



Mars
2020

SYSTÈMES ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS

LE SOUTIEN DE L'ADEME À L'INNOVATION
DEPUIS 2010

Résultats, enjeux, perspectives

Rapport



Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01
Numéro de contrat : 19MAR000633

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Yélé Consulting

Coordination technique - ADEME : Patricia SIDAT et Marion BERTHOLON
Direction/Service : Service Réseaux et Énergies Renouvelables



David Marchal

Directeur Exécutif Adjoint de l'Expertise et des Programmes

Le secteur de l'énergie est en pleine mutation : développement des énergies renouvelables, décentralisation de la production d'énergie et émergence de nouveaux usages. Ces facteurs d'évolution impliquent de repenser la gestion des réseaux électriques de transport et de distribution, et plus largement le système électrique dans son ensemble.

Les travaux de prospective de l'ADEME confirment ces orientations de long terme en mettant en avant, en parallèle du développement des renouvelables, le fort potentiel de transformation du système électrique pour accompagner la décarbonation de nouveaux usages (mobilité électrique) ou, à moyen long terme, d'autres vecteurs énergétiques grâce au gaz de synthèse.

Pour accompagner la transition vers cette vision de long terme et afin que les différents utilisateurs du système électrique puissent bénéficier d'infrastructures et de services performants et à coûts maîtrisés, des besoins accrus en flexibilité et en réactivité des réseaux émergent. Par ailleurs, il est nécessaire de faciliter l'accompagnement des consommateurs dans des logiques d'efficacité énergétique pour « consommer moins », et des logiques de déplacement de consommation pour « consommer mieux » ; et, dans la limite des gisements disponibles, consommer plus localement.

Les « Systèmes Électriques Intelligents » cherchent à répondre à ces grands enjeux, c'est pourquoi depuis 2010, l'ADEME soutient l'innovation dans ce domaine. L'ADEME a soutenu plus d'une cinquantaine de projets « Smart Grids » à travers le Programme d'investissements d'avenir (PIA) qu'elle opère, ainsi que des dispositifs dédiés à la recherche et à l'innovation.

Ces projets ont permis de créer des ponts entre le secteur de l'énergie et celui du numérique, et ont fait émerger de nouvelles collaborations entre grands groupes industriels, fournisseurs de technologies, acteurs des territoires, organismes de R&D et sociologues. Ces projets ont validé techniquement des solutions de maîtrise de la demande d'énergie, de flexibilité du système électrique (production, réseau, consommation, stockage), d'observabilité et de contrôle des réseaux. De plus, ces projets ont permis d'amorcer les réflexions sur l'évolution du cadre réglementaire et sur les modèles d'affaires les plus prometteurs, pour faciliter le déploiement de ces solutions.

L'objectif de ce rapport est de poursuivre l'exercice de capitalisation réalisé en 2016 : « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs ». Il présente le retour d'expérience technique de 10 ans de soutien à l'innovation sur ces sujets et formule les grands enjeux restant à traiter pour maintenir et développer une filière dynamique, compétitive et créatrice d'emplois en France et exportatrice dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents.

Sommaire

Editorial	3
Synthèse	6
Méthodologie	34
Contexte	37
Partie I : Quelle évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des énergies renouvelables ?	
Les enjeux de l'évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des EnR	56
Les principaux enseignements et les questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016	56
Les résultats du retour d'expérience de 2020	58
1.1. Comment améliorer les prévisions de production EnR ? Comment permettre aux centrales EnR d'offrir des services de flexibilité au système électrique ?	58
1.1.1. Améliorer les prévisions de production	58
1.1.2. Offrir des services de flexibilité au système électrique	59
1.2. Quelles nouvelles technologies déployer pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau ? Comment s'assurer de la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques ? Comment mieux modéliser et simuler les réseaux ?	65
1.2.1. Déployer de nouvelles technologies pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau	65
1.2.2. Assurer la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques	70
1.2.3. Modéliser et simuler les réseaux	71
1.3. Comment dimensionner le stockage distribué et le piloter au sein de systèmes énergétiques locaux ?	72
1.3.1. Dimensionner et piloter le stockage distribué sur des sites connectés au réseau principal	73
1.3.2. Dimensionner et piloter le stockage distribué sur des sites isolés	77
Les conclusions en fin de projets	79
Les principaux défis structurants restant à traiter	81

