

RAPPORT DU GT « RESEAUX INTELLIGENTS »

SYNTHESE

Pour répondre au défi de la hausse des prix des énergies et du réchauffement climatique, la France s'est engagée, dans le cadre du plan européen "énergie-climat", dans une triple démarche, principalement concrétisée par les mesures du Grenelle de l'environnement :

(i) améliorer significativement l'efficacité énergétique ; (ii) réduire substantiellement ses émissions de gaz à effet de serre ; (iii) accroître fortement son recours aux énergies renouvelables.

Mieux utiliser l'électricité grâce à un système électrique plus " intelligent "

Comme le montre le scénario 2020 proposé par l'UFE, l'électricité peut contribuer de façon significative, dans le respect des engagements du Grenelle de l'environnement, à l'atteinte des objectifs assignés à notre pays à l'horizon 2020, moyennant :

- **une maîtrise accrue de la demande d'électricité,**
- **un transfert d'usages d'énergies fossiles vers des utilisations de l'électricité à haute performance CO2 (pompes à chaleur, véhicules électriques...),**
- **une reprise vigoureuse des actions en faveur de la réduction de la demande en pointe,**
- **un nouvel essor pour les énergies renouvelables,** dans un contexte d'intégration et de mutualisation de tous les moyens sur la plaque européenne : développement massif d'éolien off-shore et accroissement des échanges entre pays.
- **et, corrélativement, un large développement de la production distribuée,** modifiant significativement les équilibres existants entre productions centralisée et décentralisée,

Une telle évolution des modes de consommation et usages de l'électricité, ainsi que des sources de production, impose de développer, au sein du système électrique, des dispositifs de régulation et de pilotage aptes à conférer une très grande flexibilité au jeu de l'offre et de la demande d'électricité.

Cette mutation sera fondée sur le développement progressif d'une nouvelle « intelligence » du système électrique, s'appuyant sur une pénétration plus marquée des nouvelles technologies, notamment de l'information et de la communication, **au service de différentes fonctions :**

- **L'optimisation de l'utilisation du réseau de distribution, grâce à une connaissance dynamique et précise des charges en tout point du réseau ;**
- **L'amélioration de la qualité de distribution de l'énergie électrique ;**
- **L'intégration et la gestion de la production distribuée (éolienne, photovoltaïque, à partir de biogaz, piles à combustible, etc.)**
- **La gestion des futurs moyens de stockage (véhicules électriques notamment)**
- **La gestion des congestions locales des réseaux de distribution ;**
- **Le pilotage de la demande, au travers du dialogue fournisseurs-consommateurs**

Le compteur communicant est appelé à jouer un rôle central dans le déploiement progressif de ces fonctions.

La nouvelle "intelligence" des réseaux permettra aux différents acteurs – producteurs, fournisseurs, gestionnaires de réseaux et consommateurs – d'interagir avec une grande souplesse afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée.

En symbiose avec les réseaux intelligents des pays voisins, un "réseau intelligent" autorise ainsi

- une augmentation significative de l'efficacité des activités de planification, de développement, de maintenance, d'exploitation et de conduite des réseaux, tout en permettant l'intégration d'une production fortement diversifiée et de nouveaux usages de l'électricité ;
- une contribution active des consommateurs à la réalisation d'un équilibre offre-demande plus performant, par la maîtrise de leurs consommations, notamment en pointe, et le recours à des moyens individuels de production et de stockage d'électricité.

Un mouvement mondial

La thématique des « réseaux et systèmes électriques intelligents » est identifiée dans de nombreux pays comme un axe prioritaire de recherche et de démonstration, les exemples de déploiement massif étant encore rares.

Le nombre de projets en ce domaine est en constante augmentation de par le monde, selon le contexte, le pays, le mode de régulation, etc.... Les champs thématiques des projets et programmes présentés concernent généralement la **gestion de la demande**, la **pénétration des énergies renouvelables**, **l'évolution de l'architecture des réseaux**, et **notamment le concept de micro-réseaux**, ainsi que le **développement de modèles d'affaires** favorables à l'émergence des réseaux intelligents.

Trois groupes de pays ont été retenus pour cet état des lieux -**Asie-Pacifique** ; **Etats-Unis** ; **Europe** - en raison de l'importance de l'effort qu'ils ont engagé.

Asie Pacifique

La région est vaste et présente des différences considérables entre les pays. La Corée, le Japon et la Chine envisagent des développements de réseaux intelligents, dans leur acception large, à l'échelon national. L'Australie, l'Inde et l'Indonésie semblent plutôt s'orienter vers l'amélioration de l'efficacité des réseaux existants au travers de programmes de taille plus limitée.

Actuellement, au travers notamment des réalisations de l'agence gouvernementale japonaise NEDO, le Japon peut être considéré comme le **leader mondial** en matière de démonstrateurs de recherche. Ceux-ci portent essentiellement sur la forte pénétration de production décentralisée dans les réseaux de distribution et / ou les micro-réseaux : les plateformes de démonstration en fonctionnement visent principalement à démontrer la faisabilité technique de **micro-réseaux** intégrant une forte proportion d'énergies renouvelables et / ou décentralisées (ex : micro-cogénération, piles à combustibles en usage stationnaire).

Il convient toutefois de noter que les opérations sont largement portées par le NEDO, avec un **engagement limité des compagnies d'électricité** japonaises. Celles-ci ont par ailleurs développé un bon niveau d'automatisation de leur réseau, certaines d'entre elles déployant de puissants outils de télécommunications. De manière complémentaire, leur conception des

réseaux intelligents s'orientent fortement vers l'intégration des systèmes d'information et leur interopérabilité.

Etats-Unis

Aux USA, la sûreté du système électrique (qui pâtit d'un sous investissement chronique), l'augmentation de la consommation et la difficulté croissante à construire de nouvelles lignes de transport d'électricité sont à l'origine des travaux concernant les réseaux intelligents. Leur développement a été stimulé par les **4.5 Milliards de \$** récemment alloués à la modernisation des réseaux par l'American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) de l'administration Obama, qui assurent le cofinancement de quelque 130 projets d'un montant total de près de **10 Milliards de \$**. Une des premières actions programmées concerne l'établissement d'une cartographie des besoins en matière de normes d'échange d'informations et d'interopérabilité des systèmes, ainsi que la réalisation d'un plan d'action dans ce domaine. Ces travaux avaient été anticipés et sont donc soutenus par de nombreux programmes de recherche couvrant des champs thématiques très vastes :

- la distribution en est le secteur le plus avancé, avec en perspective les premiers déploiements opérationnels : compteurs communicants, automatisation des réseaux, etc. ;
- le transport, la production (notamment répartie) et le stockage sont assez bien représentés dans ces programmes (analyse des technologies, développements informatiques, services transverses, protocoles, etc.) ;
- les postes électriques et les usages finaux sont peu concernés, mais la lacune majeure de ces programmes réside dans le manque de travaux intéressant marché et régulation, rendus moins prioritaires pour le déploiement effectif des réseaux intelligents en raison du caractère intégré d'un grand nombre de compagnies d'électricité américaines et du gel de la dérégulation.

Union Européenne

Les initiatives européennes se sont centrées sur l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le mix de production, tout en s'attachant à accroître l'implication des utilisateurs finaux dans la gestion du système, au travers de politiques de gestion de la demande et du déploiement d'infrastructures de comptage communicant.

Dans quelques pays, plusieurs projets ont été déployés et sont en exploitation, en général sur un nombre limité de technologies de réseau intelligent (le plus souvent des systèmes de comptage communicant ou de dispositifs de communication adaptés à l'exploitation des ouvrages). La plupart de ces projets concernent quelques dizaines, voire quelques centaines de milliers de clients, exceptionnellement un nombre encore plus important de clients. Les pays scandinaves, notamment, ont commencé à déployer des technologies de comptage communicant afin de répondre à des objectifs de maîtrise de la demande d'énergie et de mise en place de l'ouverture des marchés.

Mais le projet Italien Telegstore, déployé par Enel Distribuzione, est de loin le plus avancé, avec 33 millions de compteurs communicants en fonctionnement depuis plusieurs années, un haut niveau d'automatisation d'un grand nombre de postes de distribution, des outils avancés d'exploitation et de gestion des actifs, etc.

D'autres projets intégrant des technologies du réseau intelligent sont engagés aux **Pays Bas** ('Smart City), en **Allemagne** (développement de nouveaux composants, flexibilité des réseaux, insertion des VE/VEHR dans les réseaux,..), au **Portugal** (InnovGrid), en **Espagne** (Smart Cities) et en **France** : projets **Multisol**, **Premio**, **LINKY** (expérimentation de compteurs communicants auprès de 300000 consommateurs), ainsi que les projets **FAC**

(fonctions avancées de conduite) et **FAR** (fonctions d'automatisation des réseaux) intéressant les réseaux moyenne tension.

