

Les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables



FEUILLE DE ROUTE STRATÉGIQUE



Plan

I.	Enjeux et objectifs	4
II.	Comparaison internationale des projets de démonstrateur de recherche sur les réseaux intelligents	4
III.	Horizon temporel et champ géographique de la réflexion	6
IV.	Les paramètres clés (« drivers »)	7
V.	Les visions	11
VI.	Les verrous et les besoins de recherche	19
VII.	Les besoins de démonstrateurs de recherche	22

Liste des experts sollicités



Type d'organismes	Nom	Organismes d'appartenance
Entreprises privées	Philippe Garderet	AREVA
	Joseph Maire	EDF R&D
	Gilles Bourgain	GDF – Suez
Gestionnaires de réseaux	Marie Pierre Bongrain	RTE
	Pierre Mallet	ERDF
Organismes de recherche	Philippe Malbranche	INES
	Marc Petit	SUPELEC
	Jean Michel Glachant	Université de Paris Sud
	Didier Mayer	Armines
Association de collectivités	Alexis Gellé	FNCCR
Ministères	Michel Amiet	DGA

Le groupe d'experts a été appuyé par un secrétariat technique tenu conjointement par la société ALPHEEIS (Pierre NOLAY) et l'ADEME (Michel GIORIA).

Préambule

Les visions du système et des réseaux électriques intelligents élaborées dans le cadre de cette feuille de route ont été construites à partir de la consultation d'un groupe d'experts en provenance de l'industrie (EDF, AREVA, GDF-Suez), de la recherche publique (SUPELEC, Ecoles des Mines, INES, Universités), des gestionnaires de réseaux (ERDF, RTE), des groupements de collectivités (FNCCR) et de l'ADEME.

Lors des différentes séances de travail, les experts se sont exprimés à titre *intuitu personae*. Ainsi, les visions présentées dans cette feuille de route ne peuvent être assimilées à celles portées officiellement par les entreprises ou organismes de recherche d'appartenance des différents membres du groupe.

Les visions 2020 et 2050 du système et des réseaux électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables sont très contrastées. Cette recherche du contraste a été motivée par :

- Le souhait du groupe de proposer une vue, la plus exhaustive possible, des futurs envisageables,
- Le souci d'éviter de négliger un verrou technologique, organisationnel ou socio-économique critique, car associé à une vision exclue de la réflexion.

En corollaire, la recherche de contraste entre les visions a abouti à des représentations caricaturales du futur, permettant néanmoins de définir la frontière du champ des possibles au sein de laquelle se trouvera probablement la situation réelle aux horizons 2020 et 2050.

Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

> I. Enjeux et objectifs

Le groupe d'experts constitué pour élaborer cette feuille de route s'est accordé sur le partage de 4 enjeux, dans lesquels s'inscrivent les visions, les verrous et les besoins de démonstrateurs de recherche identifiés :

- **1^{er} ENJEU** : L'atteinte des objectifs de réduction d'émissions anthropiques de gaz à effet de serre aux horizons 2020 (réduction de 20%) et 2050 (facteur 4), notamment à travers des programmes d'efficacité énergétique ;
- **2^{ÈME} ENJEU** : A minima, le respect des objectifs européens en matière d'intégration des énergies renouvelables (23% de la consommation finale à l'horizon 2020) et d'amélioration de l'efficacité énergétique aux horizons 2020 et au-delà ;
- **3^{ÈME} ENJEU** : Le maintien d'un niveau élevé de qualité de fourniture d'électricité et de sécurité du système électrique (équilibre offre – demande), notamment dans des objectifs de compétitivité pour les secteurs électro-intensifs et de service public pour les usagers individuels ;
- **4^{ÈME} ENJEU** : La prise en compte des questions sociales (ex : précarité énergétique, égalité d'accès à l'électricité) en lien avec la fourniture d'électricité.

En complément, les visions proposées aux horizons 2020 et 2050, ainsi que l'arbitrage entre les différentes visions, s'inscrivent dans une logique économique qui veut que **l'analyse des coûts et des bénéfices pour les différents acteurs du système** soit un critère de choix déterminant pour arbitrer les options technologiques, économiques, institutionnelles et réglementaires qui seront faites.

> II. Comparaison internationale des projets de démonstrateur de recherche sur les réseaux intelligents

La thématique « des réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les EnR » est identifiée dans de nombreux pays comme une thématique prioritaire pour la recherche et la démonstration.

Sans prétendre à l'exhaustivité, ce chapitre propose un rapide état des lieux des projets de recherche et de démonstrateurs en cours ou récemment achevés.

Les champs thématiques des projets et programmes présentés se focalisent sur : la **gestion de la demande**, la **pénétration des énergies renouvelables sur les réseaux et micro-réseaux** ainsi que le **développement de modèles d'affaire** favorable à l'émergence des réseaux intelligents.

Quatre pays ou groupes de pays sont ciblés dans cet état des lieux : le **Japon**, les **Etats-Unis**, l'**Union Européenne** et l'**Allemagne**. Ce choix s'explique par :

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

A. JAPON ¹:

Actuellement, le Japon peut être considéré comme le **leader mondial** en matière de démonstration portant sur la forte pénétration de production décentralisée sur les réseaux de distribution et / ou sur les micro-réseaux.

Les plates-formes 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).

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

- Des possibilités offertes par la **gestion de la charge** à travers notamment l'envoi de signaux tarifaires chez le consommateur ;

1 Les informations présentées dans cette section sont majoritairement issues de l'état de l'art des projets internationaux de démonstration réalisés dans le cadre du projet PREMIO.

• De l'impact sur le fonctionnement et le pilotage des réseaux et / micro-réseaux 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 EnR) semblent également rester rudimentaire (ex : peu de travaux sur l'expérimentation de nouveaux modèles d'affaire).

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).

Dans le cadre de cette feuille de route, 3 démonstrateurs japonais semblent particulièrement pertinents à mettre en avant : **Hachinohe, Sendai et Ota city** (cf. tableau annexe 1).

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 télécommunication. En complément, leur vision des réseaux intelligents s'oriente beaucoup vers la question de l'intégration des systèmes d'information et leur interopérabilité.

B. ETATS-UNIS ² :

Aux Etats-Unis, les programmes de recherche sur les réseaux intelligents sont nombreux et couvrent 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 démonstrateur de recherche, qui contrairement au cas du Japon, semblent très orientés sur l'étude des possibilités offertes par le pilotage de la charge pour offrir des degrés de liberté supplémentaire dans le pilotage des réseaux.

² 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.

La récente administration a, dans le cadre du plan de relance, élevé les « smart grid » au rang de priorité. Ainsi, 4,5 milliards de dollars ont été identifiés pour soutenir des projets de recherche et de démonstration sur les « smart grid ».

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

C. UNION EUROPÉENNE ³ :

Les démonstrations de recherche ciblées sur l'intégration des énergies renouvelables et la génération distribuée étaient des actions importantes du 5^{ème} et 6^{ème} PCRD. 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.

3 projets financés sur la période 2002 – 2006, intégrés à des plates-formes de démonstration semblent particulièrement pertinents au regard du périmètre de cette feuille de route : **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**.

³ Les informations présentées dans cette section sont majoritairement issues de l'état de l'art des projets internationaux de démonstration réalisés dans le cadre du projet PREMIO.

Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

D. ALLEMAGNE :

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).

E. FRANCE :

Plusieurs acteurs industriels français sont engagés dans des projets de recherche et de démonstration en Europe (ex : UE-DEEP, FENIX, ADDRESS) et à l'étranger (ex : Etats-Unis).

Le gestionnaire de réseau de distribution (ERDF) est engagé dans un projet de **déploiement de compteurs intelligents**. Par ces propriétés communicantes, ce compteur intelligent devrait, toute chose égale 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.

> III. Horizon temporel et champ géographique de la réflexion

Cette feuille de route se focalise essentiellement sur les réseaux de distribution qui sont l'élément clé de la transition vers un réseau et un système électrique intelligent facilitant l'insertion des énergies renouvelables.

A. L'horizon temporel :

Au regard de l'inertie des infrastructures de réseaux et plus largement de l'ensemble des composants du système électrique, le groupe d'experts s'est accordé sur la nécessité d'introduire **2 horizons de temps dans la réflexion** :

- **L'horizon 2020** qui permet de décrire les grandes composantes d'un système électrique participant significativement à l'atteinte des objectifs européens (triple 20%), tout en maintenant un niveau élevé de qualité de fourniture et de sécurité du système. C'est également dans un objectif de déploiement des options technologiques, institutionnelles et économiques à cet horizon de temps que les besoins de démonstrateurs de recherche seront identifiés ;
- **L'horizon 2050** qui permet d'aboutir à des représentations contrastées des réseaux et des systèmes électriques du futur, à partir du déroulement des tendances identifiées à l'horizon 2020, et sur lesquelles sont plaquées des options contrastées en matière de régulation des réseaux et des systèmes électriques.

B. Le champ géographique de la réflexion :

Les visions, les priorités de recherche et les besoins de démonstrateurs identifiés dans cette feuille de route ont une **dimension nationale**, avec une attention particulière portée aux systèmes électriques îliens.