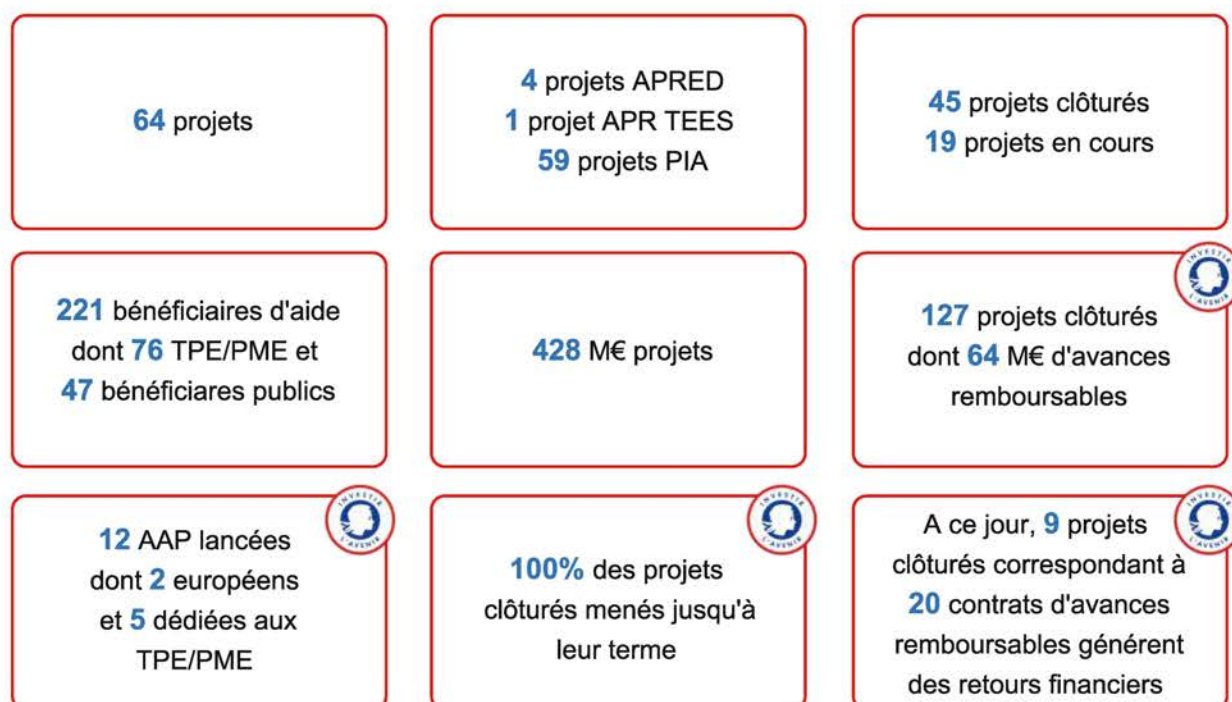
Partie II : Comment adapter les modes de consommation ?

Les enjeux de l'adaptation des modes de consommation	86
Les principaux enseignements et les questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016	88
Les résultats du retour d'expérience de 2020	89
2.1. Comment faire participer un nombre accru de consommateurs industriels et tertiaires aux objectifs d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande pour leur bénéfice propre et celui du système ?	89
2.1.1. Développer des solutions d'efficacité énergétique	90
2.1.2. Développer des solutions de pilotage de la demande	91
2.1.3. Développer des solutions combinées d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande	96
2.2. Comment faire participer un nombre accru de consommateurs résidentiels aux objectifs d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande, et développer chez eux une « culture énergie » ?	100
2.2.1. Développer des solutions d'efficacité énergétique	100
2.2.2. Développer des solutions combinées d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande	105
2.3. Comment faciliter la recharge des véhicules électriques et exploiter la flexibilité de leur recharge pour une gestion optimisée du système électrique ?	110
Les conclusions en fin de projets	117
Les principaux défis structurants restant à traiter	120

Partie III : Vers de nouvelles dynamiques territoriales ?

Introduction aux concepts	126
L'autoconsommation collective	127
Les micro-réseaux	130
Les interactions multi-vecteurs et systèmes multi-énergies	132
Données et plateformes de données territoriales	134
Focus thématique : Cybersécurité	139
Focus thématique : Interopérabilité	146
Conclusion	150
Présentation des projets accompagnés depuis 2010	152
Documentation publique sur certains projets	165
Liste des acronymes	168
Sources citées	171

Les chiffres-clés



APRED : Appel à Projets de Recherche « Énergie Durable »

APR TEES : Appel à Projets de Recherche « Transitions écologiques, économiques et sociales »

PIA : Programme d'investissements d'avenir

TPE/PME : Très Petites Entreprises/ Petites et Moyennes Entreprises

AAP : Appel à Projets

M€ : Millions d'euros

Note : les 2 prises de participation expertisées par l'ADEME pour le Fonds EcoTechnologies opéré par Bpifrance et relevant des SEI ne sont pas indiquées ci-dessus.

Le soutien de l'ADEME à l'innovation depuis 2010 a apporté des bénéfices significatifs pour les entreprises du domaine des Systèmes Électriques Intelligents, d'un point de vue technique, organisationnel, et économique : expérimentation de solutions et méthodologies innovantes, préparation à l'industrialisation, collaborations inédites, aide à la généralisation de solutions. Par ailleurs, ces projets et leurs résultats ont permis d'enclencher et d'apporter des hypothèses et retours d'expérience tangibles pour alimenter les groupes de travail (préexistants ou créés depuis) de la filière.

La filière française des Systèmes Électriques Intelligents est une filière très dynamique, qui allie des grands énergéticiens, des équipementiers français parmi les leaders internationaux, de nombreuses petites et moyennes entreprises, des organismes de recherche reconnus et des nouveaux arrivants provenant du monde des télécoms. Tous les acteurs de la chaîne de valeur des Systèmes Électriques Intelligents sont présents dans les projets et le secteur présente de nombreuses opportunités industrielles et donc de création d'emplois.

Pourquoi les Systèmes Électriques Intelligents ?

La Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) fixe des objectifs ambitieux pour la France en termes de développement des énergies renouvelables (EnR) et de maîtrise de la demande en énergie (MDE). Pour ce faire, elle a créé les programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), outils de pilotage de la politique énergétique, qui fixent une trajectoire pour le mix énergétique, ainsi que les priorités d'action pour la gestion de l'ensemble des formes d'énergie sur le territoire métropolitain continental, afin d'atteindre les objectifs nationaux fixés par la loi. La PPE en cours poursuit l'objectif de doubler la capacité installée des EnR électriques en 2028 par rapport à 2017.

Cette dynamique préfigure l'évolution de notre système électrique français mais également des systèmes énergétiques dans le monde qui vont, dans les prochaines années, voir augmenter massivement leur part en énergies d'origine renouvelable. Pour les systèmes électriques, ces évolutions seront majeures, alliant, d'une part, décentralisation, nouveaux besoins (de flexibilité, de prévision de production et de consommation, ou d'observabilité des réseaux), et d'autre part, implication de nouveaux acteurs, dont les consommateurs, dans la gestion du système électrique.

Issus de la **convergence des technologies des systèmes électriques et des technologies de l'information et de la communication**, les Systèmes Électriques Intelligents - ou « Smart Grids¹ » - jouent un rôle-clé dans la réponse aux enjeux de la transition énergétique et écologique, tout au long de la chaîne de valeur du secteur de l'électricité : production, transport, distribution, consommation et commercialisation.

Les Smart Grids représentent une opportunité pour :

- **Accompagner le développement des EnR à moindre coût.**
- Proposer de nouveaux outils de flexibilité de la production variable et de la consommation afin de limiter le recours à des moyens de production émetteurs de CO₂, de garantir l'équilibre offre/demande en cas d'indisponibilité des ressources variables, et de limiter d'une part les congestions et d'autre part les investissements dans de nouvelles infrastructures de

réseau.

- **Favoriser la maîtrise de la demande en énergie** à travers le traitement et la diffusion des données de consommation.
- **Accompagner le déploiement des véhicules électriques** et leur intégration à moindre impact dans le système électrique.
- **Fédérer les dynamiques territoriales** en y intégrant pleinement les citoyens.

Quelle place pour les Smart Grids en France ?

La France participe à ce mouvement de développement et de déploiement des Smart Grids. La filière française des Smart Grids se caractérise par :

- **Un savoir-faire solide et diversifié**, couvrant un écosystème d'innovation pointu et l'ensemble des briques techniques et commerciales des Smart Grids.
- **Des créations d'emplois** sur le territoire, notamment grâce au déploiement des compteurs Linky qui représente entre 5000 et 10 000 emplois nouveaux chaque année en France².
- **Des opportunités à l'export** pour les grands groupes et PME français, fournisseurs de solutions Smart Grid, avec l'accompagnement de Think Smartgrids et Business France, qui seront renforcées grâce à la création d'un socle numérique standardisé dans le cadre du Comité Stratégique de Filière (CSF) « Industries des nouveaux systèmes énergétiques ».
- **Des bénéfices pour le système électrique**, notamment en créant de nouvelles solutions de flexibilité (potentiel de 6,5-9 GW à l'horizon 2030³), permettant de gérer la pointe de consommation au niveau national en limitant les investissements réseau et en réduisant les émissions de CO₂.
- **L'intérêt et l'engagement progressif des collectivités territoriales**, qui peuvent bénéficier des Smart Grids en termes d'optimisation des infrastructures et des ressources énergétiques locales, de développement du tissu socio-économique, de valorisation des données publiques et de cohésion territoriale.

¹Dans ce rapport, par défaut, « Smart Grid » utilisé seul se réfère au système électrique.

²ADEME, Marché et emplois concourant à la transition énergétique et écologique dans le secteur des énergies renouvelables et de récupération, 2019.

³Le chiffre de 6,5 GW est l'objectif d'effacement inscrit dans la PPE pour 2028 ; le chiffre de 9 GW est le résultat issu du rapport « Valorisation socio-économique des réseaux électriques intelligents » RTE, 2017. Solutions de flexibilités mises en concurrence avec pour mix de référence le scénario Nouveau Mix du Bilan Prévisionnel 2015 (mix assez différent du projet PPE présenté début 2020).



Quel rôle de l'ADEME dans le soutien au développement des Smart Grids ?

Par sa mission de promotion du développement des énergies renouvelables et d'actions autour de la MDE, l'ADEME a soutenu le développement de solutions Smart Grids innovantes dès 2010.

Le soutien à l'innovation est nécessaire dans le domaine des Smart Grids afin de :

- Concevoir les méthodologies en rupture, les solutions techniques et les modèles d'affaires de demain.
- Identifier les poches de valeur les plus prometteuses et l'appétence des consommateurs.
- Structurer la filière.