Les projets de recherche et de démonstration financés dans le cadre des 5^{ème} et 6^{ème} Plans-Cadre de Recherche et de Développement (PCRD) européens ont permis d'identifier les options technologiques, économiques et institutionnelles favorables à une transition vers les réseaux intelligents. L'enjeu est maintenant de réussir à **changer l'échelle des réalisations**, à l'instar des 2 appels à manifestation d'intérêt récemment lancés par l'ADEME.

Des hypothèques à lever

L'émergence d'un système électrique plus intelligent et mieux adapté aux nouveaux enjeux nécessitera de lever progressivement et de manière concertée des barrières de différentes natures : économique, institutionnelle, technologique et comportementale.

Il importe en effet

- **d'assurer aux différents acteurs une visibilité à moyen et long termes** quant aux coûts et gains qui seront les leurs de par leur contribution à la mise en place et au fonctionnement des nouveaux dispositifs. Il faudra également assurer **une rentabilité minimale des investissements nécessaires** aux transformations visées. Le système mis en place devra valoriser de manière objective, transparente et non discriminatoire les coûts et les gains de chacune des catégories d'acteurs ;
- **de faire évoluer, à cette fin, le cadre institutionnel**, au bénéfice d'une organisation et d'une régulation du marché stables et transparentes, propres à adresser, à chacune des catégories d'acteurs, les incitations adéquates aux investissements requis. Il conviendra notamment, dans ce nouveau cadre, de faire clairement la part de ce qui incombe au secteur régulé et de ce qui relève du secteur concurrentiel. Parallèlement, **une nécessaire standardisation** des différentes technologies et des protocoles d'échanges d'information entre les différents éléments contributifs du système électrique devra être opérée ;
- **de faire émerger progressivement les technologies nécessaires au développement des différentes fonctionnalités requises** (technologies de l'information et de la communication, compteur communicant, et technologies de l'"aval compteur", technologies propres aux réseaux, stockage de l'électricité, équipements des consommateurs, etc.) ;
- **de faire évoluer significativement le comportement des consommateurs** vers une maîtrise active et efficiente de leurs consommations. Ce changement sera nécessairement progressif ; une connaissance précise des motivations des différents groupes de consommateurs devra être acquise pour une mobilisation efficace de ceux-ci. En tout état de cause, les consommateurs devront être assurés de la sécurité des transactions et trouver dans des incitations appropriées une juste compensation aux contraintes supportées de par leur contribution à une gestion plus efficace de l'équilibre offre-demande d'électricité.

Recommandations

La mise en place d'un système électrique plus intelligent requiert un effort important de recherche-développement et des investissements considérables. Le financement des travaux de R & D implique le nécessaire apport de fonds publics, communautaires et

nationaux. Au stade du déploiement, l'évolution des tarifs du domaine régulé devra permettre une couverture adéquate de la part des investissements mise à la charge des opérateurs de celui-ci.

En tout état de cause, l'ensemble des acteurs de la filière (consommateurs, gestionnaires de réseaux, fournisseurs...). va être amené à contribuer à ces investissements Il est donc essentiel que tous bénéficient de **visibilité** sur le moyen et sur le long terme.

Celle-ci passe impérativement par **la mise en place d'un cadre concurrentiel et réglementaire rénové, stable et transparent**, reposant sur des **mécanismes de marché et de régulation** adaptés, ainsi que sur **la définition de standards et de normes communs**.

Pour faciliter ces investissements, il est également primordial d'envisager, dans une démarche collective, toutes les voies possibles de **mutualisation des coûts et des fonctionnalités** entre les différentes parties prenantes, et notamment entre gestionnaires de réseaux et fournisseurs, afin de minimiser les charges de chacune d'elles.

Enfin, il est essentiel d'établir le bilan coûts/bénéfices pour les différents opérateurs du système électrique (gestionnaires de réseaux, fournisseurs, producteurs...) et pour **les consommateurs**.

Ces derniers, par l'évolution de leur comportement énergétique, sont appelés à devenir des **acteurs majeurs du système électrique**. La modification des comportements de consommation ne pourra toutefois se faire sans des **mesures incitatives** appropriées. Simultanément, il est indispensable que le dispositif mis en place offre toutes les garanties vis à vis du consommateur, notamment en matière de **protection des libertés individuelles et de sécurité informatique**.

Dans cette perspective, les voies et moyens suivants nous semblent devoir être privilégiés:

- **mener une démarche commune à l'ensemble des opérateurs pour la détermination des fonctionnalités à développer**, et notamment de celles qui sont prioritaires ;
- **s'attacher à ce que soit assurée, dans une organisation du marché rénovée, une valorisation efficace des capacités de production et des effacements de consommation**.
- **faire évoluer corrélativement la tarification afin d'assurer une incitation accrue au choix, par les consommateurs, de dispositifs performants et une utilisation efficace de ceux-ci ;**
- **mutualiser les réseaux de communication déployés au bénéfice des différents acteurs du système électrique et standardiser les protocoles d'échanges d'information** entre ceux-ci ;
- **conduire des expérimentations pour tester et améliorer la pertinence des dispositifs concourant à l'atteinte des objectifs visés.**

Enfin, il serait hautement souhaitable que les pouvoirs publics accompagnent la démarche des acteurs du système électrique afin de contribuer activement, dans leur sphère de responsabilité, à lever les freins précédemment évoqués.

§
§ §

En tout état de cause, la mise en œuvre de compteurs communicants constitue une étape essentielle du développement de la nouvelle intelligence des réseaux. Leur généralisation est donc attendue.

1. DES EVOLUTIONS MAJEURES APPELANT DES REPONSES FORTES

1.1. LE DEFI « ENERGIE – CLIMAT »

- **La hausse des prix des énergies fossiles**

L'accélération de la croissance mondiale depuis le début des années 2000 -principalement imputable à l'Asie- a entraîné celle de la consommation des matières premières, et notamment des énergies fossiles.

Cette hausse continue de la demande, que l'offre peine à suivre, s'est en particulier traduite par un quasi triplement du prix du pétrole¹ entre début 2007 et la mi-2008, et un quasi quadruplement du prix du gaz¹ entre le 1^{er} trimestre 2007 et le 3^e trimestre 2008².

La crise économique et financière avait ramené ces prix, début 2009, à un niveau proche de celui de début 2007. Mais ils s'inscrivent à nouveau en hausse depuis lors, en raison du maintien d'une croissance forte des grands pays émergents, se traduisant notamment par un quasi doublement du prix du pétrole entre janvier et décembre 2009.

Le potentiel de croissance de ces pays, et notamment de la Chine et de l'Inde, devrait durablement maintenir cette demande croissante de matières premières, génératrice –face à une offre nettement moins dynamique- de tensions sur les prix.

- **Le réchauffement climatique**

La quasi-totalité des experts mondiaux s'accorde à considérer que le développement accéléré des activités anthropiques, depuis le début de l'ère industrielle, est à l'origine de l'augmentation de la température moyenne de la planète de 0,8° observée sur cette période.

Compte tenu de la durée de vie des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, responsables de ce réchauffement, la croissance de la température du globe est en tout état de cause appelée à se poursuivre. Afin de limiter les risques d'emballement de la machine climatique³, les scientifiques recommandent de limiter le réchauffement climatique à 2°, ce qui suppose de diviser par 2 les émissions mondiales des GES d'ici 2050.

1.2. LA REPONSE COMMUNAUTAIRE A CE DOUBLE DEFI : L'OBJECTIF 3X20 EN 2020 ET LE PAQUET « ENERGIE – CLIMAT »

- Lors du Conseil européen de mars 2007, les chefs d'Etat et de gouvernement ont approuvé le plan d'action proposé par la Commission pour répondre à ce double défi, visant à :

¹ En dollars courants.

² Les prix du cuivre et du zinc ont, quant à eux, quadruplé entre 2001 et 2006, tandis que les prix du minerai de fer et du charbon à coke doubleraient.

³ Il s'agit d'éviter que soit atteint un seuil critique, dont le dépassement serait très probablement de nature à causer des dommages irréversibles : ainsi le dégel en profondeur du permafrost pourrait libérer dans l'atmosphère des quantités énormes de GES, accélérant fortement le réchauffement et aggravant considérablement de ce fait les effets néfastes de celui-ci (montée des océans, dérèglement de la répartition spatiale et temporelle des précipitations, etc.).

- augmenter, d'ici 2020, l'efficacité énergétique de 20% ;
- réduire de 20%, par rapport à 1990, les émissions de GES de l'UE⁴ ;
- porter à 20% la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique de l'UE de 2020⁵.

Les mesures imposées à cette fin aux Etats dans ces 2 derniers domaines font l'objet du paquet "énergie – climat" adopté par le Parlement européen et le Conseil en avril 2009. Leur transposition en droit français s'inscrit principalement dans le cadre des lois de mise en œuvre du Grenelle de l'environnement et de leurs textes d'application, par ailleurs également axés sur le renforcement de l'efficacité énergétique.

