétique. Dédié aux bâtiments tertiaires et résidentiels, neufs comme existants, il cherche à développer et évaluer l'impact dans la durée d'outils de gestion optimisée des équipements électriques et d'outils d'optimisation des apports des énergies renouvelables. Il s'accompagne du développement d'outils collaboratifs et simplificateurs pour la filière. *HOMES* est donc un projet qui traduit une démarche d'intégration des technologies dans le bâtiment en lien avec un réseau électrique intelligent.

D'autres projets comme *ECOLINK* regroupent des fournisseurs d'énergie (EDF), des agrégateurs et fournisseurs de service (Edelia, Netseenergie), des industriels du bâtiment (Legrand, Delta Dore, Atlantic, Wirecom, Daikin) et des sociologues. Ce type de projet vise à développer et expérimenter sur le terrain des systèmes qui répondent aux sollicitations du réseau électrique pour optimiser l'équilibre entre offre et demande, répondre en urgence à des problématiques

de congestion du réseau et/ou des pertes non programmées de groupe de production, pour optimiser l'utilisation du parc de production.

L'appropriation de ces technologies par l'utilisateur s'avère déterminante, c'est pourquoi plus de 650 sites résidentiels et 35 bâtiments tertiaires seront équipés de démonstrateurs et suivi par des sociologues, afin d'en tirer des enseignements dans les domaines :

- **Technologique** : en expérimentant des solutions de communication entre l'amont et l'aval du compteur électrique rendant les systèmes plus interopérables entre eux
- **Sociétal** : en étudiant l'acceptation de ces technologies et les nouveaux usages induits auprès des utilisateurs
- **Economique** : en imaginant de nouveaux modèles économiques (agrégateurs de puissance) qui chercheront à maximiser les retours sur investissement pour tous les acteurs.

Constituée pour définir l'impact des réseaux d'électricité intelligents sur la gestion de la consommation et de la production d'énergie par les bâtiments au XXI<sup>ème</sup> siècle, la chaire *Eco-novating* se veut un catalyseur d'éco-innovation. Elle réunit des partenaires privés et publics : SNCF, Alstom, GDF Suez, SAUR, ADEME, Ecole Centrale Paris, Supélec, ENS Cachan, etc.

T&D Europe, association européenne des fournisseurs d'équipements de réseau de transport et distribution d'électricité, est l'émanation des organisations professionnelles nationales de la filière électrique telles que le Gimélec. En partenariat avec l'université de Gênes, T&D Europe a récemment lancé une étude consacrée à la définition de critères qui permettront d'évaluer précisément l'amélioration de l'impact environnemental du réseau électrique permise par leurs équipements innovants. Cela permettra de mieux évaluer le potentiel du réseau électrique pour atteindre les objectifs européens des « 3 x 20 ».

Les entreprises du Gimélec souhaitent aller plus loin dans l'accompagnement de la recherche et proposent, au travers du projet *Ireli*, de créer un institut de recherche consacré exclusivement aux réseaux électriques intelligents. Basé à Grenoble, il profiterait d'un bassin d'emploi, de compétences et de formation unique en France, ainsi que des deux pôles de compétitivité *Tenerrdis* et *Minalogic*. Ce projet, porté par l'INPG de Grenoble, permettrait de fédérer de façon transversale l'industrie, la recherche et les acteurs institutionnels (ADEME, Etat, collectivités locales).

Il faut cependant noter que le régime actuellement en place pour le soutien des démonstrateurs ne permet souvent qu'un financement très partiel des équipements. Dans le cadre d'expérimentations de solutions matérielles à grande échelle, ceci s'avère un handicap ; il est en effet très complexe de faire cohabiter une exploitation commerciale avec une expérimentation ainsi que des recettes liées à la vente d'un service avec la présence d'un soutien public. Il conviendrait d'apporter une solution à cette limitation.



## Feuille de route

### F.1. La normalisation internationale et les réseaux électriques intelligents

Les réseaux d'électricité intelligents regroupent des acteurs variés, porteurs de technologies et de standards multiples. Si cette multiplicité de standards semble inévitable, il n'est pas possible d'envisager le développement de tels réseaux sans une convergence et une harmonisation entre les différents secteurs, pour permettre l'interopérabilité indispensable entre les parties prenantes.