L'ADEME soutient l'innovation dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents depuis 2010 au moyen de plusieurs leviers, notamment :

- **L'AAC Thèses** (Appel à Candidature Thèses), soutenu par l'ADEME, vise à renforcer les capacités de recherche au plan national. Les projets de thèse associent un candidat, un laboratoire d'accueil et un partenaire cofinanceur, public ou privé.
- **L'APR ED** (Appel à Projets de Recherche « Énergie Durable »), soutenu par l'ADEME, a été ouvert en 2014, 2015, 2017 et 2018. Il s'adresse à des consortiums d'acteurs publics et privés souhaitant effectuer des travaux de recherche de nature technologique ou méthodologique relevant du domaine de l'énergie durable. Pour ces quatre éditions étaient attendus des projets relevant, entre autres, du domaine des « systèmes énergétiques ». Les recherches éligibles de nature technologique sont les projets de TRL¹ compris entre 4 et 7. En complément de la dimension technique des solutions envisagées, les projets en lien avec les sciences humaines et sociales étaient encouragés.
- **L'APR TEES** (Appel à Projets de Recherche «

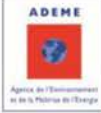
Transitions Ecologiques, Economiques et Sociales » se veut transversal aux cinq programmes de recherche de l'ADEME² mais vise à apporter une contribution significative au programme « Energie, Environnement et Société », mettant l'accent sur l'apport des sciences humaines et sociales. La première édition de cet APR, en 2017, concernait l'évolution des comportements individuels et des pratiques des consommateurs et des citoyens. La seconde édition en 2018 a porté sur les problématiques liées à la mise en œuvre de la TEE et à l'adaptation au changement climatique, avec comme focale les acteurs économiques, les entreprises, les institutions publiques, les associations ou collectifs citoyens.

- **Le Concours d'innovation « i-Nov »**, soutenu par le Programme d'investissements d'avenir et opéré par l'ADEME, a pris la suite du dispositif « Initiative PME » à partir de 2017. Le Concours a pour objectif le financement de projets ayant un coût total compris entre 600 k€ et 5 millions d'euros et portés par une PME. Il vise le développement de solutions innovantes proches de la mise sur le marché. Trois vagues du Concours d'innovation (« vague 1 » et « vague 3 » respectivement clôturées en Mai 2018 et Mai 2019 et « vague 5 » en cours) ont visé des projets en lien, entre autres, avec les Systèmes Électriques Intelligents (SEI). De nombreux projets lauréats SEI ont travaillé sur la valorisation des données de type énergétiques.
- **L'AAP** (Appel à Projet), soutenu par le Programme d'investissements d'avenir et opéré par l'ADEME, a été proposé par vagues successives depuis 2010. Le dispositif AAP vise le financement d'innovations pour une mise sur le marché à court terme. Les projets financés doivent permettre de maintenir ou de créer de l'emploi en France, et plus largement de participer au renforcement des avantages compétitifs et stratégiques de la France.

¹Les TRL (Technology Readiness Level) indiquent le niveau de maturité atteint par une technologie.

²L'activité de soutien à la Recherche Développement Innovation (RDI) de l'ADEME s'inscrit dans les objectifs des politiques publiques en faveur de la transition énergétique et écologique et de la lutte contre le changement climatique. Cinq programmes de recherche principaux ont été définis : Villes et territoires durables, production durable et énergies renouvelables ; agriculture, sol, forêt et biomasse ; qualité de l'air, impacts sur la santé et l'environnement ; énergie, environnement et société.

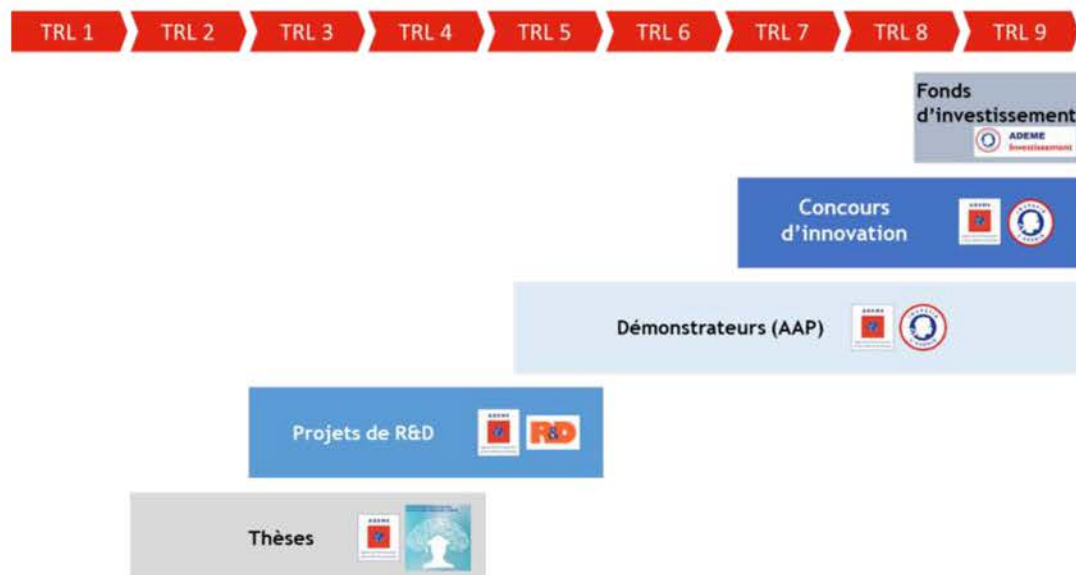
Accompagnement proposé par les différents dispositifs d'aide