- Simultanément, l'achèvement du marché intérieur est appelé à se poursuivre, notamment avec la mise en œuvre des dispositions de la directive 2009/72/CE⁶, dans un contexte marqué par une croissance soutenue de la demande d'électricité et, parallèlement, par un progrès rapide des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

2. L'ELECTRICITE AU CŒUR DES CHANGEMENTS REQUIS

- **UNE EVOLUTION SIGNIFICATIVE DES MODES DE CONSOMMATION ET USAGES DE L'ELECTRICITE, AINSI QUE DE LA PRODUCTION, NOTAMMENT DISTRIBUEE ...**

Comme le montre le scénario 2020 proposé par l'UFE⁷, l'électricité peut contribuer de façon significative, dans le respect des engagements du Grenelle de l'environnement, à l'atteinte des objectifs assignés à notre pays à l'horizon 2020, moyennant :

- **une maîtrise accrue de la demande d'électricité** : le changement des comportements et le recours à des équipements plus performants devraient permettre d'économiser, d'ici 2020, quelque 10% de la consommation moyenne annuelle 2005-2007 ;
- **un transfert d'usages d'énergies fossiles vers des utilisations de l'électricité à haute performance CO₂**, (e.g. PAC et véhicules électriques) représentant une augmentation nette de la consommation intérieure d'électricité d'environ 15% d'ici 2020 ;
- **une reprise vigoureuse des actions en faveur de la réduction de la demande en pointe**, autorisant un gain de 10% sur le rapport de puissance d'ici 2020 ;
- **un large développement de la production distribuée**, notamment à partir d'énergies renouvelables, modifiant significativement les équilibres existants entre productions centralisée et décentralisée, devrait conduire en 2020 à une augmentation de l'énergie ainsi produite de l'ordre de 9% de la production annuelle moyenne 2005-2007.

⁴ Ces 20% seraient portés à 30% dans l'hypothèse de la conclusion d'un accord international global sur le changement climatique.

⁵ Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables L'objectif assigné à la France en la matière est de 23%.

⁶ Directive du 13 juillet 2009 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité.

⁷ Cf. le document « Défis climatiques – nouveaux enjeux électriques ».

- **un nouvel essor pour les énergies renouvelables** dans un contexte d'intégration et de mutualisation de tous les moyens sur la plaque européenne : développement massif d'éolien off-shore et accroissement des échanges entre pays.

Au total, les émissions de CO2 imputables à la production d'électricité et aux usages d'énergies fossiles faisant l'objet d'une substitution par l'électricité, soit 60 MT⁸ en moyenne annuelle 2005-2007, seraient ainsi réduites des deux tiers d'ici 2020.

- ...QUI IMPOSE DE DEVELOPPER, AU SEIN DU SYSTEME ELECTRIQUE FRANÇAIS, DES DISPOSITIFS DE REGULATION ET DE PILOTAGE INTELLIGENTS GARANTISSANT UNE TRES GRANDE FLEXIBILITE,...

Les performances environnementales et économiques ainsi attendues du système électrique imposent une remise en cause radicale du modèle de fonctionnement de celui-ci.

Cette mutation sera fondée sur le développement progressif d'une nouvelle « intelligence » du système électrique, **au service de différentes fonctions conférant une très grande flexibilité à la gestion de l'équilibre offre-demande:**

➤ **L'optimisation de l'utilisation du réseau de distribution :**

L'installation de capteurs de nouvelle génération sur les réseaux de distribution, en particulier dans les postes de distribution publique d'énergie électrique, et le déploiement généralisé de compteurs communicants permettront aux GRD de connaître de façon dynamique et précise les charges en tout point du réseau.

Ces informations permettront :

- la réduction des pertes non techniques grâce à la connaissance des charges en tout point de connexion au réseau ;
- une amélioration de l'utilisation de la capacité des réseaux, notamment par report de charge d'une ligne sur une autre suite à un incident ou une surcharge, par un meilleur équilibrage des phases, etc. ;
- une meilleure prévisibilité des efforts d'investissement et travaux de maintenance à réaliser sur le réseau en fonction des charges transitant sur les différents ouvrages (création ou renforcement de lignes HTA et BT, de postes de transformation, optimisation des interventions des équipes sur le terrain, etc.)

➤ **L'amélioration de la qualité de distribution de l'énergie électrique :**

La présence d'un nombre plus important de capteurs repartis judicieusement sur le réseau de distribution permettra d'obtenir davantage d'informations sur les différents événements survenant sur celui-ci, et en particulier les alarmes en cas d'incident ou de dégradation sensible de la qualité de l'onde.

⁸ Dont 34 MT imputables à la production d'électricité.

L'acquisition d'informations lors d'incident ou de défaut survenant sur le réseau, associée à la possibilité de reconfiguration rapide à distance de sa structure via des actions sur des organes de coupure, permettra au gestionnaire de réseau :

- une localisation plus rapide et plus précise du défaut permettant une auto-élimination de la partie en défaut ;
- une réalimentation plus rapide des autres utilisateurs situés sur la partie saine du réseau affecté par le défaut.

➤ **L'intégration et la gestion de la production distribuée (éolienne, photovoltaïque, à partir de biogaz, piles à combustible, etc.)**

La présence des capteurs et d'actionneurs sur le réseau permettra, au travers de relations contractuelles adéquates, de gérer le couplage ou le découplage des différentes productions au réseau en fonction de la demande en énergie électrique ainsi qu'en fonction du type de production.

Cette facilité de gestion permettra également de pouvoir activer cette production pour des besoins spécifiques tels que le maintien de la tension.

➤ **La gestion des futurs moyens de stockage (véhicules électriques...)**

La connaissance régulière de l'état du stockage pourra permettre d'optimiser la période de recharge de ce stock lorsque les moyens de production intermittente ne sont pas fortement utilisés ou au contraire d'utiliser ces stockages en complément des moyens de production lorsque ceux-ci sont fortement sollicités

La recharge de ces stockages en période creuse à l'aide des moyens de production fatale permettra de réduire les émissions de CO₂.

➤ **La gestion des congestions locales des réseaux de distribution :**

La connaissance améliorée de la charge des réseaux permettrait aux GRD, moyennant la définition par les pouvoirs publics d'un cadre juridique adéquat, de réduire, voire de supprimer les périodes de congestion de ces réseaux:

- soit en agissant sur des charges non primordiales pour en assurer le report à des périodes moins contraignantes du point de vue du réseau ou activer un mode de fonctionnement à puissance réduite ;
- soit en recourant à la production locale intermittente ou en faisant appel à des moyens de stockage locaux.

Le pilotage de la production locale intermittente et des moyens de stockage pourrait permettre par ailleurs aux GRD, dans ce même cadre, de lisser la courbe de charge des postes situés à l'interface du réseau de transport et des réseaux de distribution. Cet écrêtage des pointes locales, en optimisant l'utilisation de ces postes-sources et des artères moyenne tension qui en sont issues, permettrait d'éviter ou de différer significativement le renforcement de certains ouvrages.

➤ **Le pilotage de la demande : le dialogue fournisseurs-consommateurs**

Les évolutions attendues, tant dans l'organisation du marché de l'électricité qu'en matière de développement généralisé des compteurs communicants, permettront :

- aux fournisseurs d'enrichir leurs offres tarifaires, en proposant une gamme élargie de tarifs mieux adaptée à la diversité des situations des consommateurs, et reflétant de manière plus fine la variété des coûts de production de l'électricité ;

- aux petits et moyens consommateurs de disposer d'une mesure en temps réel de leurs consommations d'électricité et du montant des dépenses correspondantes.

Les fournisseurs seront dès lors en mesure de renforcer significativement leur offre de services d'efficacité énergétique, avec la mise en œuvre d'un pilotage global des installations de ces consommateurs :

- équipements résidentiels plus performants (pompes à chaleur, matériel électroménager « intelligent » et pilotable, etc.) ;
- moyens individuels de production d'électricité dédiés à l'autoconsommation (photovoltaïque, notamment) ;
- moyens de stockage de l'électricité, consommant ou injectant de l'électricité sur les réseaux en fonction des coûts de production du système électrique.

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), associées aux équipements électriques de pilotage de la consommation et de la production, sont appelées à jouer un rôle crucial dans le développement de cette nouvelle "intelligence" du système électrique. Leur mise en œuvre suppose toutefois que la sécurité des transactions soit garantie et leur acceptation sociale assurée.

La conduite de ce changement fondamental implique l'ensemble des opérateurs industriels du système (fournisseurs, producteurs et gestionnaires de réseaux⁹), ainsi que les autres intervenants de la filière électrique, dans un projet commun à partager avec les consommateurs. La complexité de mise en œuvre de l'intégration de la demande dans un marché concurrentiel nécessitera un examen particulier des conditions de compatibilité du projet avec le cadre de régulation.

Ces évolutions du système électrique devront être maîtrisées. D'une part, il ne saurait y avoir de modèle de réseau intelligent figé sur le long terme : il s'agit nécessairement d'une construction en devenir, à partir d'objectifs fonctionnels partagés appelés à se concrétiser et à s'enrichir au fil du temps avec la prise en compte des changements contextuels. D'autre part, les enjeux technico-économiques et les constantes de temps du monde de l'électricité et du monde des NTIC diffèrent significativement.