Du point de vue normatif, cela se traduit par la nécessaire collaboration entre les différents groupes normatifs, au travers de consortiums ou d'alliances portant la vision globale d'un réseau électrique intelligent. Le plan normatif du développement des réseaux électriques intelligents doit être concerté entre toutes les professions qui en sont partie prenante.

La feuille de route du Gimélec en termes de travaux normatifs est donc de participer activement aux travaux où ses apports sont pertinents, mais aussi d'œuvrer au rapprochement de tous les groupes de travail, pour une harmonisation dans le temps et l'espace des réflexions et des standards qui en émergeront, aux niveaux français et européen.

Le Gimélec est d'ores et déjà très actif, en particulier au travers du *Strategic Group 3* de l'IEC et du *Focus group* du CEN-Cenelec-ETSI, groupes de travail européens au sein desquels nos membres ont des rôles d'importance. Fortes d'une vision globale d'un réseau d'électricité intelligent et de ses cas d'usages associés, ces activités ont l'ambition d'analyser l'existant normatif, d'identifier les éventuels manques et de proposer les développements additionnels nécessaires.

Au delà de ces actions, le Gimélec soutient les alliances porteuses de standards ouverts et rappelle la nécessité de ne pas multiplier davantage le nombre d'initiatives normatives, déjà foisonnantes en France, en Europe et dans le monde.

Les grandes orientations du Gimélec en termes de standardisation sont les suivantes :

- Mettre en priorité l'IEC comme instance première de standardisation de Smart Grid,
- Promouvoir et aider à l'harmonisation des modèles de données, sous le pilotage des « électriciens »,
- Promouvoir les protocoles basés sur IP.

Les adhérents identifient, dans ce contexte, sept grandes actions prioritaires :

- Promouvoir les bénéfices de l'emploi de standards (propositions de valeur clairement identifiées et promues dans les communications institutionnelles).
- Accélérer les processus IEC relatifs au *Smart Grid*, s'adapter pour répondre aux challenges, accompagner la maturité croissante du domaine et mieux traiter la nécessité d'une cohérence transverse entre les multiples Comités Techniques. L'action porte sur l'expression des exigences (*Use cases*) et la réalisation des standards (modèles de données et de communication).
- Accroître la prise en compte de la sécurité et de la confidentialité des données et du système.
- Réduire les risques de divergence liés à la prolifération des activités mondiales de standardisation.
- Equilibrer les efforts américains (NIST) vers une dimension plus internationale : Les standards issus du NIST répondent aux besoins des Etats-Unis et ne répondent pas dans certains cas aux besoins européens et français.
- Continuer à harmoniser les standards relatifs à la mesure d'énergie : l'existence de différents modèles de données (COSEM, CIM, 61850) est source de confusion et freine le développement.
- Mieux comprendre et coopérer avec les nouveaux acteurs majeurs des *Smart Grids* (notamment les sociétés spécialisées dans les technologies de l'information).