Dispositifs d'aide		Types d'aide		
		Accompagnement & valorisation ¹	Subventions	Avances remboursables
	AAC Thèses	✓	✓	
	APR (ED et TEES)	✓	✓	
 	Concours d'innovation	✓	✓	✓
	AAP	✓	✓	✓

1. Mise en réseau, mise en visibilité, aide au montage de projets

Ces différents leviers ont permis de soutenir 64 projets¹ et 2 prises de participation en lien avec les Systèmes Électriques Intelligents depuis 2010, sur l'ensemble du territoire français, majoritairement via le Programme d'investissements d'avenir. Ces leviers couvrent des degrés de maturité de l'innovation allant du TRL 2 au TRL 9, comme illustré sur le schéma suivant. Il est à

noter que ADEME Investissement a été créée en décembre 2018 dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir. Société détenue à 100% par l'État, et distincte de l'ADEME, elle vise à financer en fonds propres des projets d'infrastructures innovantes dans le domaine de la transition énergétique et écologique aux côtés d'acteurs privés.



Note : TRL = *Technology Readiness Level* - niveau de maturité technologique ; système international de mesure utilisant une échelle de 1 à 9 employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie. A titre d'exemple : un TRL 1 représente le début de la recherche scientifique sur un concept qui est imaginé, un TRL 6 la réalisation d'un démonstrateur pour tests en laboratoire, TRL 9 la technologie a fait l'objet de toutes les validations et est prête pour production/commercialisation.

¹Hors thèses.

Au-delà du soutien à l'innovation, et forte des relations partenariales mises en place, l'ADEME remplit également dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents sa mission de conseil aux politiques publiques (afin de faire émerger de nouvelles normes et réglementations) et d'animation de la filière. Ainsi, l'ADEME apporte son expertise et ses conseils aux

Ministères, acteurs locaux, entreprises et grand public, et publie régulièrement des études et des avis sur les thématiques majeures de transition écologique et énergétique dans leurs dimensions techniques, économiques et organisationnelles, y compris dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents, par exemple :



Zoom

La généralisation des systèmes électriques fortement décarbonés : Une place pour le développement des solutions Smart Grids



« Un mix 100% renouvelable ? », ADEME, 2016

Dans cette étude, l'ADEME a réalisé un travail d'exploration des limites du développement des EnR dans le mix électrique métropolitain et de ses potentielles retombées macro-économiques à horizon 2050.



« Trajectoires d'évolution du mix électrique 2020-2060 », ADEME, 2018

Dans cette étude, l'ADEME analyse les résultats d'une optimisation économique du développement, entre 2020 et 2060, des différentes filières de production électrique intégrées dans le système électrique français, interconnecté avec ses voisins européens.

L'étude explore notamment la place des différentes filières dans le mix, le coût complet de l'électricité, le potentiel de Power-to-X et d'exports d'électricité, le modèle de marché et la stabilité du réseau.



« Vers l'autonomie énergétique des ZNI », ADEME, 2019

L'analyse et la comparaison de 5 scénarios construits dans une logique d'optimisation économique sur les territoires de la Réunion, de la Guadeloupe et de la Martinique montrent notamment que :

- Un mix électrique 100% EnR est possible, mais l'échéance de 2030 est difficilement réalisable.
- Une proportion très significative des potentiels EnR devrait être exploitée en cas de conversion en tout électrique des véhicules routiers.
- Le rôle des centrales diesel est fortement réduit dès que l'on développe significativement les EnR.
- La part des énergies variables dans le mix est comprise, à horizon 2030, entre 35% et 73%.
- L'augmentation du taux d'EnR dans les mix énergétiques s'accompagne d'une baisse des coûts de l'énergie produite.

Ces études majeures de l'ADEME rappellent :

- En France métropolitaine, l'importance des réseaux de répartition pour obtenir un foisonnement important des diverses ressources renouvelables.
- Elles rappellent aussi qu'un mix à fort taux de pénétration de renouvelables nécessite de développer des solutions de flexibilité (pilotage de la demande essentiellement). Des hypothèses sur un pilotage de la charge du Véhicule Électrique ont également été prises.
- Le besoin d'étudier des questions relatives aux problématiques réseaux (congestions locales), d'une part, et à la gestion de l'équilibre offre-demande à un pas de temps inférieur à l'heure, d'autre part.

Dans le présent rapport, des premières réponses validées techniquement répondent à ces problématiques.



Pourquoi publier ce rapport ?

Les projets accompagnés par l'ADEME adressent plusieurs thématiques dans le domaine des Smart Grids et permettent de tirer plusieurs enseignements d'un point de vue technique, économique, sociétal, environnemental et réglementaire.

Les premiers retours des 12 projets les plus avancés fin 2015 ont fait l'objet d'une synthèse présentée dans le rapport « [Systèmes Électriques Intelligents : Premiers résultats des démonstrateurs](#) ». Ce premier exercice de capitalisation abordait quatre thématiques fondamentales :

- Favoriser des actions de maîtrise et de gestion de l'énergie
- Faciliter l'insertion de la production renouvelable décentralisée
- Anticiper l'évolution des réseaux existants
- Préfigurer les modèles d'affaires

L'analyse de ces premiers résultats, offrant un panorama de l'état de l'art de l'innovation au sein de la filière française des Smart Grids, a permis d'enclencher une dynamique de partage de résultats au sein de cette filière, d'envisager de nouvelles avancées et un déploiement plus large de certaines solutions, et d'alimenter la réflexion sur l'évolution du cadre réglementaire et régulateur.