- **...INTEGRES DANS UN NOUVEAU MODELE ECONOMIQUE OU LE MARCHE EUROPEEN ACCUEILLE AUSSI BIEN LES ENERGIES RENOUVELABLES QUE LA PRODUCTION DISTRIBUEE OU ENCORE LE PILOTAGE DE LA CHARGE.**

Pour que cette mutation soit économiquement viable et profite in fine au consommateur, elle doit passer par une évolution profonde des mécanismes de marché et de régulation.

⁹ Pour les définitions des principaux termes utilisés dans la note, on se reportera au glossaire figurant en annexe 7.

La réussite de cette intégration au niveau européen suppose :

- l'amélioration des techniques de développement et d'exploitation des réseaux de transport à la maille européenne pour faciliter les échanges et mieux gérer le foisonnement des productions intermittentes (développement de réseaux off-shore à courant continu ; supervision et pilotage des réseaux) ;
- l'évolution des modèles de marchés et de régulations : celle-ci permettra l'accès des productions décentralisées et de l'effacement diffus aux marchés organisés ainsi qu'à l'équilibrage offre-demande (par exemple au travers d'un modèle d'agrégation à définir).

L'importance du travail de recherche encore à accomplir est bien illustrée par le 7^{ème} PCRD¹⁰ de la Commission européenne (Cf. Annexe 4)

3. BENCHMARK DES RÉSEAUX INTELLIGENTS – ETAT DE L'ART EN CE DOMAINE

3.1. LE CONCEPT DE "RESEAU INTELLIGENT"

Un réseau intelligent est un système électrique qui permet à ses différents acteurs – producteurs centralisés et décentralisés, fournisseurs, gestionnaires de réseaux et consommateurs – d'interagir avec une grande flexibilité afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée. Ce système s'appuie sur une pénétration plus marquée des nouvelles technologies, notamment de l'information et de la communication, qui permet aux réseaux, tout particulièrement de distribution, de s'adapter aux nouveaux enjeux.

Un réseau intelligent

- accroît significativement l'efficacité des activités de planification, de développement, de maintenance, d'exploitation et de conduite des réseaux, tout en permettant l'intégration d'une production fortement diversifiée et de nouveaux usages de l'électricité;
- permet une contribution active des consommateurs à la réalisation d'un équilibre offre-demande plus performant, par la maîtrise de leurs consommations, notamment en pointe, et le recours à des moyens individuels de production et de stockage d'électricité.

3.2. ETAT DE L'ART EN MATIERE DE RESEAUX INTELLIGENTS

La thématique « des réseaux et systèmes électriques intelligents » est identifiée dans de nombreux pays comme une thématique prioritaire de recherche et de démonstration, les exemples de déploiement massif étant encore rares.

Sans prétendre à l'exhaustivité, ce chapitre propose un rapide état des lieux de la situation dans le monde avec un zoom particulier sur quelques projets de recherche et de démonstrateurs en cours ou récemment achevés, la description de certains étant extraite de la feuille de route de l'appel à manifestation d'intérêt de l'ADEME.

¹⁰ Plan cadre européen de recherche et développement.

Le nombre de projets qui peuvent se rattacher à la thématique des réseaux intelligents est en constante augmentation de par le monde, selon le contexte, le pays, le mode de régulation, etc.... Chacun de ces projets répond à un ou plusieurs des grands objectifs des réseaux intelligents, et présente de grandes variations dans les solutions retenues, le niveau d'intégration, et la nature du déploiement (démonstration ou déploiement pleine échelle aujourd'hui moins fréquent). Les champs thématiques des projets et programmes présentés se focalisent généralement sur : la **gestion de la demande**, la **pénétration des énergies renouvelables**, l'**évolution de l'architecture des réseaux**, et notamment la **notion de micro-réseaux**, ainsi que le **développement de modèles d'affaires** favorables à l'émergence des réseaux intelligents.

Trois groupes de pays ont été ciblés pour cet état des lieux : **Asie Pacifique**, les **Etats-Unis** et l'**Union Européenne**. Ce choix s'explique par :

- l'importance de l'effort de recherche et / ou de démonstration fait par ces groupes de pays sur la thématique des réseaux intelligents intégrant les ER ;
- le positionnement de ces pays et de leurs acteurs (ex : équipementiers, laboratoires de recherche, gestionnaires de réseaux) par rapport à la frontière des connaissances technologiques et socio-économiques.

A. Asie Pacifique¹¹ :

Cette partie du monde n'échappe pas à la tendance à faire une place de plus en plus importante aux énergies renouvelables et à la limitation des émissions de CO2 avec en corollaire la prise de conscience que les réseaux intelligents ont un potentiel important dans ce domaine. Devant ce marché bourgeonnant, les gouvernements commencent à y injecter des capitaux. Mais la région est vaste et il y a des différences considérables entre les pays de ces régions. La Corée, le Japon et la Chine envisagent des développements de réseaux intelligents au sens large à l'échelon national. L'Australie, l'Inde et l'Indonésie se focalisent a priori plutôt sur l'amélioration de l'efficacité des réseaux existants au travers de programmes de taille plus limitée.

Actuellement, au travers notamment des réalisations de l'agence gouvernementale japonaise NEDO, le Japon peut être considéré comme le **leader mondial** en matière de démonstrateurs de recherche. Ceux-ci portent essentiellement sur la forte pénétration de production décentralisée sur les réseaux de distribution et / ou sur les micro-réseaux.

¹¹ Les informations présentées dans cette section sont majoritairement issues de l'état de l'art des projets internationaux de démonstration établi par un groupe d'experts dans le cadre de l'AMI lancé par l'Ademe en juillet 2009 sur les réseaux intelligents.

Les plateformes de démonstration en fonctionnement visent principalement à démontrer la faisabilité technique de **micro-réseaux** intégrant une forte proportion d'énergies renouvelables et / ou décentralisées (ex : micro-cogénération, piles à combustibles en usage stationnaire). Trois de ces démonstrateurs japonais semblent particulièrement pertinents à mettre en avant : **Hachinohe, Sendai et Ota city** (cf. tableau annexe 1).

A ce jour, les démonstrations en cours semblent néanmoins **laisser de coté l'étude** :

- des possibilités offertes par **la gestion de la charge** à travers notamment l'envoi de signaux tarifaires chez le consommateur ;
- de l'impact, sur le fonctionnement et le pilotage du système électrique et des réseaux haute et moyenne tension, de l'insertion d'une part significative de **production d'électricité à partir de ressources renouvelables** (notamment le photovoltaïque).

L'analyse des coûts et bénéfices économiques et environnementaux liés au déploiement de ces options (ex : micro-réseaux, forte pénétration des ER) semble également rester rudimentaire (ex : peu de travaux sur l'expérimentation de nouveaux modèles d'affaires) dans ces expérimentations.

Cette dernière gagnerait à être étendue au système électrique dans son ensemble et dispatchée entre les différents acteurs pris individuellement (ex : fournisseurs, distributeurs, transporteurs, agrégateurs).

Il faut noter que les opérations sont fortement portées par le NEDO avec un **engagement limité des compagnies d'électricité** japonaises. Celles ci ont par ailleurs développé un bon niveau d'automatisation de leur réseau et déploient pour certaines de puissants outils de télécommunications. En complément, leur vision des réseaux intelligents s'oriente beaucoup vers la question de l'intégration des systèmes d'information et leur interopérabilité.

On observe par ailleurs une forte mobilisation nationale en Corée du Sud pour réduire les émissions de CO₂ du système électrique et améliorer son économie (compétitivité et exportation). Un large projet de démonstrateur "réseaux intelligents" d'un budget de 270M€ a été lancé sur des thèmes proches, voire similaires à ceux des démonstrateurs en préparation en France. Des réformes légales (et tarifaires) sont également prévues dans un marché où la principale compagnie électrique (Kepco) reste intégrée.

B. Etats-Unis ¹² :

Aux Etats Unis, la sûreté du système électrique (liée à un sous investissement chronique), l'augmentation de la consommation et la difficulté croissante à construire de nouvelles lignes de transport d'électricité sont les principaux moteurs actuels des réseaux intelligents. Le développement des réseaux intelligents aux Etats Unis a été stimulé par les 4.5 Milliards de \$ alloués récemment à la modernisation des réseaux par l'American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) de l'administration Obama. Ceci s'est concrétisé par deux vagues d'annonces du Department Of Energy :

¹² Les informations présentées dans cette section sont majoritairement issues de la cartographie des programmes de recherche sur les réseaux intelligents, réalisés par EDF R&D et l'EPRI.

- \$3.4 Milliards de financements publics accordés à 100 projets d'investissement d'un montant total de \$8.1 Milliards (part publique ~42%); -
- \$615 Millions de financements publics accordés à 32 projets de démonstration (16 sur les réseaux intelligents, représentant un investissement total de \$877 Millions (part publique ~50%) et 16 sur le Stockage représentant un investissement total de \$770 Millions (part publique ~24%)).