Compte tenu de l'intégration croissante des marchés européens de l'électricité et du rôle significatif de la Commission Européenne en matière de régulation et de R&D (ex : SET Plan, plateforme technologique sur les smart grids, initiative industrielle sur les smart grids), cette feuille de route **s'inscrit naturellement dans un contexte européen**.

Les visions déployées dans le cadre de cette feuille de route garderont une dimension généraliste.

Néanmoins, au regard des contraintes qui pèsent sur les systèmes îliens (ex : peu d'interconnexions, objectifs ambitieux en matière d'EnR), chaque vision développée sera qualifiée au regard de sa pertinence dans un contexte îlien, qui constitue des terrains privilégiés pour tester des options transférables aux systèmes interconnectés.

> IV. Les paramètres clés (« drivers »)

Dans le cas des systèmes et réseaux électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables, le groupe d'experts s'est accordé sur l'existence de 3 paramètres clés (« drivers ») qui, sur le long terme, joueront un rôle déterminant sur la forme et la nature des réseaux et des systèmes électriques intelligents :

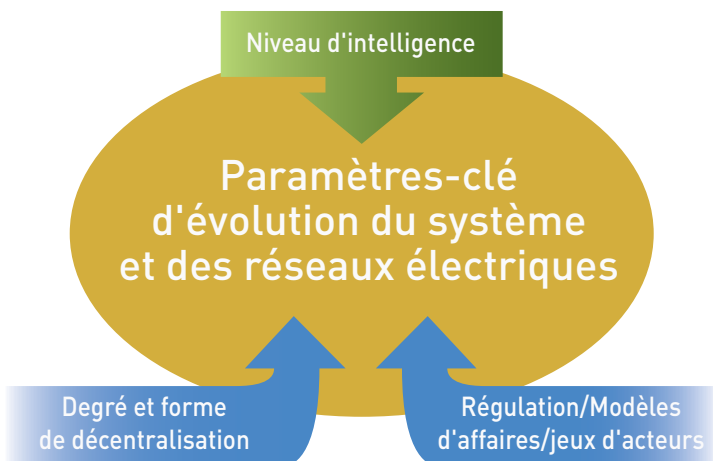
- **1^{er} paramètre clé** : Le niveau d'intelligence du système et des réseaux électriques ainsi que l'offre de produits et de services associés à cette intelligence ;
- **2^{ème} paramètre clé** : Le degré et la forme de **décentralisation** du système et des réseaux électriques ;
- **3^{ème} paramètre clé** : Les choix de régulation, les modèles d'affaire et les jeux d'acteurs autour des réseaux et systèmes électriques intelligents.

A. L'intelligence du système et les produits/ services associés

Le niveau d'intelligence du système et des réseaux comprend **deux facettes**. La première facette, qualifiable de tendancielle correspond à l'intensification du déploiement sur les réseaux de transports et de distribution d'un réseau de télécommunication, de dispositifs et d'équipements autorisant une **hausse du degré de télé-contrôle et d'automatisation de la conduite des réseaux**.

La seconde facette intègre une **gestion avancée de la production** (centralisée et décentralisée) **et de la charge**, se traduisant notamment par le développement de **nouveaux produits et services** par les producteurs et les fournisseurs à destination :

- Du gestionnaire de réseau pour augmenter les degrés de liberté dans le pilotage des réseaux (ex : création de réserves de flexibilité de puissance, hausse des capacités du réseau grâce à une exploitation plus pointue) ;
- Du consommateur final qui pourrait bénéficier d'offres de services et de systèmes de tarification lui permettant d'adopter des comportements ambitieux au regard de la maîtrise de la demande d'électricité et de l'intégration des énergies renouvelables.



Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

B. Le degré et la forme de décentralisation du système et des réseaux électriques :

Le degré et la forme de décentralisation regroupent deux éléments distincts. Le premier élément correspond à la définition « classique » de la décentralisation à savoir : le **nombre de sites de production** d'électricité connectés aux réseaux de transports et / ou de distribution.

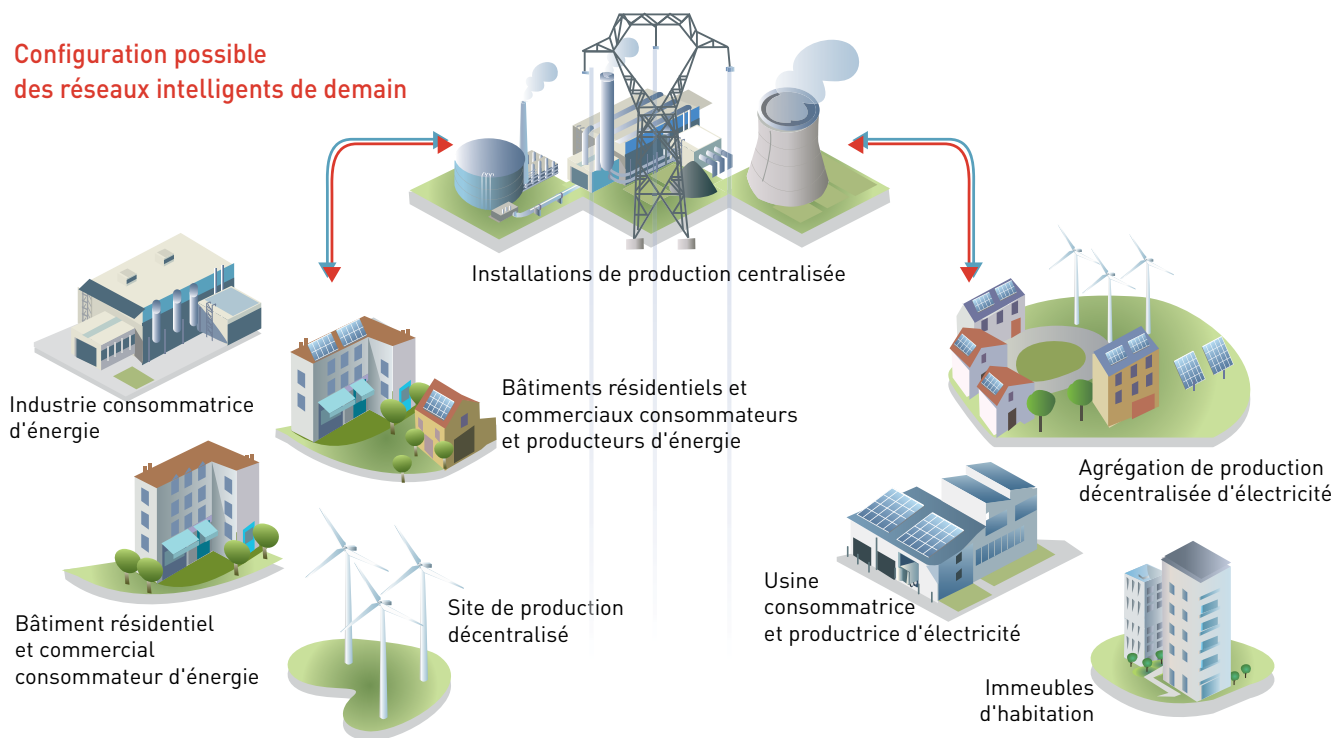
Le second élément touche à la forme et à la nature des interactions qu'entreprendra le réseau de transport

avec le ou les réseaux de distribution. Ce second élément interpelle donc plus directement :

- L'architecture des réseaux de transport et de distribution et leur interaction ;
- Les réglementations qui encadreront l'évolution du système et des réseaux électriques ;
- La nature et la fonction des acteurs qui interviendront dans le système électrique.

Evolution possible de l'architecture et des fonctionnalités pour les réseaux électriques de demain

Configuration possible des réseaux intelligents de demain



C. Les choix de régulation

Le choix de ce paramètre reflète l'incertitude actuelle sur l'évolution du jeu d'acteurs autour des systèmes électriques et sur la manière dont les activités des différents acteurs seront régulées dans le futur. Schématiquement, deux trajectoires très contrastées sont envisageables :

- Une trajectoire de type « **Internet** » dans laquelle une démultiplication du nombre d'acteurs est réalisée notamment fournisseurs, producteurs, agrégateurs, consommateurs finaux qui interviennent sur le réseau en tant que producteur, consommateur ou offreur de services. Dans ce cas de figure, chaque site de production, chaque consommateur, chaque site de transformation et de stockage est considéré

comme un nœud du réseau et peut agir directement ou indirectement (à travers un agrégateur) sur le réseau dans le cadre de protocoles définis par avance. Les relations entre les différents acteurs du système, comme l'allocation des ressources sont gérées par le marché.

- Une trajectoire de type « **régulation éclairée** » dans laquelle le nombre d'acteurs du système reste plus limité et où les fonctions et les interventions des différents acteurs du système sont encadrés par un système de régulation « stricte », mais compatible avec la croissance du degré d'intelligence des réseaux, un certain niveau de décentralisation, le développement d'offre de services réseaux notamment à des fins de MDE et l'émergence de nouveaux opérateurs.

Quartier à énergie positive



Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

Le modèle « Internet »

Le modèle « Internet » postule pour une utilisation efficace, à l'échelle globale, des réseaux de transport et de distribution, mais **distribue la commande du réseau** en chaque point du système.

Dans ce modèle, la circulation rapide de l'information permise par les progrès des TIC et leur déploiement sur les réseaux, autorise chaque acteur (ex : producteurs, agrégateurs, consommateurs) à agir de façon autonome dans le cadre d'un protocole global et partagé.