Le présent rapport poursuit l'exercice de capitalisation amorcé dans le rapport publié en 2016. Il vise à présenter aux acteurs de la filière des résultats publics nouveaux, principalement issus des projets clôturés depuis la publication du dernier rapport. En particulier, ce second travail de capitalisation a permis d'identifier :

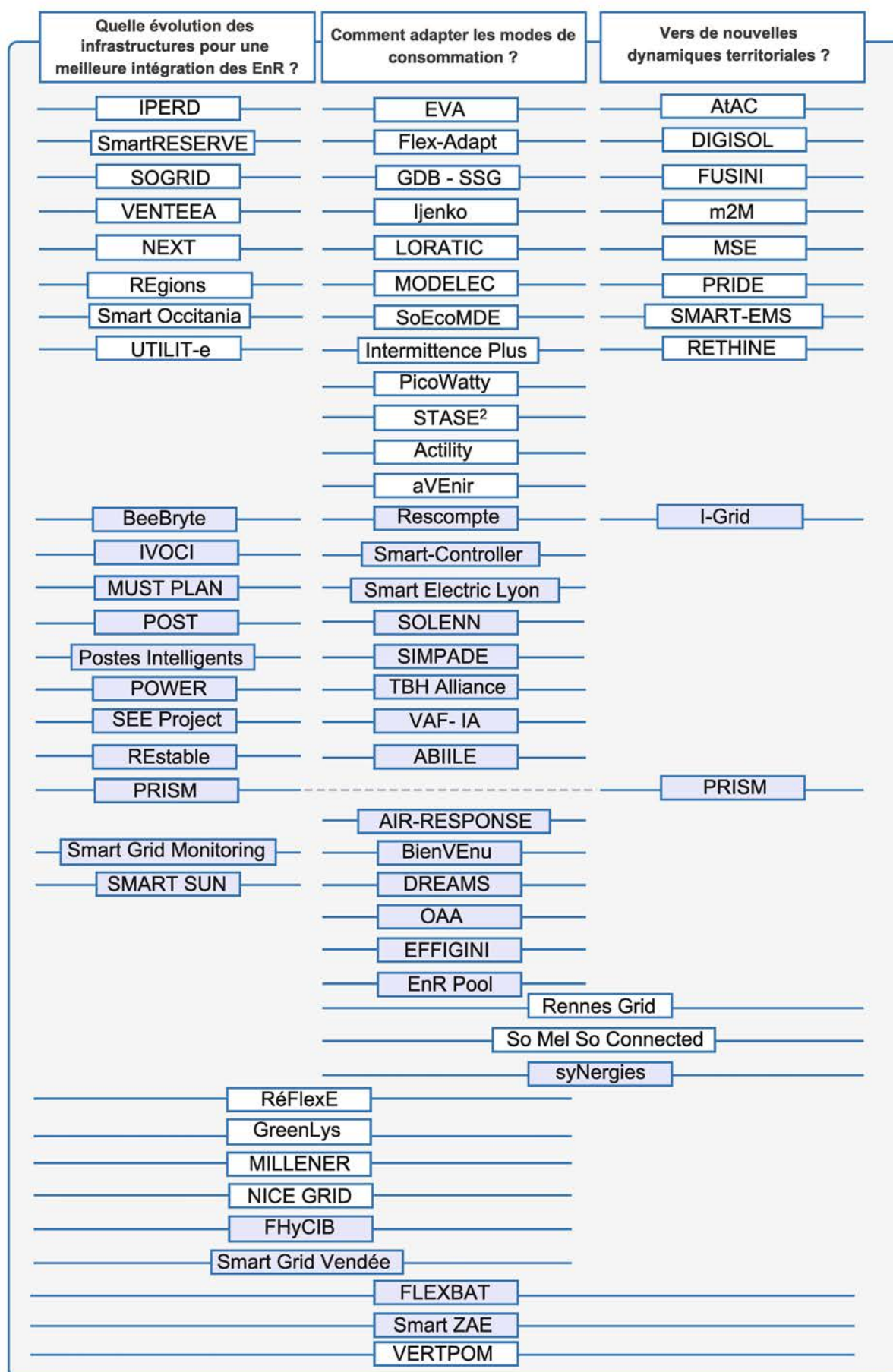
- **Les solutions testées** dans les projets et qui ont, le cas échéant, fait l'objet de programmes d'industrialisation ou de commercialisation sur le territoire français et au-delà.
- **Les résultats, méthodes, réflexions**, ou tout autre apport au développement des Systèmes Électriques Intelligents.
- **Les défis structurants**, d'ordre technique, économique et réglementaire, restant à adresser pour le déploiement des Systèmes Électriques Intelligents en France.
- **Les nouveaux modèles** pouvant être porteurs de valeur dans un contexte d'ancrage territorial des politiques énergétiques, en élargissant la vision au-delà du secteur de l'électricité.