Auparavant, les programmes de recherche sur les réseaux intelligents étaient déjà nombreux et couvraient des champs thématiques très vastes (cf. tableau annexe 2)

En complément de ces différents programmes, les Etats-Unis sont également engagés dans plusieurs projets de démonstrateurs de recherche. Contrairement au cas du Japon, ces démonstrateurs semblent très orientés sur **l'étude des possibilités offertes par le pilotage de la charge** pour offrir des degrés de liberté supplémentaires dans la conduite des réseaux et du système électrique, tout en impliquant largement les compagnies d'électricité.

Du côté des acteurs, on peut observer une forte implication des fournisseurs de logiciels et de services informatiques (ex : CISCO, IBM, Google, Microsoft).

C. Union Européenne¹³ :

En Europe, la question du développement et du déploiement des initiatives de Réseaux intelligents est liée étroitement aux objectifs 20/20/20 fixés dans le paquet « énergie-climat » (i.e. en 2020, réduction de la consommation énergétique de 20 %, 20% de l'énergie produite à partir d'énergies renouvelables, et 20 % de réduction des émissions des gaz à effet de serre). Les priorités de l'Europe sont aussi liées aux trois axes de la politique énergétique européenne décrite dans le livre vert : compétitivité, sécurité de fourniture, et durabilité.

Du coup, les initiatives européennes dans le domaine des réseaux intelligents se sont focalisées sur l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le mix de production, avec la perspective d'augmenter l'implication des utilisateurs finaux dans la gestion du système, au travers de politiques de gestion de la demande et du déploiement d'infrastructures de comptage communicant. Il faut noter que, dans quelques pays, plusieurs projets ont été déployés et sont en exploitation, en général sur un nombre limité de technologies de réseau intelligent (typiquement des systèmes de comptage communicant ou des systèmes de communication adaptés à l'exploitation des ouvrages). La plupart de ces projets concernent quelques dizaines, voire centaines de milliers de clients avec, pour certains, un nombre encore plus important de clients concernés. Notamment, les pays scandinaves ont commencé à déployer des technologies de comptage communicant afin de répondre à des objectifs de maîtrise de la demande d'énergie et de mise en place de l'ouverture des marchés.

Mais c'est le projet Italien Telegestore, déployé par Enel Distribuzione, qui représente le projet le plus avancé avec 33 millions de compteurs communicants en fonctionnement depuis plusieurs années, un haut niveau d'automatisation d'un grand nombre de postes de distribution, des outils avancés d'exploitation et de gestion des actifs....

¹³ Les informations présentées dans cette section sont majoritairement issues de l'état de l'art des projets internationaux de démonstration établi par un groupe d'experts dans le cadre de l'AMI lancé par l'Ademe en juillet 2009 sur les réseaux intelligents.

Quoi qu'il en soit, des projets intégrant des technologies du réseau intelligent peuvent également être identifiés dans d'autres pays:

- **Les Pays Bas**, notamment: avec la SmartCity d' Amsterdam (Alliander, AIM and Accenture).
- **L'Allemagne** où le gouvernement fédéral a décidé en 2006 d'investir d'ici 2009 près de 15 milliards d'euros pour la recherche et la diffusion des technologies d'avenir dans le cadre de sa "stratégie hightech". L'énergie fait partie des 17 champs d'innovation prioritaires et bénéficie d'un budget proche de 2 Milliards d'Euros. A l'intérieur de la thématique énergie, les réseaux intelligents ont été identifiés comme l'une des thématiques prioritaires, selon une stratégie en 3 axes : le développement de nouveaux composants, la flexibilité des réseaux, l'intégration (notamment pour faciliter l'insertion des véhicules électriques et hybrides rechargeables sur les réseaux). L'un des projets les plus emblématiques sur la thématique « réseaux intelligents » est le projet E-Energy (cf. annexe 5)..
- **Le Portugal** avec le projet InnovGrid en développement par le distributeur local EDP.
- **L'Espagne** (ES-1) en particulier avec les projets d'ENDESA et d'Iberdrola de SmartCities.
- **La France** où d'ores et déjà, plusieurs acteurs industriels français se sont engagés dans des projets de recherche et de démonstration en Europe (ex : UE-DEEP, FENIX, ADDRESS) et à l'étranger (ex : Etats-Unis).

Plus récemment, le gestionnaire de réseaux de distribution ERDF a lancé une expérimentation de grande ampleur portant sur **30000 compteurs communicants** (projet LINKY).

Par ses capacités de transmission et de réception de données, ce compteur évolué devrait, toutes choses égales par ailleurs, permettre le développement de services aux réseaux et aux consommateurs finaux visant à favoriser les actions de MDE, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la pénétration de la production décentralisée. A noter également les **projets** :

- **Multisol** qui vise à gérer l'énergie électrique dans les logements suivant des critères écologiques (ex : réduction des émissions de CO₂) ou économiques (ex : coûts) tout en respectant le confort de l'utilisateur (cf. annexe 6) ;
- **Premio** qui a développé une plateforme d'intégration de la production décentralisée ;
- **FAC** (fonctions avancées de conduite) et **FAR** (fonctions d'automatisation des réseaux), qui visent à développer les capacités d'auto-cicatrisation des réseaux moyenne tension. Le premier de ces projets, au stade du déploiement, concerne la remontée d'alarmes, l'accélération de l'identification des parties du réseau en défaut et la proposition au dispatcher d'un schéma de reconfiguration du réseau. Le second, au stade des études, concerne la participation de la production distribuée au réglage de la tension.

Plus récemment, l'ADEME a lancé 2 appels successifs à manifestation d'intérêt (AMI) pour la réalisation de démonstrateurs de réseaux intelligents.

Enfin au niveau européen, il faut rappeler que les démonstrations de recherche ciblées sur l'intégration des énergies renouvelables et la production distribuée étaient des actions importantes des 5^{ème} et 6^{ème} PCRD avant que la notion de réseau intelligent ne voie le jour. Au-delà des aspects technologiques, les projets couvraient des **aspects socio-économiques, législatifs et de gestion des réseaux**.

Sur la période 2002 – 2006, le 6^{ème} PCRD a soutenu plus de 60 projets sur la thématique « réseaux intelligents et intégration des énergies renouvelables » pour un montant total d'investissement de l'ordre de 190 millions d'euros.

Trois projets financés sur la période 2002 – 2006, intégrés à des plateformes de démonstration, semblent particulièrement pertinents au regard des réseaux intelligents : **More-microgrids, FENIX et EU-DEEP** (cf. annexe 3).

Plus récemment, les appels à projets « énergie » du 7^{ème} PCRD ont également favorisé le montage d'un ERA-Net sur les réseaux intelligents et des projets de recherche et de démonstrateurs sur les réseaux et les systèmes électriques intelligents (ex : ADDRESS) (cf. annexe 4)

Les projets de recherche et de démonstration financés dans le cadre des 5^{ème} et 6^{ème} PCRD ont permis d'identifier les options technologiques, économiques et institutionnelles permettant une transition vers les réseaux intelligents. L'enjeu est maintenant de réussir à **changer l'échelle des réalisations**, à l'instar de l'AMI lancé par l'ADEME.

4. LES FREINS AU DEPLOIEMENT DES RESEAUX INTELLIGENTS

L'émergence d'un système électrique plus intelligent et mieux adapté aux nouveaux enjeux nécessitera de lever progressivement et de manière concertée des barrières de différentes natures : économique, technologique, comportementale et réglementaire.

4.1.1. Les barrières économiques

Le bénéfice global d'un tel système requiert que soit consentis les investissements nécessaires à son émergence, en matière de recherche et développement, d'innovations, de déploiement des infrastructures techniques et des systèmes d'information.

Le bilan coûts / bénéfices de l'opération doit être établi de façon concertée entre les différentes parties prenantes : puissance publique, autorités de régulation, consommateurs, gestionnaires de réseaux, producteurs et fournisseurs, ainsi que les autres industriels concernés (équipementiers, SSI, intégrateurs, etc.).

Le système mis en place devra valoriser de manière objective, transparente et non discriminatoire les coûts et les gains de chacune des catégories d'acteurs. Ceci passe notamment par :

- une évolution de la tarification vers une incitation renforcée à la maîtrise de la demande, notamment en pointe, dans le cadre d'un marché ouvert à la concurrence ;
- une meilleure connaissance de la structure des coûts et des gains de chacune des catégories d'acteurs ;
- une valorisation des externalités positives, telles que la réduction des émissions de GES imputables à la production électrique.

Les modèles économiques permettant d'atteindre l'optimum doivent être précisés. Ils se mettront en place progressivement en fonction de la levée des freins technologiques, sociologiques et réglementaires. A cet égard, il est permis de penser que les modèles satisfaisant aux conditions précitées ne requerront pas nécessairement de mobiliser les technologies les plus onéreuses, au moins dans un premier temps.