Ainsi, **chaque point d'approvisionnement, de consommation, de distribution devient un nœud du système**. Les barrières à l'entrée (souvent exprimées sous forme de capacité minimum) dans le système électrique disparaissent. Tout producteur individuel peut devenir un acteur du système électrique.

Ce modèle pose la question des **droits et des devoirs des producteurs / fournisseurs de produits et services énergétiques** qui devront être adaptées entre les « gros » et les « petits » acteurs afin d'éviter des problèmes de distorsion de concurrence causée par le fait que des acteurs économiques ayant les mêmes fonctions ne seraient pas soumis aux mêmes règles d'encadrement de leurs activités de production (ex : assujettissement à la taxe professionnelle, référencement dans la nomenclature des activités économiques).

Dans ce modèle, chaque nœud du futur système électrique sera sensible, en temps réel, au prix de marché. Cette sensibilité au prix de marché vient poser la **question de la dimension sociale** de la fourniture de l'électricité, que les seules règles de marché ne seront pas prendre en compte. Il pose également la question du niveau de risque auquel seront exposés les consommateurs finaux.

Enfin, chaque nœud sera également adaptable, flexible, sensible au contexte environnemental et relié à tout ou partie des autres nœuds. La question de la liaison des différents nœuds entre eux, soulève la question de l'optimum économique du système et du coût d'un tel système pour l'ensemble de la société.

Le modèle régulation éclairée

Le modèle « régulateur éclairé » postule pour un système où les fonctions et les interventions des différents acteurs du système sont encadrés par des **protocoles plus stricts** que dans le modèle « Internet ».

Les protocoles d'intervention des différents acteurs du système sont néanmoins compatibles avec un certain niveau de décentralisation, le développement d'offres de services réseaux notamment à des fins de MDE et l'émergence de nouveaux acteurs (ex : agrégateurs, opérateurs de stockage).

Les **acteurs du modèle « régulation éclairée » restent de taille significative** (maintien des barrières à l'entrée sous forme de minimum de capacité), levant ainsi les difficultés liées à la définition de régulation homogène pour des acteurs très différents.

Les relations entre les différents acteurs du système électrique sont régies par des mécanismes de marché, dont la flexibilité est néanmoins limitée (ex : prix planchers et prix plafonds, mécanisme / contrat de couverture contre les risques de marché).

Les **questions sociales** liées à l'approvisionnement en électricité et les enjeux de long terme seraient **mieux pris en compte** que dans le modèle « Internet ».

L'une des questions essentielles autour de ces 2 options de régulation est la capacité relative de chacune d'entre elles à garantir au mieux les enjeux de long terme (ex : questions sociales, réduction des impacts environnementaux).

> V. Les visions

Les variations relatives des différents paramètres clés (intelligence, décentralisation, régulation) permettent d'aboutir à **4 visions contrastées** des réseaux et du système électrique : **2 visions à l'horizon 2020** et **2 visions à l'horizon 2050** (chacune structurée autour de 2 variantes).

Les **visions 2020** s'articulent autour de 3 évolutions (intelligence, stockage centralisé, stockage décentralisé) qui semblent de nature à mettre le système électrique et ses acteurs en « ordre de bataille » pour atteindre les objectifs européens dits du triple 20% (20% d'EnR, 20% de gains d'efficacité énergétique et 20% de réduction des émissions de GES).

A l'**horizon 2050**, l'inertie des infrastructures conduit à postuler pour un certain prolongement des visions 2020, en intégrant toutefois des évolutions plus significatives dans l'**environnement des réseaux** à savoir :

- La généralisation des **bâtiments à énergie positive** qui pourront rendre chaque ménage producteur d'énergie⁴ ;
- Le basculement massif du parc de véhicules particuliers vers des **véhicules hybrides rechargeables et/ou totalement électriques**, avec des impacts sensiblement différents sur les réseaux en fonction, notamment, de la nature des infrastructures de recharge qui seront déployées (ex : infrastructures de recharge rapide versus infrastructures de recharge lente) ;
- Des évolutions plus radicales des **systèmes de régulation** encadrant le système électrique avec notamment un choix marqué en faveur de l'une des 2 options dites « Internet » ou « régulateur éclairé ».

A. Les critères de qualification des visions :

La construction des visions est un préalable à l'identification des verrous, des priorités de recherche, et dans le cas qui nous intéresse, des besoins de démonstrateurs de recherche.

Pour faciliter le passage des visions aux verrous,

chaque vision sera qualifiée en fonction de 7 critères. Sans être exhaustif, ces critères ont été jugés déterminants, au regard :

- Du **degré de contraste** qu'ils permettent d'introduire entre les différentes visions proposées ;
- De l'**identification des verrous**, des priorités de recherche et des besoins de démonstrateur de recherche ;
- De la **conceptualisation des événements** qui pourraient faciliter ou au contraire freiner l'émergence d'une vision.

Chaque vision développée sera qualifiée en fonction de ces 7 critères auxquels sera associé un **indicateur d'intensité**. Cet indicateur d'intensité donnera une information sur l'évolution (➔) = **tendanciel**, (↗) = **rupture** pour la réalisation de la vision décrite. **Critères de qualification des visions du système et des réseaux électriques intelligents intégrant les EnR.**

4-Ici le terme bâtiment à énergie positive doit être entendu comme un bâtiment, qui sur l'ensemble de l'année, a une consommation d'énergie inférieure à sa production. Néanmoins, les bâtiments à énergie positive peuvent ponctuellement avoir une consommation supérieure à la production et doivent donc recourir au réseau pour maintenir un équilibre offre - demande à l'échelle du bâtiment.

Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables



Famille de critère	Critères de qualification des visions	Indicateur d'intensité faible (→)	Indicateur d'intensité forte (↗)
Critères à caractère technologique	Les technologies de réseaux (ingénierie électrique)	Tendance historique d'évolution avec des progrès constant mais assez progressifs. Par ailleurs, les modes d'exploitation et les architectures évoluent mais restent dans des schémas classiques	Des ruptures technologiques importantes liée à des ruptures technologiques importantes (ex : électrotechnique de puissance ou matériaux) susceptible de remettre à plat les approches classiques.
	Les TIC appliquées au système et aux réseaux électriques	Les performances, le coût, la fiabilité et l'interopérabilité des TIC permettent uniquement une automatisation et un télé-pilotage des réseaux de transports et de distribution. Les TIC ne permettent pas d'envisager, par exemple, des pilotages fins et généralisés de la charge notamment à des fins de gestion de la demande.	Les performances, le coût, la fiabilité et l'interopérabilité des TIC autorisent une diffusion rapide de ces dernières sur les réseaux de transports et de distribution. Cette diffusion permet d'envisager le déploiement de produits et services autorisant des actions de gestion de la demande de grandes envergures (plusieurs MW).
	Les technologies de stockage appliquées aux réseaux	La progression des performances (ex : coûts, durée de vie, sécurité de fonctionnement, fiabilité, énergie massique et volumique) permet uniquement une diffusion confidentielle de ces technologies sur le réseau. Les degrés de liberté supplémentaires pour le pilotage des réseaux sont recherchés à travers d'autres options (ex : gestion de la demande, prédiction de la production des sources intermittentes, interconnexion)	Les technologies de stockage centralisé et décentralisé appliquées aux réseaux atteignent des performances (ex : coûts, durée de vie, fiabilité, sécurité de fonctionnement, énergie massique et volumique) autorisant, du seul point de vue technologique, une diffusion massive.
Critères à caractère institutionnel / « régulateur »	La régulation du système et des réseaux électriques	Les systèmes de régulation restent conservateurs aussi bien dans la répartition des rôles entre les différents acteurs (ex : producteurs, transporteurs, distributeurs, fournisseurs) que dans les incitations envoyées pour par exemple favoriser la décentralisation du système électrique (ex : émergence de nouveaux acteurs).	Les systèmes de régulation créent des incitations facilitant l'entrée de nouveaux acteurs (ex : abaissement des critères de capacités minimum pour entrer sur le marché), la production décentralisée (ex : tarification de l'électricité stockée) et l'émergence de nouveaux acteurs (ex : création d'un cadre incitatif et réglementaire favorable à l'émergence de nouveaux business models tels que des opérateurs de stockage ou des opérateurs d'effacement).
	Le rôle des différents acteurs du système électrique de demain	La répartition des rôles entre les différents acteurs (ex : producteurs, fournisseurs, distributeurs) restent proche de la situation actuelle. L'innovation en matière de produits, services et modèles d'affaire restent limitée, mais ne restreint pas la diffusion de la PDE et de la MDE.	Les acteurs historiques du système électrique diversifient leurs activités au sein du système électrique et au delà (ex : bâtiments à énergie positive, véhicules électriques). De nouveaux acteurs industriels entrent dans le système électrique (ex : opérateurs de téléphonie mobile et d'Internet) et développent de nouveaux produits, services et modèles d'affaire.
Critères à caractère institutionnel / « régulateur »	Le degré de décentralisation du réseau et du système électrique	Le nombre d'acteurs du système électrique est limité. Les acteurs restent de taille significative, du fait notamment du maintien d'un critère de taille comme barrière à l'entrée dans le système électrique. Les agrégateurs peuvent jouer un rôle important pour néanmoins concilier l'émergence de la PDE et du stockage avec l'équilibre économique et la sécurité du système électrique	Le nombre de sites de production et le nombre d'acteurs du système électrique (agrégateur, opérateurs de stockage, gestionnaire de réseaux) se multiplient. La taille des acteurs à tendance à décroître avec toutefois des possibilités d'agrégation de certaines activités
Critères à caractère environnemental	La forme et l'intensité des actions de MDE dynamique et de pénétration de la PDE	Les actions de MDE restent d'ampleur limitée et se déploient uniquement dans les zones où des tensions spécifiques pèsent sur la sécurité des réseaux. Les degrés de liberté supplémentaires pour permettre une forte pénétration de la PDE intermittente sur les réseaux sont trouvés dans d'autres moyens (ex : stockage centralisé et décentralisé, optimisation de la taille et de la localisation des installations de PDE).	L'intelligence des réseaux autorisent la mise en œuvre de programmes de gestion de la demande permettant l'effacement et / ou le décalage de plusieurs centaines de MW de consommation à l'échelle de la France, mais également de certaines zones géographiques (ex : sites industriels, zones urbaines, clusters énergétiques). La gestion de la demande est un élément clé pour atteindre des objectifs ambitieux de pénétration d'EnR intermittentes sur le réseau.