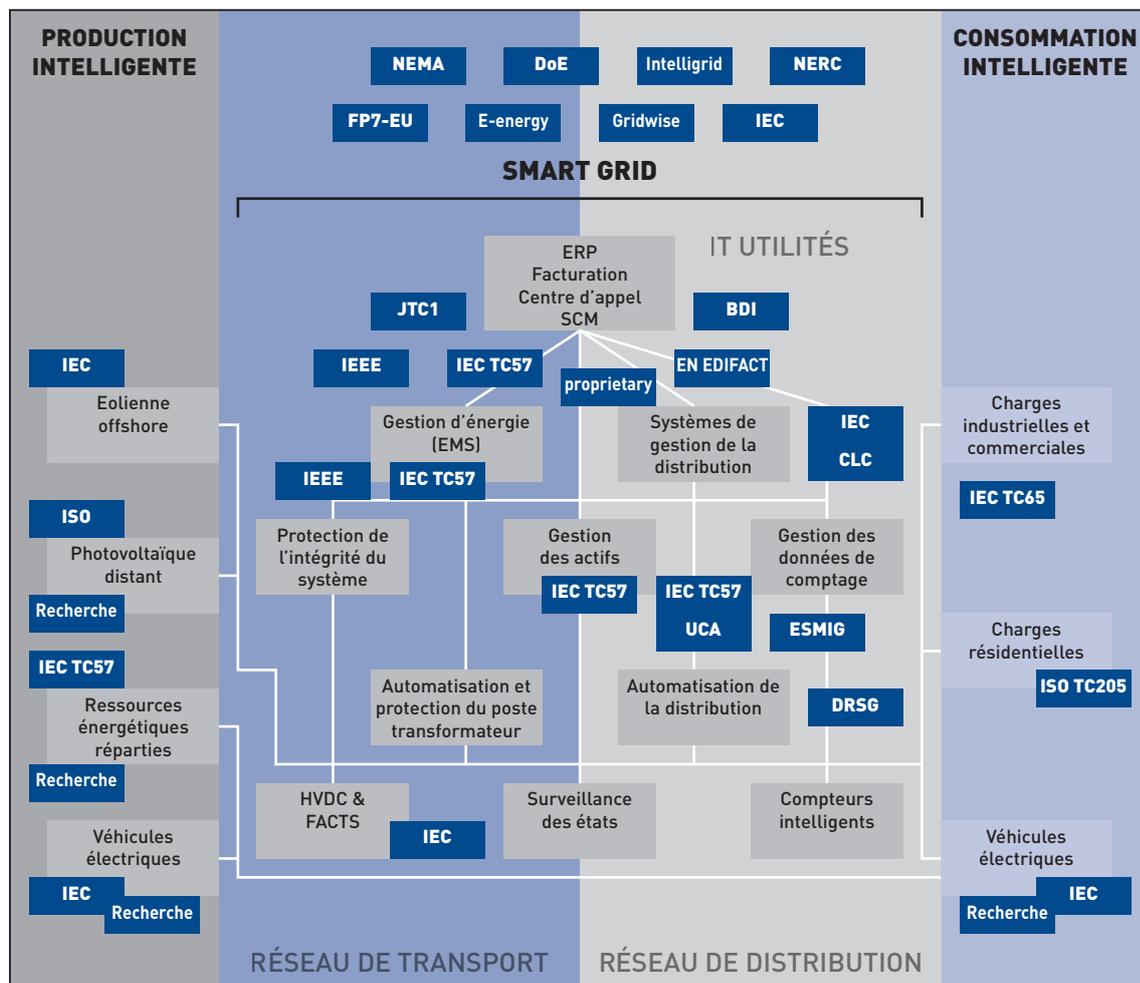


Fig. 24

## F.2. Les modifications réglementaires et les incitations pour développer les réseaux électriques intelligents en France

Le Gimélec propose qu'un certain nombre de mesures soient mises en œuvre par les Pouvoirs publics français pour assurer un développement réussi des réseaux électriques intelligents.

Ces propositions sont classées par ordre hiérarchique décroissant en termes d'urgence d'actions pour le succès de la filière électrique industrielle dans la conquête de ces nouveaux marchés à l'international.

### Proposition majeure pour un marché domestique exemplaire

#### Proposition 1

1.1.	Lancer rapidement plusieurs démonstrateurs à l'échelle d'une ou plusieurs régions pour les réseaux électriques intelligents du futur dans le cadre du programme des Dépenses d'Avenir, à condition d'être coordonnés entre eux.	I
1.2.	Structurer un fonds d'amorçage dédié aux réseaux électriques intelligents pour l'assurance d'une action à long terme et par un fléchage de taxes existantes pour la constitution des fonds propres.	I

Incitation

### Mesures réglementaires pour la structuration du nouveau marché de l'électricité

#### Proposition 2

2.1.	Généraliser la régionalisation de la gestion des réseaux électriques intelligents après l'évaluation du démonstrateur en termes de mutation de modèle économique.	R
2.2.	Accroître la transparence de gestion du TURPE en termes d'accès aux financements réservés à la promotion de l'innovation par les industriels de la filière.	R

#### Proposition 3

	Lancer la concertation autour des projets de décrets et d'arrêtés à prendre en application du projet de loi NOME en cours d'adoption en profitant de la plateforme du COSEI.	R
--	--	---

#### Proposition 4

	Etablir un tarif d'autoconsommation de l'électricité produite par des énergies renouvelables et durables.	R
--	---	---

Réglementation

**Propositions en faveur du « consomm'acteur »  
pour assurer des débouchés aux nouvelles technologies de l'énergie**

**Proposition 5**

Organiser la fongibilité des certificats d'économies d'énergies en « certificats carbone » pour générer les fondations d'un marché réel et assurer ainsi la liaison avec le marché européen des certificats carbone.