4.1.2. les barrières technologiques

L'émergence de systèmes électriques évolués nécessite une série de développements clés dans les domaines suivants :

- **les technologies de l'information et de la communication (TIC) appliquées aux réseaux électriques**, afin
 - d'améliorer le télé-contrôle et l'automatisation de la conduite des réseaux de distribution (contrôle de la tension, mesure des flux, autotransformation, etc.)
 - de renforcer la coordination entre les différents niveaux de tension et entre gestionnaires des réseaux de distribution et gestionnaire du réseau de transport, en vue d'optimiser l'équilibre offre-demande, de garantir la stabilité des réseaux et la continuité de la fourniture ;
- **le déploiement du comptage communicant et des technologies "aval compteur"**, en vue d'être en mesure de piloter une partie des consommations. La frontière entre ces deux domaines et leur interopérabilité restent à déterminer, ainsi que les architectures de communication et les systèmes d'information correspondants ;
- **les technologies des réseaux de distribution**, avec l'évolution des matériels traditionnels vers des équipements plus communicants, plus autonomes, plus efficaces et plus écologiques ;
- **les techniques de développement et d'exploitation des réseaux de transport**, qu'il y a lieu de faire évoluer pour faciliter les échanges et mieux gérer le foisonnement des productions intermittentes (développement de réseaux off-shore à courant continu ; supervision et pilotage des réseaux à la maille européenne) ;
- **les technologies de stockage de l'électricité**, afin de permettre l'essor d'unités de stockage centralisées ou décentralisées, notamment en lien avec le développement de la production intermittente ;
- **les outils pour développer l'activité d'agrégation**, permettant une gestion élaborée de la production locale et de la charge : architectures de communication ; outils de pilotage et de mise en commun d'offres de production et d'effacements en vue de leur placement sur le marché ; interfaces avec les points de production et de charge ;
- **les nouveaux équipements utilisés par les consommateurs** : appareils électroménagers "intelligents", autonomes ou communicants, véhicules électriques, installations de production et de stockage décentralisées.

Ces développements permettront une mesure significativement plus fréquente des flux en soutirage (consommations) et injection (production distribuée), indispensable aux différents acteurs du système électrique pour accroître fortement la flexibilité de celui-ci.

Une grande partie des technologies précédemment mentionnées est disponible pour amorcer les premiers développements. Les questions à résoudre pour un déploiement à grande échelle sont relatives :

- aux **coûts** actuels et aux coûts cibles (soutien à la R et D, à l'innovation et aux démonstrateurs ; coûts d'installation, de déploiement et de maintenance) ;
- à l'articulation entre ces technologies dans une **approche système complexe** (interopérabilité des équipements ; standardisation des protocoles ; capacité des systèmes à évoluer par couches successives ; etc.) ;

- à la **fiabilité et à la qualité des solutions** à grande échelle ;
- aux **temps de déploiement** et aux cycles de vie des équipements des réseaux, significativement plus longs que les cycles de vie des nouvelles technologies (systèmes d'information, logiciels, télécommunications, etc.) ;

La réponse à ces questions doit permettre, au sein d'un modèle de marché assurant l'interaction d'acteurs du domaine régulé et du domaine concurrentiel, une juste rémunération des investissements pour assurer un développement dans la durée, en tenant compte de la dimension européenne.

4.1.3. Les barrières comportementales

L'évolution du comportement des consommateurs, en raison de son impact attendu sur le fonctionnement global du système, est au cœur des enjeux de l'émergence des réseaux évolués. Dans une vision aboutie, la flexibilité de la demande, de la production décentralisée ou du stockage des consommateurs contribuent significativement à l'équilibre offre – demande du système électrique, limitant le recours à des capacités de production et d'acheminement supplémentaires. Les consommateurs (résidentiels, tertiaires et industriels) deviennent des **acteurs de la flexibilité du système électrique**.

Pour entrer massivement dans le jeu, ceux-ci devront impérativement avoir l'assurance que la sécurité des transactions est garantie.

L'évolution attendue du rôle du consommateur ne sera ni homogène, ni immédiate. Une analyse détaillée des motivations des différents groupes de consommateurs (développement durable, lutte contre le réchauffement climatique, pouvoir d'achat, etc.) au regard de la maîtrise de la demande sera nécessaire pour mobiliser les différents gisements de flexibilité. L'évolution du comportement vers une maîtrise active et efficace des consommations d'électricité et des puissances appelées se fera de manière progressive.

En tout état de cause, des mécanismes suffisamment incitatifs doivent venir compenser les contraintes associées afin de favoriser un changement massif des comportements.

4.1.4. Les barrières en matière de réglementation et de régulation

Le champ de la réglementation, et de la régulation devra, pour prendre en compte les nouvelles caractéristiques du marché, évoluer sur les points suivants :

- **la définition des périmètres respectifs des domaines régulé et dérégulé** : la part d'investissement régulé prise en charge par la tarification de l'acheminement devra s'articuler de manière vertueuse avec la part d'investissement à la charge des opérateurs en concurrence, dédiée tant à la création d'actifs qu'à l'offre de services aux clients finals ;
- **la standardisation** des différentes technologies et des protocoles d'échanges d'information entre les différents équipements du réseau intelligent, et en particulier entre le compteur communicant, les usages finals de l'électricité et les gestionnaires de réseaux, afin notamment de générer des économies d'échelle ;
- **l'émergence d'une organisation et d'une régulation du marché stables et transparentes**, indispensable pour permettre
 - aux différents acteurs d'investir à bon escient ;

- aux opérateurs en concurrence et aux gestionnaires de réseaux de traduire, dans les prix du service rendu, les coûts complets de celui-ci en fonction de la période où celui-ci est fourni, en sorte que les consommateurs reçoivent les incitations adéquates à gérer leur consommation et leurs appels de puissance de façon efficace et contribuent activement, ce faisant, à un équilibre offre – demande plus performant.

4.1.5. En résumé

Si les **avancées technologiques actuelles** permettent d'engager une mutation du système électrique de nature à rendre "active" la demande des consommateurs, leur **industrialisation** pour une mise en œuvre à grande échelle, les **coûts associés** à ces solutions, ainsi que le **facteur humain** lié aux comportements des consommateurs, constituent autant de freins majeurs au déploiement des réseaux intelligents. Aussi, disposant des technologies à déployer en première étape, devons-nous concentrer en priorité nos efforts sur la recherche d'**un optimum technico-économique** pour l'ensemble du système, dans le respect des intérêts légitimes des différentes parties prenantes. Des **incitations économiques** appropriées permettront l'engagement des investissements nécessaires et la mobilisation des consommateurs, dans le cadre d'une réglementation et d'une régulation adaptées à cette fin.

5. . LES RECOMMANDATIONS

Afin d'anticiper et de favoriser l'émergence d'un système électrique évolué et de faire bénéficier les consommateurs de nouveaux services, l'attention doit porter sur trois points essentiels.

- Le déploiement d'un tel système requiert un effort important de recherche-développement et des investissements considérables. Le financement des travaux de R & D implique le nécessaire apport de fonds publics, communautaires et nationaux. Au stade du déploiement, l'évolution des tarifs du domaine régulé devra permettre une couverture adéquate de la part des investissements mise à la charge des opérateurs de celui-ci.
En tout état de cause, l'ensemble des acteurs de la filière (consommateurs, gestionnaires de réseaux, fournisseurs...). va être amené à contribuer à ces investissements Il est donc essentiel que tous bénéficient de **visibilité** sur le moyen et sur le long terme. Celle-ci passe impérativement par **la mise en place d'un cadre concurrentiel et réglementaire rénové, stable et transparent**, reposant sur **des mécanismes de marché et de régulation adaptés**, ainsi que sur **la définition de standards et de normes communs**.
- Pour supporter ces investissements, il est également primordial d'envisager toutes les voies possibles de **mutualisation des coûts et des fonctionnalités entre les différentes parties prenantes, et notamment entre gestionnaires de réseaux et fournisseurs, afin d'atteindre l'optimum technico économique au bénéfice de la collectivité**. Ces solutions peuvent passer par des modifications profondes de l'organisation du marché.

- Enfin, il est essentiel d'établir **le bilan coûts-bénéfices pour les différents opérateurs du système électrique (gestionnaires de réseaux, fournisseurs, producteurs...) et les consommateurs. Ces derniers seront, de par les changements qu'ils apporteront à leurs modes de consommation, des acteurs essentiels des réseaux intelligents.**

L'évolution des comportements de consommation requerra la mise en œuvre conjointe d'actions d'information et de mesures incitatives appropriées. En tout état de cause, il est nécessaire que le dispositif mis en place offre aux consommateurs toutes les garanties en matière de protection des libertés individuelles, de sécurité informatique et de fiabilité.