B. Les visions à l'horizon 2020 :

Les visions élaborées à l'horizon 2020, partent du constat que l'atteinte des objectifs européens en matière d'énergies renouvelables, repris dans la loi Grenelle, devrait se traduire par l'installation en France, de 25 000 MW d'énergie éolienne et de 5 400 MW de panneaux solaires photovoltaïques⁵ d'ici à 2020.

Même si on s'achemine vers l'installation de fermes de taille significative (plusieurs dizaines de mégawatt) pour l'énergie éolienne, l'introduction sur le réseau d'une quantité aussi importante de sources de production intermittente appelle à rechercher des degrés de liberté dans le pilotage des réseaux et plus globalement du système électrique.

Jusqu'à une capacité additionnelle d'environ 20 000 MW⁶, quatre voies de progrès semblent être suffisantes pour donner aux réseaux et au système électrique, les degrés de liberté nécessaires :

- **L'amélioration des modèles de prédiction** de la production des fermes éoliennes et des composantes / panneaux photovoltaïque intégrés ou pas aux bâtiments ;
- **L'optimisation de l'insertion de la production décentralisée** sur les réseaux. Cette optimisation se traduit par une harmonisation du développement de la production décentralisée et des infrastructures de réseau ;
- **L'évolution** (ex : architecture, matériels, outils de conduite du réseau, degré d'intelligence) **des réseaux de distribution** afin de permettre une forte pénétration de la production décentralisée, notamment à base de ressources renouvelables ;
- **L'interconnexion des réseaux de transports** européens, notamment à des fins de mutualisation du stockage centralisé, offert par la grande hydraulique.

Au-delà de 20 000 MW, les quatre voies de progrès précédentes ne sont pas technico-économiquement et environnementalement suffisantes, de ce fait des degrés de liberté supplémentaires doivent être mobilisés à travers : le **stockage diffus**, le

stockage adossés aux grandes fermes de production intermittentes, la gestion dynamique de la charge et l'intelligence.

La mobilisation de ces options supplémentaires est indispensable dans une perspective de dépassement des 20% d'EnR intermittentes dans la consommation finale au delà 2020.

Au regard du rythme de pénétration des TIC sur le réseau de transport, mais également de distribution d'électricité, le groupe d'experts a considéré que des visions des réseaux et du système électrique postulant une « faible intelligence » n'étaient pas pertinentes.

Par contre, la nature des services et des produits que l'intelligence permettra d'offrir aux différents acteurs du système électrique (ex : gestionnaires de réseaux, consommateurs finaux, fournisseurs) reste ouverte et doit être placée au centre des visions construites.

1 . Vision 2020 - 1 : La flexibilité de la demande et le stockage adossé à de grandes unités de production intermittente

La forte pénétration, sur le réseau de distribution, des sources de production décentralisées se fait :

- À travers une **optimisation du dimensionnement et de la localisation** des sources de production décentralisée afin de maximiser la disponibilité entre les différentes ressources (ex : solaire, éolien) et au sein d'une même ressource (exploitation asynchrone des différents régimes de vent) ;
- **Sans évolution importante de l'architecture** du réseau qui reste centralisée, du fait notamment du développement des EnR sous forme de fermes (ex : éolien off-shore) ;
- Avec un recours modéré au stockage décentralisé, notamment pour les installations solaires intégrées au bâti ;
- Avec un **recours relativement plus important au stockage de masse** (notamment la grande

5-Source : Rapport du comité opérationnel « plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale » issue du Grenelle de l'Environnement – Septembre 2008.

6-Source : groupe d'experts

Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

hydraulique) pour faciliter le pilotage du grand éolien.

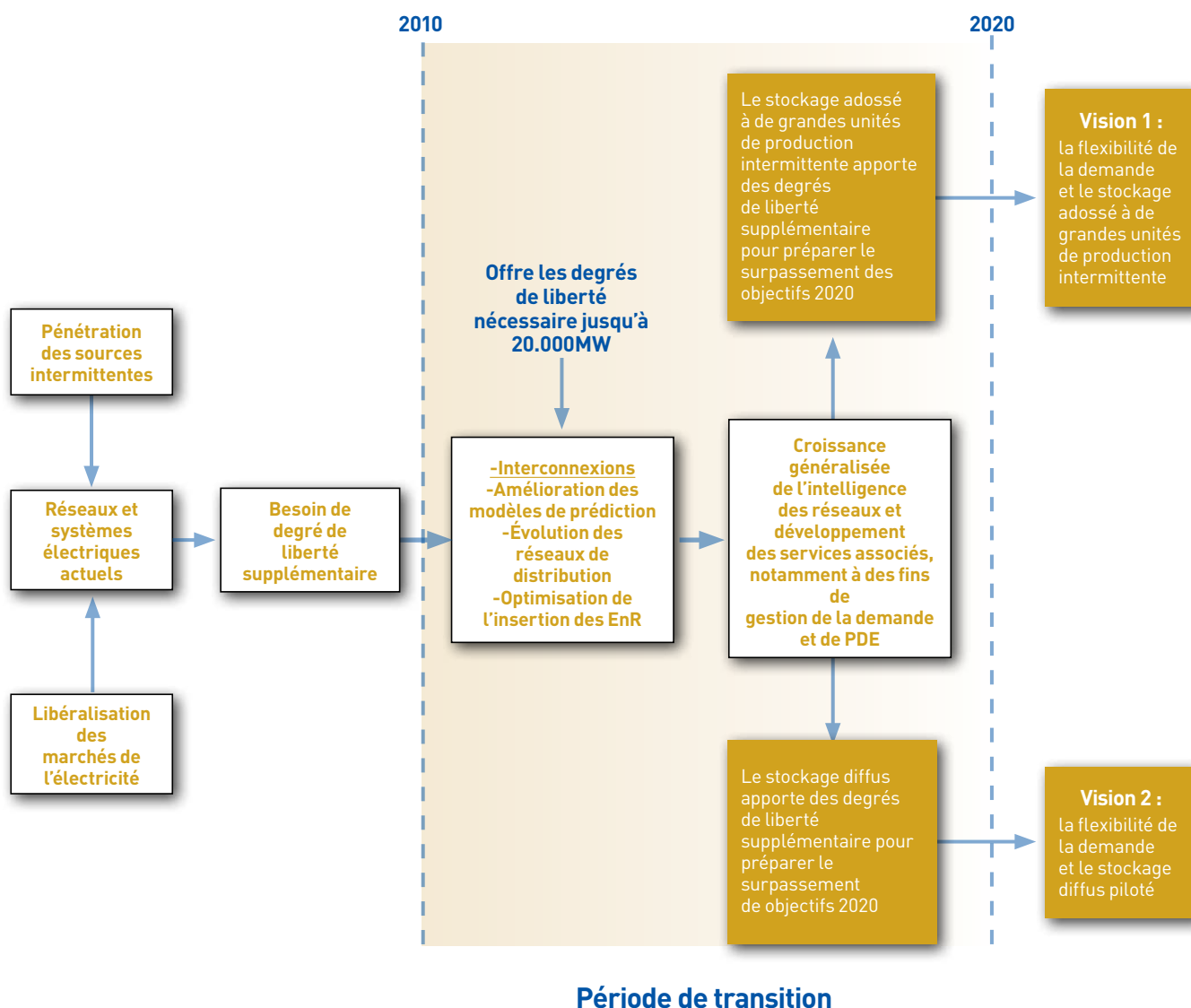
La nécessité du maintien de l'équilibre offre – demande et les objectifs ambitieux en matière d'émissions de GES, impliquent **une capacité de pilotage généralisée des usages de l'électricité**, qu'ils soient spécifiques ou non.

Ce pilotage demande un recours généralisé aux TIC et aux possibilités qu'elles offrent en matière de communication / d'interaction entre les différentes composantes / acteurs du système.