Le rapport est structuré en trois grandes parties :

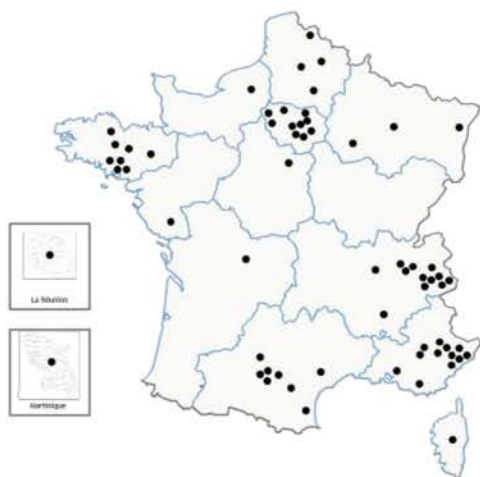
- Partie 1 : Quelle évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des énergies renouvelables ?
- Partie 2 : Comment adapter les modes de consommation ?
- Partie 3 : Vers de nouvelles dynamiques territoriales ?

Depuis 2010, l'ADEME a accompagné 64 projets expertisés et 2 prises de participation dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents. Le schéma suivant montre la répartition de ceux-ci selon les trois questions posées.

Projets accompagnés par l'ADEME depuis 2010 dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents



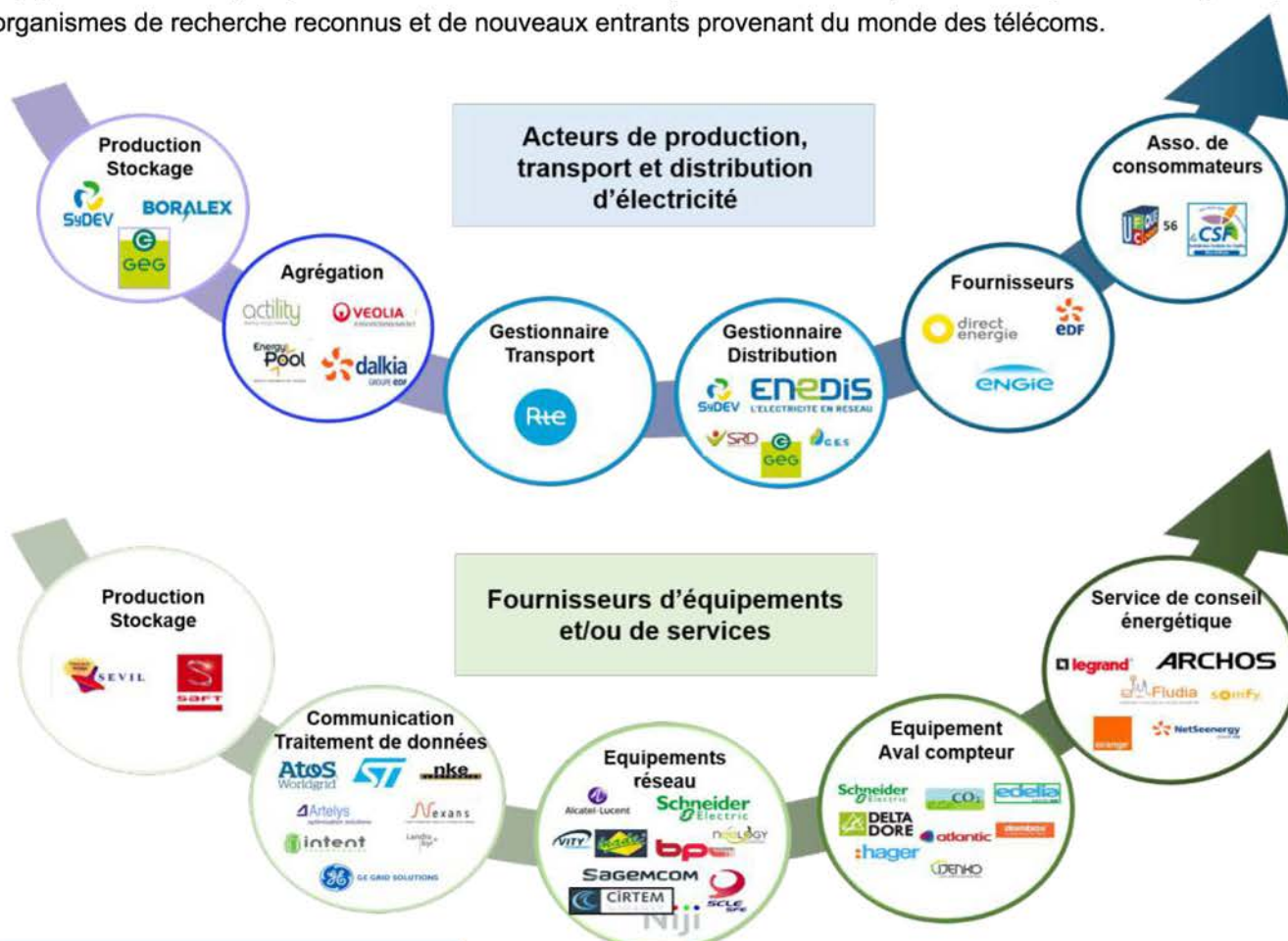
Note : Ce schéma montre les 59 projets soutenus par le Programme d'investissements d'avenir opéré par l'ADEME, les 5 projets soutenus par l'ADEME et les 2 prises de participation (dans Ijenko et Actility) expertisées par l'ADEME pour le Fonds Ecotechnologies opéré par Bpifrance. Les projets sur fond bleu sont détaillés dans le présent rapport, ceux sur fond blanc ne le sont pas.