Nous proposons donc de privilégier les voies et moyens suivants:

- Une démarche commune pour chaque type d'opérateur du système électrique (gestionnaire de réseau, fournisseur, producteur...) pour la détermination des fonctionnalités à développer et de celles qui sont prioritaires, à intégrer dans une démarche rassemblant l'ensemble des opérateurs.
- En réponse à la problématique des pointes de consommation, il est indispensable de faire évoluer l'organisation du marché en sorte que soit assurée **une valorisation efficiente des capacités de production et des effacements de consommation. Une évolution corrélative de la tarification au client final (acheminement et fourniture)** permettra d'assurer une meilleure incitation au choix de dispositifs performants (matériels électriques, isolation thermique des bâtiments, etc.) ainsi qu'à la diminution des pointes de consommations (saisonniers et journaliers) et des congestions sur les réseaux (distribution et transport).
- **La mutualisation des réseaux de communication déployés et utilisables par les gestionnaires de réseaux et les fournisseurs : celle-ci suppose notamment une clarification préalable des rôles, responsabilités et rémunérations entre le propriétaire, l'exploitant et les utilisateurs du réseau de communication, ainsi que la standardisation des protocoles d'échanges d'informations** tout au long de la chaîne technologique et l'établissement d'un corpus de règles de fonctionnement associées commun à tous les opérateurs.
- **Des expérimentations devront être conduites, fût-ce sur un périmètre réduit, en intégrant le maximum d'éléments contributifs du réseau intelligent** (compteurs communicants et capteurs, gestionnaires d'équipements de consommateurs, équipements des réseaux publics de distribution, installations de production, etc.) **afin de tester les différents services que peuvent en attendre les parties prenantes concernées.** Ces expérimentations devront être conduites en 2 temps : en testant successivement chaque type d'élément contributif, puis l'ensemble de ces types d'éléments de manière simultanée, afin d'appréhender les interactions entre sous-systèmes au sein du système global. et réduiront les temps de retour des investissements consentis pour le développement de « l'intelligence » des réseaux.
Ces essais permettront également de faire émerger des fonctionnalités nouvelles, qui enrichiront les offres de services des opérateurs. Plus généralement des projets de démonstration à grande échelle pourront s'avérer nécessaires pour étudier les pistes précédemment évoquées et y apporter des réponses adéquates.

- Dans ce cadre, le soutien et la caution des pouvoirs publics seront nécessaires ; il conviendrait notamment que des aménagements puissent être apportés, à titre expérimental, au cadre de régulation afin de permettre de tester en vraie grandeur de nouveaux schémas d'organisation et d'en évaluer la pertinence en concertation avec les parties prenantes.

Plus généralement, **il serait hautement souhaitable que les pouvoirs publics accompagnent la démarche des acteurs du système électrique afin de contribuer activement, dans leur sphère de responsabilité, à lever les freins précédemment évoqués** (à l'instar du rôle joué dans le développement de la mobilité électrique).

En tout état de cause, la mise en œuvre des compteurs communicants constitue une étape essentielle dans le développement des réseaux intelligents. Ils permettront en effet aux gestionnaires de réseaux de distribution de disposer de données en temps quasi réel sur les flux d'énergie en tout point de leurs réseaux et, en conséquence, d'améliorer significativement la planification du développement des ouvrages et leur exploitation, au bénéfice d'une qualité de service renforcée. Ils permettront parallèlement aux utilisateurs finals de disposer de données déterminantes pour la gestion de leur énergie. Leur développement généralisé est attendu.

Annexe 1 : Projets japonais de démonstration sur la thématique « réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les EnR »

Nom / lieu du projet	Période	Objectif de la démonstration	Taille de la démonstration	Capacités installées en PDE et en stockage
Sendai	2004 – 2008	L'objectif de cette démonstration est de montrer que des niveaux multiples de PQR ¹⁴ peuvent être fournis simultanément par un micro-réseau et de comparer la viabilité économique d'une telle approche par rapport à l'équipement conventionnel d'alimentation d'énergie en continu.	Le micro réseau alimente une université, un lycée et une usine d'eau d'égout	<u>PDE</u> : 1 pile à combustible MCFC de 250 kW + 2 générateurs au gaz naturel de 350 kW. <u>Stockage</u> : Un banc de batteries de 50 kW
Ota City	2002 - 2007	L'objectif de cette démonstration est de voir dans quelle mesure l'adossement de systèmes de stockage à des panneaux photovoltaïque peut permettre de résoudre les problèmes (ex : survoltage, création d'harmoniques) liés à l'injection de courant produit par des panneaux PV sur le réseau. Dans ce but, un management central par communication via des unités de mesure IP a été développé. Les données recueillies ont permis de diagnostiquer le comportement des batteries et de faciliter la détection des dysfonctionnements.	500 foyers / maisons ont été équipés de systèmes PV et de batteries.	Un système possède en moyenne 3,85kW de panneaux photovoltaïques pour 4704Ah de batteries au plomb.
Hachinohe	2005 - 2008	L'objectif du projet est d'évaluer les services de PQR la rentabilité et les émissions de GES évitées, liés au déploiement d'un micro-réseau uniquement alimenté par des ressources renouvelables.	Le micro réseau dessert des bâtiments de la ville d'Hachinohe. Les équipements de production et de stockage sont reliés aux lieux de consommation par une double ligne de distribution de 5,4 km de 6kV.	<u>PDE</u> : Un digesteur d'eau d'égout de 3 générateurs de 170 kW + une chaudière au bois de 1.0t/h <u>Stockage</u> : Un banc de batteries au plomb de 100 kW

¹⁴ Power Quality and Reliability

Annexe 2 : Principaux enseignements de l'analyse du contenu des programmes R&D états-uniens sur les réseaux intelligents (approche par les champs d'application)

Afin de préciser les domaines inclus sous le vocable « réseaux intelligents » et de disposer d'un étalon partagé permettant de comparer les programmes et les démonstrateurs de recherche sur des bases communes, une grille commune d'analyse du contenu des programmes a été développée conjointement par EDF R&D et l'EPRI, qui fait la distinction entre :

- Les **champs d'application** couverts par les différents programmes examinés : les usages finaux, la distribution, le transport, les postes électriques, la production (y compris production distribuée) et le stockage, le marché et la régulation.
- Les **thématiques de recherche et / ou démarches conceptuelles** mises en œuvre dans les différents programmes : la construction de visions et de concepts, les cas d'affaires, les besoins fonctionnels, le cadre général, l'architecture des systèmes, les services transverses, la standardisation et les groupes d'utilisateurs, l'analyse des technologies, les développements logiciels (hardware et software), l'intégration des produits et la démonstration.

Les principaux programmes de recherche sont ensuite analysés sur la base de cet étalon afin d'identifier les domaines **fortement**, **moyennement** ou **faiblement**¹⁵ couverts par les différents programmes de recherche sur les « réseaux intelligents » (cf. tableau ci-après). A noter que cette analyse est antérieure à la mise en place de l'ARRA (cf. texte principal).

Champs d'application	Niveau de couverture	Commentaires
La distribution	Très bonne couverture thématique	La distribution est le champ d'application le mieux couvert par les différents programmes de recherche, notamment sur les aspects développement de matériels et de logiciels, analyse des technologies et démonstration. Cette très forte couverture illustre le fait que les efforts de recherche actuels supportent en priorité les premiers déploiements opérationnels de nouveaux systèmes (ex : compteurs intelligents, automatisation des réseaux de distribution) sur les réseaux de distribution
Le transport / la production (y compris production répartie) et le stockage	Couverture thématique moyenne	Le transport, la production (y compris production répartie) et le stockage sont assez bien couverts par les différents programmes. L'analyse des technologies, les développements informatiques, les services transverses, les protocoles et cadre d'intervention ainsi que les démonstrations sont les principaux axes de recherche financés.
Les usages finaux et les sous - stations	Couverture thématique moyenne	Ces 2 thématiques sont également moyennement couvertes, mais des points faibles sont apparus dans l'analyse des programmes, notamment sur les projets couvrant l'intégration des produits et l'analyse des modèles d'affaires, qui sont pourtant essentiels pour le déploiement des réseaux intelligents.
Le marché et la régulation	Faible couverture thématique	Les questions en lien avec le marché restent structurellement peu couvertes par les programmes actuels. Ce constat est assez problématique dans la mesure où l'utilité du déploiement des réseaux intelligents repose en partie sur la capacité du système à créer les conditions d'arbitrage entre différentes options (ex : efficacité énergétique, recours à la PDE, recours au stockage) que seuls des signaux de marché peuvent créer.

¹⁵ Un champ d'application est considéré comme fortement couvert lorsque 60% à 100% des programmes analysés comprennent des projets appartenant à ce champ d'application moyennement couvert 40% à 60% et faiblement couvert moins de 40%.