Le déploiement de TIC sur les réseaux centralisés s'accompagne du développement d'offres de services / systèmes de tarification incitant à l'effacement partiel ou total de la consommation de différents segments de consommateur et plus généralement d'offres proposant des objectifs ambitieux de gestion de la demande.

Ces offres / systèmes de tarification sont proposés par les fournisseurs d'énergie et les offreurs de services se positionnant sur la fourniture de services aux systèmes électriques et aux consommateurs finaux.

Schéma d'articulation des visions des réseaux et du système électriques intelligents intégrant les EnR à l'horizon 2020



Récapitulatif des critères de qualification des visions au l'horizon 2020

Famille de critère	Critères	Vision 1 « Intelligence et stockage de masse »	Vision 2 « Intelligence et stockage diffus »
Critères à caractère technologique	Les technologies de réseaux	→	↗
	Les TIC appliquées au système et aux réseaux électriques	↗	↗
	Les technologies de stockage appliquées aux réseaux	→	↗
Critères à caractère institutionnel / régulateur	La régulation du système et des réseaux électriques	→	↗
	Le rôle des différents acteurs du système électrique de demain	→	↗
	Le degré de décentralisation du réseau et du système électrique	→	↗
Critères à caractère environnemental	La forme et l'intensité des actions de MDE dynamique	↗	→

Source : Groupe d'experts

2. Vision 2020 – 2 : La flexibilité de la demande et le stockage diffus piloté

Sous l'impulsion d'évolutions significatives des systèmes de régulation (ex : évolution des systèmes de tarification afin de favoriser le stockage décentralisée de l'électricité, réglementation favorable à l'émergence d'opérateurs de stockage), on observe des **évolutions sensibles de l'architecture** des réseaux, se manifestant par :

- La multiplication des producteurs décentralisés qui ont le choix entre l'injection de tout ou partie de leur production sur le réseau de distribution et la revente de leur production à des agrégateurs⁷ qui offrent des services aux réseaux ;
- Un adossement des installations de **production décentralisée à des systèmes de stockage pilotés**, afin de gérer l'intermittence de la production et d'offrir aux réseaux des services systèmes permettant de réduire les contraintes pesant sur son pilotage.

Dans cette vision, des progrès significatifs sont

réalisés sur les technologies permettant :

- Un stockage décentralisé de l'énergie électrique produite localement et sa possible autoconsommation ;
- Un pilotage fin des systèmes de stockage décentralisés ;
- Les modèles de prévision de la production à partir de ressources renouvelables.

Les schémas de tarification en place, notamment pour le solaire photovoltaïque, évoluent dans le sens des nouveaux tarifs allemands qui considèrent l'électricité stockée et produite à partir de ressources renouvelables comme de l'électricité renouvelable. Cette évolution favorise le développement des

7- L'agrégateur est vu en tant que médiateur entre les consommateurs et le marché, recueillant les flexibilités et les contributions des consommateurs, rassemblant les demandes et les signaux des marchés et des participants, avec différents niveaux d'optimisation afin de répondre à l'exigence de services topologiquement dépendants. Un agrégateur est donc un gestionnaire d'installations, capable de concevoir et d'offrir des services énergétiques à des clients en aval (au niveau micro-économique: gestion d'un grand nombre de contrats) et en amont avec plusieurs acteurs clés (au niveau macro-économique: les gestionnaires de réseau électriques, etc)

Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

systèmes de stockage adossés aux systèmes de production décentralisés.

Du côté des acteurs du système et des réseaux électriques, on voit apparaître des opérateurs de stockage dont le modèle d'affaire est basé sur la valorisation de la production y compris à travers des services systèmes, de la production d'électricité renouvelable stockée.

C. Les visions à l'horizon 2050 :

L'inertie des composantes du système électrique a conduit les experts à considérer que les visions 2050 :

- S'inscrivaient dans le **prolongement des visions 2020**, dans la mesure où compte tenu du délai de déploiement des technologies sur les réseaux et des engagements financiers de long terme lié à ce déploiement, ces derniers ne seraient pas remis en cause en 2050 ;
- Les évolutions majeures par rapport aux visions 2020 porteraient sur d'une part, des options contrastées en matière de **régulation** (ex : orientation dite « Internet » ou « régulation éclairée ») et d'autre part de forts changements dans l'environnement des réseaux (ex : généralisation des bâtiments à énergie positive et des véhicules hybrides rechargeables et / ou électriques)⁸.

Ceci conduit les experts à proposer 2 visions 2050 chacune structurée autour de 2 variantes.

1. Vision 3 - 2050 : La flexibilité de la demande, le stockage et la PDE dans une architecture de réseaux centralisés :

Les tendances observées dans la vision 1 – 2020 « Intelligence et stockage de masse piloté au service de la PDE et de la MDE » se prolongent avec notamment :

- La poursuite des progrès sur les modèles de prévision de la production des sources décentralisées et intermittentes ;

8- Concernant l'évolution de l'environnement des réseaux, il est important de noter que les véhicules électriques et / ou hybrides rechargeables pourront avoir, dès 2020, un impact sur l'équilibre offre – demande. Par contre leur impact sur l'architecture des réseaux de distribution ne devraient réellement significative, qu'après 2020.

- L'optimisation du dimensionnement et de la localisation des sites de production.

Néanmoins, la poursuite de l'effort en matière de pénétration des sources d'origines renouvelables et intermittentes (notamment grâce aux déploiements des bâtiments à énergie positive) et le maintien d'une architecture de réseaux relativement centralisée poussent les différents acteurs du système à rechercher de nouveaux degrés de liberté dans le pilotage et la sécurisation du système électrique.

Ces degrés de liberté sont trouvés dans :

- L'utilisation des dispositifs de communication déployés sur les réseaux pour mettre en œuvre des actions de gestion de la demande et de MDE de grande ampleur (ex : effacement de certains usages à l'échelle d'une région, îlotage, pilotage et agrégation centralisés des moyens de stockage) ;
- Un recours accru au stockage décentralisé soit à travers des systèmes de stockage adossés aux installations de production décentralisée, soit à travers une convergence bâtiments – transports se matérialisant par le couple bâtiments à énergie positive – véhicules hybrides rechargeables.

Cette vision se caractérise par l'émergence, en nombre limité, de nouveaux acteurs (ex : opérateurs de MDE, de gestion de la demande et de stockage) proposant des services aux gestionnaires de réseaux et aux consommateurs finaux.

2. Vision 4 - 2050 : La gestion de la demande et de la PDE au sein de clusters intelligents

Cette famille de visions est celle qui implique le **plus de ruptures** par rapport à la situation actuelle dans la mesure où elles demandent simultanément :

- Une **forte évolution de l'architecture** des réseaux en faveur d'une forte décentralisation. La décentralisation prend la forme d'une apparition de clusters énergétiques reliés, pour des raisons de sécurité d'approvisionnement, à un réseau de transport restant centralisé ;
- Un déploiement important des TIC sur les réseaux de

distribution notamment à des fins **d'action de gestion de la demande à l'échelle des clusters énergétiques**.

L'arbitrage entre actions de MDE et recours aux services proposés par le réseau de transport se fait en fonction de l'optimisation de critères économiques (intégrant un prix du carbone).

Selon l'évolution des systèmes de régulation vers des schémas de type « Internet » ou « régulateur éclairé », la vision « clusters intelligents au service de la MDE et de la PDE, pourra se concrétiser de manière radicalement différentes.

Dans la version « Internet », le système de régulation favorise l'émergence de nombreux clusters et acteurs à l'intérieur des clusters. Les relations entre les

différents acteurs et clusters sont gérées par des mécanismes de marchés imposant un prix / coûts explicites à chaque action entreprise.

L'émergence de cette variante pousse naturellement à s'interroger sur la **capacité des technologies** (ex : vitesse de transmission et de traitement de l'information, fiabilité des TIC pour garantir une fourniture continue de l'électricité) et **des acteurs du système** (ex : consommateurs finaux) à adopter un tel mode de fonctionnement.

Il est également important d'observer qu'au-delà de la question des technologies à développer et à déployer pour rendre possible cette variante, cette dernière implique également de forte évolution de :

Illustration des variantes « Internet » 2050

Les utilisateurs sont en prise directe sur leur consommation. Un automatisme (home box + logiciels d'optimisation et de télémaintenance + tarifs + météo) en provenance des opérateurs ajuste globalement les flux d'énergies, en gérant : les besoins internes de l'habitation, les besoins en mobilité, les flux vers le réseau de distribution selon les critères souhaités par l'utilisateur (optimisation sur le confort, l'économie, ou l'environnement). A tout moment, comme pour le tableau de bord et la conduite d'une voiture, l'utilisateur peut prendre la main pour dévier à sa guise du scénario « par défaut » ou changer les critères d'optimisation. Dans ce cas de figure, 2 modèles économiques sont envisageables.

Modèle économique n°1 : Les usagers sont propriétaires de leur installation, et sont abonnés à un service d'informations et d'assistance minimal (a priori des fournisseurs d'accès à Internet). C'est le cas d'un nouvel éco-quartier où chaque usager achète son logement et son générateur PV, voire du stockage, et souscrit un abonnement Homebox qui gère et permet l'optimisation du tout. Evidemment la réglementation doit évoluer pour privilégier l'auto-consommation par rapport à la vente.