R I

**Proposition 6**

Conditionner les aides fiscales « économies d'énergies » pour les clients domestiques à des offres garantissant des résultats réels en termes d'économies d'énergies et de réduction d'émission de CO<sub>2</sub>.

R I

**Proposition 7**

Adopter une réglementation spécifique pour la protection des données personnelles du « consomm'acteur ».

R

Réglementation

Incitation

**Propositions transversales en faveur d'une fiscalité environnementale durable**

**Proposition 8**

Créer un Conseil National de l'Energie Durable composé des associations de consommateurs, des syndicats patronaux et salariés, et de l'Etat.

R

**Proposition 9**

Réformer la RT (Réglementation Thermique des bâtiments) en R3E (Réglementation Efficacité Energétique et Environnementale) afin d'acter de l'interdépendance entre les réseaux et les bâtiments, et migrer vers la culture du résultat par une approche systématique englobant tous les vecteurs énergétiques.

R I

**Proposition 10**

Mobiliser les acteurs institutionnels européens pour relancer le débat sur une Contribution Climat Energie aux frontières de l'Union Européenne.

Réglementation

Incitation

## Notes explicatives

- 1 Source : Rapport annuel 2009 RTE.
- 2 Le rapport entre le prix d'un MWh en base et celui d'un MWh en pointe peut être de 1 à 200 sur les marchés de l'énergie en Europe.
- 3 Pour rappel, la puissance électrique instantanée est généralement mesurée en Watts (W). Le Wattheure (Wh) est l'unité de mesure de la consommation de quantité d'électricité (1Wh correspond à la quantité d'énergie consommée par un appareil utilisant 1W pendant une heure).
- 4 Source : Agence internationale de l'énergie (AEI)
- 5 Cf. « Le contenu en CO<sub>2</sub> du kWh électrique », ADEME & RTE, 2007
- 6 Afin de diminuer les pertes d'électricité par effet Joule (résistance thermique des matériaux conducteurs), l'électricité est transportée sur de longues distances à de hautes et très hautes tensions (de 63.000 à 400.000 Volts en France). La tension est ensuite diminuée par un ensemble de transformateurs pour atteindre 230 ou 400 Volts lorsqu'elle est distribuée au consommateur.
- 7 Source : Rapport annuel 2009 de RTE
- 8 Source : Rapport annuel 2009 de RTE
- 9 Selon leur lieu de charge (public ou privé), le moment et la durée de charge (charge lente, rapide, ultra-rapide), la demande d'électricité d'un véhicule électrique sera très variable et impactera fortement le moment et le niveau de pointe.
- 10 Source : Rapport annuel 2009 de RTE
- 11 Source : RTE
- 12 Source : Expert Group 1 from UE Commission Task Force for Smart Grids - Functionalities of Smart Grids and Smart Meters.
- 13 Expression consacrée en anglais par smart home.
- 14 Expression consacrée en anglais par smart building qui inclut de facto les micro-réseaux électriques intelligents (microgrids).
- 15 Il s'agit de générer un contexte législatif, réglementaire et fiscal favorisant les flux physiques (électron) et monétaires (euros).
- 16 Il est à noter que la matrice du COSEI SEISE a été volontairement allégée pour simplifier la lecture, sans toutefois modifier le schéma, les fonctions et leurs intitulés respectifs.
- 17 Comité d'Orientation Stratégique des Eco-Industries co-piloté par le Ministre de l'Ecologie et le Ministre de l'Industrie qui ont confié au Gimélec la présidence du groupe de travail Systèmes Electriques Intelligents et Stockage de l'Energie.
- 18 Source: GeSI, BCG –Smart 2020 US Addendum
- 19 L'énergie électrique est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme de courant alternatif. L'énergie consommée est composée d'une partie "active", transformée en chaleur ou mouvement, et d'une partie "réactive" transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques. L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie "active"; la partie "réactive" ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés.
- 20 Le kWh coûte en moyenne 30% en France que dans le reste de l'Europe occidentale.
- 21 Le MW produit en France est en moyenne 50% moins carboné que celui produit en Allemagne.



Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés  
11-17 rue de l'Amiral Hamelin - 75783 Paris cedex 16 - France - Tél. : +33 (0) 1 45 05 71 55 - [www.gimelec.fr](http://www.gimelec.fr)