Annexe 3 : Présentation des principaux projets de démonstration financés dans le cadre des 6^{ème} et 7^{ème} programmes cadres

Nom	Période	Objectif de la démonstration	Taille de la démonstration
More-microgrids http://www.microgrids.eu/	2006 – 2009	Le projet Microgrids vise à favoriser l'augmentation de la pénétration des micro-réseaux dans les réseaux électriques par l'exploitation et la prolongation du concept de micro-réseaux (agrégation de micro-réseaux vers la centrale virtuelle). Ce projet inclut des recherches visant à développer des stratégies alternatives de commande de micro-générateurs, la conception de réseaux alternatifs, le développement de nouveaux outils pour l'opération et la gestion de multi micro-réseaux et l'étalonnage des protocoles techniques et commerciaux.	Ce projet a donné lieu à 6 expérimentations de tailles diverses qui couvrent largement la problématique des réseaux intelligents de quelques clients, comme dans l'île de Knytos, à plusieurs milliers de clients dans l'île danoise de Bornhold island, en passant par le village PV de vacances hollandais de Bronsbergen (300 kWc PV îlotable). En parallèle, des études ont été menées sur les problèmes techniques (électrotechnique, commande, optimisation,...) et la quantification des bénéfices des micro-grids dans des contextes variés. -
FENIX http://www.fenix-project.org/	2004 - 2009	L'objectif du projet est d'encourager l'intégration de la production décentralisée en maximisant sa contribution dans le réseaux électrique. Le projet se focalise sur l'agrégation des producteurs d'énergie répartie sur le marché de l'énergie en développant le concept de la grande centrale électrique virtuelle et son contrôle décentralisé	La validation des résultats se fait à l'aide de 2 plateformes de test. L'une axée sur l'agrégation d'unités de cogénération, l'autre sur l'agrégation de plusieurs grandes unités de production décentralisée (renouvelable ou non)
EU-DEEP http://www.eudeep.com/	2005 – 2009	L'objectif du projet EU-DEEP (42 partenaires, 30M€ dont 15M€ de financement européen, 2004-mi 2009) est de développer des business models innovants pour intégrer de manière durable les Ressources Décentralisées d'Electricité (RDE) dans le réseaux électrique actuel. Pour ce faire, le projet identifie les conditions techniques d'un développement harmonieux des RDE dans les réseaux, évalue les différents gisements de valeur économique des RDE et teste trois business models d'agrégation permettant d'inscrire dès aujourd'hui les RDE locales dans la dynamique globale du système électrique.	5 campagnes expérimentales d'une année faisant intervenir au total 26 utilisateurs finaux : - 2 expérimentations pour tester des systèmes intégrés permettant des stratégies de contrôle innovantes de RDE (cogénération, trigénération). - 3 expérimentations pour tester des business models d'agrégation : gestion de la demande de clients tertiaires et industriels pour compenser l'intermittence des éoliennes (UK), agrégation de micro cogénérations (Allemagne), - agrégation de cogénérations et gestion de la demande en utilisant la technologie des Multi Agent Software (Grèce).

Annexe 4 : , les appels à projets « énergie » du 7^{ème} PCRD

Plus récemment, les appels à projet « énergie » du 7^{ème} PCRD ont également favorisé le montage d'un ERA-Net sur les réseaux intelligents et des projets de recherche et de démonstrateurs sur les réseaux et les systèmes électriques intelligents : OPEN METER, ADDRESS, REALISEGRID et OPEN NODE :

- **OPEN METER**, piloté par Iberdrola, vise à développer des standards de communication favorisant le développement de services associés au déploiement des compteurs intelligents (<http://www.openmeter.com/>) ;
- **ADDRESS**, piloté par ENEL, vise à concevoir des réseaux de distribution actifs intégrant de la production décentralisée et de la gestion de la demande (<http://www.addressfp7.org/>) ;
- **REALISEGRID**, piloté par Cesi Ricerca SPA, vise à conduire des recherches et à développer des méthodologies et des technologies permettant de rendre effective la création d'un marché européen de l'électricité, à travers la création d'interconnexions (<http://realisegrid.cesiricerca.it/default.asp>) .
- **OPEN NODE**, piloté par Atos Origine, vise à développer des standards de communication favorisant le développement de l'intelligence et la communication autour du poste de distribution publique dans une approche pré normative.

Annexe 5 : Le programme E-Energy allemand

Lancé au 4^{ème} trimestre 2008, le projet **E-Energy** (<http://www.e-energie.info>), doté d'environ 100 millions d'euros, vise à démontrer le rôle de catalyseur que les technologies de la communication et de l'information peuvent jouer pour l'émergence des réseaux intelligents. Pour cela, le projet E-Energy se concentre sur 3 axes :

- La création d'une **place de marché E-Energy** qui faciliterait les transactions et les passations de contrats entre les différents acteurs des systèmes électriques intelligents ;
- Les transferts d'information et la réalisation de **transaction en temps réel** ;
- Le **développement d'interfaces** entre les différents systèmes techniques (ex : plateformes de marché) et composants afin de permettre des contrôles indépendants, la mutualisation de la maintenance et le développement de régulations couvrant l'ensemble du système.

Liste des thématiques de recherche abordées dans le cadre du projet E-Energy

Sujets de recherche
La mise en réseaux des sources d'énergies distribuées et de la demande afin d'optimiser l'équilibre offre – demande
La digitalisation des opérations et services associés aux systèmes énergétiques à des fins d'automatisation des procédures d'analyse et de contrôle
L'intégration des procédés et des concepts pour la sécurisation des informations, des communications et des transactions circulant et / ou prenant place sur le marché électronique
Des thématiques transversales : Interopérabilité et standardisation, sécurité et protection des données, développement d'un cadre de régulation, modèles d'affaire pour les nouveaux services

Source: *The German Programme E-Energy ICT-based Energy System of the Future* – G. Seher. German Aerospace Centre. Présentation à la conférence de Nice sur les réseaux du 10 décembre 2008.

Annexe 6 : Le projet Multisol français

Le projet Multisol cherche à optimiser l'utilisation des différentes sources d'énergies intermittentes ou permanentes (ex : photovoltaïque, batteries, réseaux électriques) en prévoyant et en décalant dans le temps en fonction des besoins, en réinjectant l'énergie sur le réseaux et / ou en stockant l'énergie produite. Les objectifs sont multiples :

- Utiliser l'énergie produite localement (notamment le photovoltaïque) et favoriser son essor ;
- Réduire les pics de consommation sur le réseau et la mobilisation de moyens de production fortement émetteurs de CO₂ ;
- Aider l'utilisateur à réduire sa consommation grâce à de l'information et du coaching.

Suite au déroulement, deux prototypes sont maintenant opérationnels, avec une puissance individuelle de 9kW. Ils peuvent gérer 4 sources d'énergie, un système de stockage et 10 circuits de distribution d'un logement. Leur utilisation serait à valider à plus grande échelle pour mieux préciser l'impact sur les comportements.

<http://www-anr-pv.cea.fr/home/liblocal/docs/Seminaire2007/MULTISOL.pdf>

ANNEXE 7 : GLOSSAIRE

- **Producteur** : une personne physique ou morale injectant de l'électricité sur les réseaux publics de transport ou de distribution d'électricité.
- **Gestionnaire du réseau de transport (GRT)** : désigne RTE. Le gestionnaire du réseau public de transport exploite et entretient le réseau public de transport d'électricité. Il est responsable de son développement afin de permettre le raccordement des producteurs, des réseaux publics de distribution et des consommateurs, ainsi que l'interconnexion avec les autres réseaux.
- **Gestionnaires de réseaux de distribution (GRD)** : désignent ERDF ou les distributeurs non nationalisés mentionnés à l'article 23 de la loi n°46-628 du 8 avril 1946. Dans sa zone de desserte exclusive, le gestionnaire du réseau public de distribution est responsable de l'exploitation et de l'entretien du réseau public de distribution d'électricité. Sous réserve des dispositions du quatrième alinéa de l'article 36 de la loi n°46-628 du 8 avril 1946 précitée et des dispositions des règlements de service des distributeurs non nationalisés mentionnés à l'article 23 de la même loi, il est responsable de son développement afin de permettre le raccordement des installations des consommateurs et des producteurs, ainsi que l'interconnexion avec d'autres réseaux.
- **Fournisseur** : personne physique ou morale dûment autorisée qui achète de l'énergie pour la revendre à un client final.
- **Consommateur** : personne physique ou morale qui soutire de l'électricité pour ses besoins propres.
- **Comptage communicant** : comptage permettant aux GRD d'envoyer et de recevoir des données d'injection ou de soutirage sur les réseaux publics de distribution d'électricité.
- **Régulateurs** : régulateur sectoriel de l'énergie (CRE) ou des télécoms (ARCEP).
- **Réseau intelligent ou "smart grid"** : un réseau intelligent est un système électrique qui permet à ses différents acteurs – producteurs centralisés et décentralisés, fournisseurs, gestionnaires de réseaux et consommateurs – d'interagir avec une grande flexibilité afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée. Ce système s'appuie sur une pénétration plus marquée des nouvelles technologies, notamment de l'information et de la communication, qui permet aux réseaux, tout particulièrement de distribution, de s'adapter aux nouveaux enjeux.

Un réseau intelligent

- - accroît significativement l'efficacité des activités de planification, de développement, de maintenance, d'exploitation et de conduite des réseaux, tout en permettant l'intégration d'une production fortement diversifiée et de nouveaux usages de l'électricité;
- permet une contribution active des consommateurs à la réalisation d'un équilibre offre-demande plus performant, par la maîtrise de leurs consommations, notamment en pointe, et le recours à des moyens individuels de production et de stockage d'électricité.