Modèle économique n°2 : Des agrégateurs d'offres (production, effacement, stockage) apportent un service complémentaire et s'engagent sur la qualité, les délais d'intervention, le service après vente, voire le niveau de confort. Ils sont éventuellement eux-mêmes propriétaires de capacités de production, stockage, ou effacement, en décentralisé chez les usagers ou en centralisé. Ce sont généralement des énergéticiens. C'est plutôt le cas de la réhabilitation d'un quartier, où aucun des occupants directs ne veut investir. Le tiers effectue les investissements nécessaires puis se rémunère sur les différents services apportés.

Economiquement, les deux modèles sont évidemment différents, avec pour le cas 2 :

1°) des possibilités de valorisation de l'électricité a priori plus fortes auprès du distributeur, via des services spécifiques au système : engagement d'effacement sur des périodes de 30 minutes à deux-trois heures, participation au réglage de tension et de fréquence, etc.

2°) des services additionnels aux utilisateurs : niveaux de qualité spécifiques, fonctionnement éventuel en micro-réseau autonome en cas de défaillance réseau ?

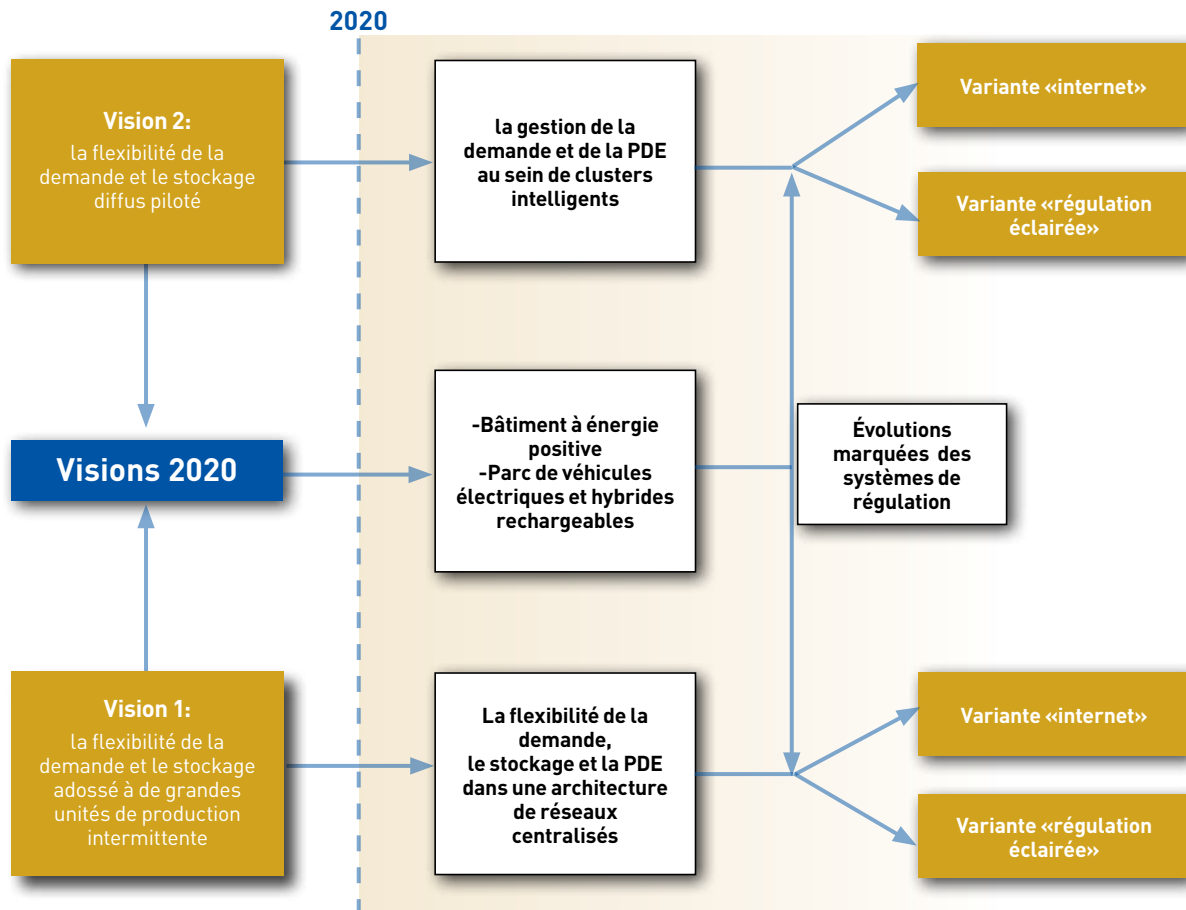
Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

- La **nature du service rendu par les fournisseurs d'électricité** qui n'aurait plus à garantir au client final un prix unique de l'électricité sur l'ensemble du territoire. Ainsi, on pourrait imaginer que les prix de l'électricité au consommateur final soient différents à l'intérieur des différents clusters ;
- Du **bien / produit électricité** qui pourrait, à condition que les consommateurs finaux l'acceptent, ne plus être garanti sur l'ensemble du territoire national. On assisterait alors à l'émergence de contrats

de fourniture proposant par exemple, des tarifs différenciés selon que les consommateurs finaux acceptent ou non des coupures de fourniture.

Dans la version « régulation éclairée », le nombre d'acteurs et de clusters reste plus limité. Les clusters restent de taille significative (ex : région) et sont gérés par un opérateur de cluster unique régulant les relations entre les différents acteurs.

Schéma d'articulation des visions des réseaux et du système électriques intelligents intégrant les EnR à l'horizon 2020



> VI. Les verrous et les besoins de recherche

A. Les verrous :

1. Les verrous à l'horizon 2020 :

Le croisement des critères qualifiant les visions 2020 et 2050 permet d'identifier les verrous technologiques, économiques et organisationnels conditionnant l'émergence des différentes visions. Ainsi, à l'horizon 2020, les verrous semblent s'articuler autour :

- Des **technologies de réseau** (ingénierie électrique) ;
- Des **systèmes d'information** permettant une évolution de la gestion des réseaux et un accroissement de leur intelligence (notamment à des fins de développement de services visant à réduire les émissions de GES et à accroître l'efficacité énergétique) ;
- Des **technologies de stockage** décentralisé adossées aux installations de production ;
- De la sécurité des réseaux et systèmes électriques intelligents ;
- Des **questions de régulation** et plus spécifiquement :
 - > De la conception, de l'expérimentation et de la mise en œuvre des **dispositifs tarifaires** (ex : tarification instantanée, tarification favorisant l'effacement, tarification favorisant l'émergence du stockage décentralisé et des éventuels opérateurs de stockage associé, tarification du réseau de distribution) ;
 - > Des questions de conception d'expérimentation et de déploiement des modèles d'affaire à la base de la mise en œuvre de la transition vers des réseaux intelligents.

2. Les verrous à l'horizon 2050 :

Sur la période 2020 – 2050, il s'ajoute à ces 4 verrous, 3 verrous à caractère socio-économique.

- Le premier touche à l'évolution globale du **système de régulation** qui, à cet horizon, pourrait schématiquement être caractérisé par 2 grandes options :

- > Une **option de type « Internet »** dans laquelle les mécanismes de marché régissent les liens entre les différents acteurs du système, le nombre d'acteurs du système électrique s'accroît fortement et les protocoles d'intervention des différents acteurs sont définis de manière large ;

- > La **seconde option de type « régulation éclairée »** se caractérise par un nombre d'acteurs plus limité, des protocoles d'intervention dans le système plus strict ainsi qu'une plus grande diversité des mécanismes régissant les relations entre les différents acteurs (pas uniquement des relations de marché).

Au-delà, ces 2 grandes options de régulation interpellent la **répartition des rôles entre les différents acteurs du système** (ex : transporteur, distributeurs, fournisseurs, producteurs, consommateurs) ainsi que **l'émergence ou non de nouveaux acteurs** significatifs dans le système électrique (ex : agrégateurs, opérateurs de stockage).

- Le second verrou touche au manque de visibilité sur **l'évolution de l'environnement des réseaux et du système électrique**. On pense ici notamment à l'incertitude relative au rythme de pénétration / déploiement et aux caractéristiques techniques :

- > Des véhicules hybrides rechargeables et / ou électriques ;
- > Des éventuelles infrastructures de recharge ;
- > Des bâtiments neufs et existants à énergie positive.

- Le dernier verrou est en lien avec **l'évolution du comportement des consommateurs** et concernent 2 aspects :

- Leur **comportement d'adoption** des nouveaux produits et services en lien le déploiement des « réseaux intelligents » ;

- **L'interaction entre l'adoption** de ces nouveaux produits et services et **l'évolution de leur comportement** de consommation d'électricité et plus globalement de biens nécessitant un recours à l'énergie électrique.

Synthèse des verrous aux horizons 2020 et 2050

Nature des verrous	Verrous
Verrous à caractère technologique	Les technologies de réseau sous l'angle des matériels et des systèmes électrotechniques
	Les systèmes d'information appliqués au réseau
	Les technologies de stockage centralisé et décentralisé
	La sécurité des réseaux et systèmes électriques intelligents
Verrous à caractère organisationnel / réglementaire	Les systèmes de tarification incitant à la MDE et au stockage décentralisé
	Le rôle des différents acteurs du système et l'émergence de nouveaux acteurs de taille significative
	Les systèmes de régulation encadrant le réseau et les acteurs du système électrique
	La conception de nouveaux modèles d'affaire compatible avec une diffusion significative de la MDE et de la PDE
Verrous à caractère socio-économique	L'environnement des réseaux et du système électrique (ex : véhicules électriques, bâtiments à énergie positive)
	Le comportement des consommateurs finaux (adoption + comportement de consommation)

B. Les priorités de recherche :

En cohérence avec les verrous préalablement identifiés, les thématiques de recherche jugées prioritaires par les experts sont ventilées en 3 catégories : les priorités de recherche à caractère technologique, les priorités de recherche à caractère socio-économique, les priorités de recherche à caractère organisationnel et réglementaire.

1. Les priorités de recherche à caractère technologique :

Les priorités de recherche à caractère technologique se répartissent en 2 catégories :

- **1^{ère} catégorie :** Les priorités technologiques en lien avec les matériels et l'électrotechnique des réseaux énergétiques qui doivent être adaptées pour s'adapter aux évolutions de l'architecture des réseaux et l'insertion des sources de production décentralisée ;
- **2^{ème} catégorie :** Les priorités technologiques en lien avec la gestion du système d'information générées par la croissance de l'intelligence des réseaux et le

développement des produits et services liés à cette intelligence.

2. Les priorités de recherche à caractère socio-économiques :

Les priorités de recherche à caractère socio-économique s'articulent autour de 5 axes :

- Les besoins d'amélioration de la compréhension du comportement d'adoption, par le consommateur final, des produits et services offerts par les « réseaux intelligents » ;
- L'amélioration des connaissances sur les déterminants de la consommation électrique (notamment de sa partie en pointe) ainsi que sur les réactions de court, moyen et long terme des consommateurs finaux à des stimuli tarifaires ;
- Le développement de méthodologies de suivi du comportement des consommateurs sur le moyen – long terme, suite à leur adoption de produits et / services innovants permis par le déploiement des

Les priorités de recherche à caractère technologique

Les priorités de recherche technologique en lien avec les matériels et l'électrotechnique des réseaux et de ses composantes	Conception et développement de systèmes de protection des réseaux de distribution adaptés à une forte pénétration de la production distribuée et intermittente
	Conception et développement de systèmes de stockage décentralisé adaptés aux contraintes de fonctionnement des installations de production distribuée et à l'insertion sur les réseaux de distribution
	Conception et développement de capteurs et d'organes de coupure en réseaux télé-opérables
	Conception et développement de systèmes et d'architecture adaptés au fonctionnement des réseaux îlotés à faible puissance de court circuit
	Conception et développement de modèles et d'outils de suivi du vieillissement des matériels, d'anticipation et de détection, localisation des pannes sur les réseaux
Les priorités de recherche technologique en lien avec les systèmes de gestion de l'information nécessaire à la croissance de l'intelligence des réseaux	Conception et développement d'outils de prévision (court - moyen terme) de la production intermittente et de consommation adaptés aux besoins des différents acteurs en particulier sur les territoires non interconnectés
	Conception et développement d'outils transverses et de normes pour le dialogue et la circulation d'information entre les acteurs du système
	Conception et développement d'outils permettant de gérer les phases d'entrées et de sorties des régimes îlotés
	Conception et développement d'interfaces permettant des transmissions optimisées d'information entre les différents acteurs (ex : consommateur, agrégateur, producteur, fournisseur) / composantes (ex : maisons, départements, postes sources) du système électrique
	Conception et développement d'outils de conduite en temps réel des réseaux de distribution : estimation d'état, automatisation des manœuvres de reprise, du réglage de la tension ...
	Conception et développement d'outils de planification des réseaux en cas de présence massive de PDE.

réseaux intelligents (objectif : prévenir l'effet rebond sur les consommations liées à l'adoption de nouvelles technologies) ;

- Le développement de méthodes d'analyse coûts – bénéfiques liées au déploiement des réseaux intelligents, notamment pour asseoir sur des bases pertinentes, le financement de la transition des réseaux actuels vers des réseaux intelligents ;
- Le développement de travaux de prospective sur l'évolution de l'environnement technologique des réseaux et des systèmes électriques (ex : véhicules électriques ou hybrides rechargeables) afin notamment d'évaluer l'impact des différents scénarios de déploiement de ces options technologiques sur les

réseaux et le système électrique.

La mise en œuvre des axes de recherche à caractère socio-économique devra se faire en accordant une attention particulière au choix des segments de consommateur fait pour suivre les comportements (ex : adoption, effet rebond) ainsi que les perspectives de pénétration des différentes options technologiques qui pourront environner les réseaux (ex : bâtiments à énergie positive, véhicules électriques ou hybrides).

3. Les priorités de recherche à caractère économique et réglementaire

Cette dernière catégorie de priorités de recherche est structurée autour de 3 axes :

Feuille de route sur les réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les énergies renouvelables

- Le développement de **modèles d'affaires** et d'un **environnement réglementaire favorable** à l'émergence de nouvelles activités qui apparaissent nécessaires à la réalisation de certaines visions des « réseaux intelligents » (ex : opérateurs de stockage, agrégateur, opérateurs de MDE, opérateurs de sécurité). Plus globalement, il s'agit de développer un / des cadres de régulations favorable(s) à l'émergence des services systèmes ;
- Conception de **systèmes institutionnels** adaptés à l'évolution du rôle des différents acteurs du réseau (ex : producteurs, agrégateurs, fournisseurs, consommateurs, transporteur, distributeurs), à l'éventuelle multiplication de leur nombre ainsi qu'au possible découplage de leur activité ;
- Le développement d'un **cadre concurrentiel stable** indispensable à la mise en œuvre d'investissements significatifs pour organiser la transition des réseaux actuels vers des « réseaux intelligents ».

> VII. Les besoins de démonstrateurs de recherche

Les visions établies dans le cadre de cette feuille de route permettent d'identifier les **verrous** technologiques, organisationnelles et socio-économiques à dépasser pour engager la transition vers des **réseaux intelligents**.

Elles permettent également d'identifier les fonctions que devra remplir un réseau et un système électrique⁹ qualifié d'intelligent.

L'identification de ces fonctions est à la base des besoins de démonstrateur de recherche sur la thématique « réseaux et systèmes électriques intelligents intégrant les EnR ».

Les réseaux et systèmes électriques intelligents devront remplir 4 fonctions :

- **1^{er} fonction** : Faciliter l'**insertion de la production distribuée**, notamment à partir de ressources renouvelables ;
- **2^{ème} fonction** : Permettre des **actions significatives de gestion de la demande** (à travers notamment de dispositifs intelligents et communicants à l'aval des

compteurs) et de la production intermittente, afin de limiter le recours à des moyens de production émetteurs en CO₂, de garantir l'équilibre offre – demande en cas d'indisponibilité des ressources intermittentes, de limiter la congestion et les investissements dans de nouvelles infrastructures;


- **3^{ème} fonction** : **Anticiper l'évolution de l'environnement des réseaux** à savoir le déploiement des compteurs intelligents, l'émergence des bâtiments à énergie positive, les véhicules électriques et / ou hybrides rechargeables etc. ;
- **4^{ème} fonction** : Expérimenter de **nouveaux modèles d'affaires** favorables à la structuration des acteurs des systèmes électriques intelligents (ex : agrégateur).

Les démonstrateurs de recherche proposés devront démontrer comment les options technologiques, économiques et organisationnelles proposées permettront de remplir **une ou plusieurs fonctions**.

Ils pourront être déployés sur le territoire métropolitain et / ou sur un territoire îlien, avec dans tous les cas la **prise en compte de la transférabilité** des options déployées dans d'autres contextes énergétiques et géographiques similaires. Les projets de démonstrateurs soumis devront autant que faire se peut, inclure une dimension socio-économique ou réglementaire notamment à travers :

- La mise en œuvre de **dispositifs de suivi du comportement des consommateurs** pour notamment analyser l'effet de l'adoption de nouveaux produits et services sur les comportements de consommation / production d'énergie ;
- L'expérimentation de **nouveaux systèmes de tarification** visant à faire évoluer le comportement des consommateurs ;
- Une analyse fine des différents segments de consommation afin d'en comprendre les déterminants, de l'anticiper, d'étudier sa dispatchabilité et éventuellement de la retarder ou de l'effacer.

9- Ici, le terme « système électrique intelligent » inclut le ou les systèmes de régulation associés à ces systèmes.



Les démonstrateurs pourront être **réels** (ex : quartier solaire) ou **semi réels** (mélange de simulation et d'expérimentations réelles).

Les plates-formes de simulation du réseau (national ou régional) couplées à des plates-formes de type micro-réseau comprenant des générateurs EnR intermittentes, des bâtiments et des charges pilotables sont éligibles.

La taille des démonstrateurs devra être suffisamment significative pour que les options technologiques, organisationnelles et économiques proposées puissent constituer de réelles preuves de faisabilité et de pertinence au regard du dégagement de **degrés de liberté supplémentaire pour le pilotage du système électrique**.

Une attention particulière sera accordée aux **bilans environnemental** (notamment réduction des émissions de gaz à effet de serre) et **économique** (à l'échelle du démonstrateur puis du réseau dans son ensemble en cas de généralisation) des démonstrateurs proposés.

2010 : Nouvelles constructions publiques <50 KWh/m²/an

2012 : Généralisation des logements neufs à basse consommation

Kyoto 2008 – 2012
Réduction de 8 % des GES dans les pays de l'UE

Enjeu n°1 : Paquet énergétique de la Commission Europe (3 x 20 %)

Enjeu n°2 : Part des ENR : 23 % de la consommation française

Enjeu n°1 : Division par 4 des émissions françaises de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050

2020 Généralisation des logements neufs à énergie positive

2020 – 2025 facteur 2
Réduction des GES de 25 à 30 %

Enjeu n°3 : Maintien d'un niveau élevé de qualité de fourniture d'électricité et de sécurité du système électrique

Maîtrise de la demande d'énergie

Développement de méthode de planification du réseau intégrant MDE « Statique » et « dynamique »
Développement de méthode de simulation de fonctionnement du réseau avec pilotage de la charge
Développement de produits et services en vue d'une meilleure connaissance de la demande
Développement des services d'efficacité énergétique contribuant au pilotage de la charge
Développement des technologies permettant d'améliorer l'efficacité énergétique du réseau
Développement de business models permettant de valoriser la flexibilité de la demande

Production décentralisée

Amélioration des outils de prédiction de production décentralisée aux différentes échelles territoriales et temporelles
Intégration dans les méthodes de planification et de gestion des réseaux
Développement de modèles économiques pour une meilleure intégration des EnR dans les mécanismes de marchés

Efficacité énergétique du fonctionnement du système électrique

Développement d'outils de gestion coordonnée MDE – PDE – stockage aux différentes échelle du système électrique
Développement de modèles économiques pour valoriser l'apport de stockage

Degré et forme de décentralisation

Vision 1
La flexibilité de la demande et le stockage adossé à de grandes unités de production intermittente

Vision 2
La flexibilité de la demande et le stockage diffus piloté

Pénétration réduite des formes d'intermittence < 20 000 MW

Niveau d'intelligence

Croissance généralisée de l'intelligence des réseaux

Développement des infrastructures de communication pour la conduite organisée des réseaux

Développement des services associés (MDE – PDE)
Interconnexion des réseaux européens
Amélioration de la prédiction
Évolution des réseaux de distribution (PDE)
Optimisation de l'insertion des ENR (gestion de la disponibilité)

Degré de standardisation / d'encadrement des activités

Évolution du rôle du régulateur

Modèles économiques au service du développement des ENR dans la production d'électricité

Libéralisation des marchés de l'énergie

Vision 3
La flexibilité de la demande, le stockage et la PDE dans une architecture de réseaux centralisés

Vision 4
La gestion de la demande et de la PDE au sein de clusters intelligents

Évolution marquée des systèmes de régulation

Variante « régulation éclairée »
Nombre d'acteurs du système plus limité fonctions et interventions encadrées par une régulation « stricte »

Variante « Internet »
Démultiplication du nombre d'acteurs du nombre d'acteurs, protocole d'intervention « large »

Verrous technologiques
Technologies de réseau (matériels / systèmes électrotechniques)
Systèmes d'information appliqués au réseau
Besoins de technologies de stockage économiques et performantes

Verrous organisationnels / réglementaires
Absence de modèles économiques adaptés au développement de la MDE et du stockage

Verrous socio-économiques
Évolution de l'environnement des réseaux et du système électrique (ex. : véhicules électriques, bâtiments à énergie positive)
Acceptabilité par les consommateurs finaux des solutions proposées (adaptations + comportement de consommation)

Verrous organisationnels / réglementaires
Manque de visibilité sur le rôle des acteurs du système
Émergence de nouveaux acteurs de taille significative
Latitudes d'action du régulateur sur le marché

Glossaire

Production décentralisée d'électricité (PDE)

La production décentralisée d'électricité regroupe l'ensemble des moyens de production d'électricité de petite et moyenne taille (typiquement inférieur 10 MW), le plus souvent raccordés au réseau de distribution et utilisés pour produire à proximité des usages. La production décentralisée peut ainsi contribuer au soulagement de certaines contraintes du réseau.

Maîtrise de la demande d'électricité (MDE)

La Maîtrise de la Demande d'Electricité est un ensemble de technologies et de méthodes visant à optimiser les dépenses énergétiques des consommateurs, tout en limitant les coûts d'infrastructures publiques ainsi que les impacts sur l'Environnement. La Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE) peut être classée en deux grandes familles :

- les actions de MDE « statique » ayant une influence de long terme sur les consommations et le dimensionnement de l'infrastructure (y compris l'efficacité du réseau lui-même, par réduction des pertes) ;
- les actions de MDE « dynamique » c'est-à-dire de pilotage en temps réel des charges transitées (effacements volontaires coordonnés = « centrales virtuelles »).

Agrégateur

Un agrégateur est vu en tant que médiateur entre les consommateurs et le marché, recueillant les flexibilités et les contributions des consommateurs, rassemblant les demandes et les signaux des marchés et des participants, avec différents niveaux d'optimisation afin de répondre à l'exigence de services topologiquement dépendants.

Un agrégateur est donc un gestionnaire d'installations, capable de concevoir et d'offrir des services énergétiques à des clients en aval (au niveau micro-économique: gestion d'un grand nombre de contrats) et en amont avec plusieurs acteurs clés (au niveau macro-économique: les gestionnaires de réseau électriques, etc) .

PQR : Power Quality and Reliability

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 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 batterie de 50 kW
Ota City	2002 - 2007	L'objectif de cette démonstration est de voir dans quelle mesure l'adossé de systèmes de stockage à des panneaux photovoltaïque peut permettre de résoudre les problèmes (ex : survoltage, création d'harmonique) 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 photovoltaïque pour 4704Ah de batteries au plomb.
Hachinohe	2005 - 2008	L'objectif du projet est d'évaluer les services de PQR ¹⁰ , 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

10- Power Quality and Reliability

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

Afin de préciser les domaines inclus sous le vocable « smart grids » et de disposer d'un étalon partagé permettant de comparer les programmes et les démonstrateurs de recherche sur des bases communes, il est utile de définir une grille commune d'analyse du contenu des programmes. Cette grille, développée conjointement par EDF R&D et l'EPRI 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'affaire, 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 et faiblement**¹¹ couverts par les différents programmes de recherche sur les « smart grids » (cf. tableau en annexe 2).

11- 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%.

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'affaire, qui ont portant essentiel 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.

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
<p>More-microgrids http://www.microgrids.eu/</p>	2006 – 2009	<p>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-réseau (agrégation de micro-réseau vers la centrale virtuelle). Ce projet inclut des recherches visant à développer des stratégies alternatives de commande de micro-générateur, 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.</p>	
<p>FENIX http://www.fenix-project.org/</p>	2004 - 2009	<p>L'objectif du projet est d'encourager l'intégration de la production décentralisée en maximisant leur contribution dans le réseau 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</p>	<p>La validation des résultats se fait à l'aide de 2 plateformes de test. L'une axée sur l'agrégation d'unité de cogénération, l'autre sur l'agrégation de plusieurs grandes unités de production décentralisée (renouvelable ou non)</p>
<p>EU-DEEP http://www.eudeep.com/</p>	2005 – 2009	<p>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 réseau 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.</p>	<p>5 campagnes expérimentales d'une année faisant intervenir au total 26 utilisateurs finaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 les déséquilibres 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 projet énergie du 7^{ème} PCRD

Plus récemment, les appels à projet énergie du 7^{ème} PCRD ont également favorisés 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 et REALISED :

- **OPEN METER** piloté par Iberdrola et qui 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 et qui vise à concevoir des réseaux de distribution actif intégrant de la production décentralisée et de la gestion de la demande (<http://www.addressfp7.org/>) ;
- **REALISEGRID** piloté par Cesi Ricerca SPA qui vise à conduire des recherches et à développer des méthodologies et des technologies permettant de rendre effectif la création d'un marché européen de l'électricité, à travers la création d'interconnexion (<http://realisegrid.cesiricerca.it/default.asp>) .

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 passages de contrat 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 : plates-formes 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 réseau 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 réseau 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>)



CONTACTS

Gaëlle Rebec
Ingénieur Réseaux
Electriques Intelligents

François Moisan
Directeur Exécutif de
la stratégie et de la
recherche

Michel Gioria
Feuilles de route
technologiques



BIBLIOGRAPHIE

ADEME – Technofi : Initiative de montage d'un programme de recherche sur les réseaux intelligents et le stockage – Février 2008.


AREVA : Contribution au groupe de travail sur les infrastructures de charge pour les véhicules électriques et hybrides rechargeables – Avril 2009.

Commission Européenne : Vision report et agenda stratégique de recherche de la plateforme technologique « smart grids ».

EPRI – EDF R&D : 2008 update of the profiling and mapping of intelligent grid R&D programs. Technical Report, June 2008.

Guerra Yves, Mayer D, Adra N : Etats de l'art des projets de recherche internationaux sur la thématique de PREMIO – Juillet 2008.

3^{ème} conférence annuelle sur l'intégration des énergies renouvelables et de la production distribuée – Décembre 2008
http://www.conference-on-integration.com/words_of_welcome.php



L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

www.ademe.fr