Une partie significative de ces projets a fait l'objet d'une démonstration à l'échelle, avec un déploiement territorial. Les technologies et services développés correspondent en effet souvent à des problématiques régionales telles qu'un fort développement photovoltaïque (dans le sud) ou éolien (dans le nord ou l'est de la France), ou encore des contextes réseaux spécifiques (Bretagne, Région Sud). La démonstration sur le territoire est un levier qui peut permettre aux partenaires des projets de déclencher des ventes à l'export dans des contextes réseaux similaires.

Cartographie des projets accompagnés par l'ADEME depuis 2010 dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents¹

La diversité des sujets d'innovation traités et des acteurs impliqués sur les projets montre que la filière française des Systèmes Électriques Intelligents est une filière très dynamique. Comme illustré sur la figure ci-dessous via l'exemple des lauréats du PIA « Systèmes Électriques Intelligents », la filière allie des grands énergéticiens, des équipementiers français parmi les leaders internationaux, de nombreuses petites et moyennes entreprises, des organismes de recherche reconnus et de nouveaux entrants provenant du monde des télécoms.



¹La cartographie a été construite en représentant chacun des 64 projets (les 2 prises de participation expertisées par l'ADEME pour le Fonds Ecotechnologies opéré par Bpifrance et relevant des SEI ne sont pas indiquées) par un point correspondant à l'endroit où la démonstration de la solution innovante a lieu ; si le projet comporte plusieurs lieux d'expérimentation, tous en France, le lieu d'expérimentation retenu est le premier par ordre alphabétique ; les lieux d'expérimentation sont localisés à la fois en France et hors de France, le projet est représenté par un lieu d'expérimentation sur le territoire français, ou par la localisation du siège de l'entreprise porteuse du projet si le lieu d'expérimentation est unique et hors de France ; si la localisation de l'expérimentation est à la maille région ou département, le point correspondant au projet a été placé au centre de la région ou du département en question. Si l'expérimentation est menée sur toute la France, le point correspondant au projet a été placé au siège du coordonnateur du projet.



La majorité des 64 projets présentés ici sont soutenus par le Programme d'investissements d'avenir.

Des chiffres-clés sur le PIA opéré par l'ADEME, tous sujets confondus

L'ADEME s'est vu confier, sous forme de 3 vagues successives (PIA1, PIA2 et PIA3) depuis 2010 une enveloppe globale de 3,6 Milliards d'euros, au 30 juin 2019.

Couvrant plus de 22 thématiques dans le domaine de la transition écologique et énergétique, dont les Systèmes Électriques Intelligents, le PIA opéré par l'ADEME a permis à de nombreux secteurs (bâtiment, énergie marine, stockage des énergies renouvelables, recyclage...) d'innover pour rendre leurs pratiques plus durables et plus compétitives.

Le Programme d'investissements d'avenir confié à l'ADEME a conduit à la sélection, au 30 juin 2019, de 879 projets pour une aide de 2,3 Milliards d'euros, toutes thématiques confondues. Ce soutien se fait au travers de subventions et d'avances remboursables. Les avances remboursables permettent à l'État de couvrir le risque inhérent à tout projet d'innovation. Les premiers retours financiers vers l'État ont eu lieu en 2018, l'accélération de ces retours financiers est prévue en 2020 et 2021.

Le PIA opéré par l'ADEME a montré sa capacité à mobiliser les entreprises françaises sur ces créneaux porteurs et à stimuler leur capacité d'innovation. Les premières évaluations qui ont été conduites sur les appels à projets (AAP) clos et les projets décidés, permettent d'esquisser les impacts du dispositif à l'horizon 2020.

Les premiers résultats de l'évaluation qualitative montrent des impacts significatifs en termes d'impacts pour les entreprises, dont plusieurs exemples sont décrits ci-dessous :

- L'effet accélérateur et amplificateur du PIA est constaté, puisque sur 421 entreprises interrogées, 87% constatent que leurs projets ont vu le jour grâce au PIA, et que ce dernier a permis d'aboutir plus rapidement (50% estiment ce gain de temps supérieur ou égal à 2 ans).
- Dans le cadre de projets collaboratifs, 81% des projets ont généré des collaborations inédites, avec une répartition équilibrée entre PME, Grandes Entreprises et laboratoires de recherche. Le PIA contribue dès lors à structurer les écosystèmes d'innovation.
- Plus de la moitié des bénéficiaires interrogés déclarent être en mesure d'atteindre la viabilité économique de l'innovation développée (capacité à produire l'innovation à des coûts permettant d'être compétitif sur le marché, et de générer des recettes suffisantes pour assurer son développement).
- Un impact environnemental et énergétique globalement positif pour les projets financés est constaté (mais un impact difficilement quantifiable) - un des critères de sélection des projets étant un critère d'éco-conditionnalité.

Focus sur l'enquête qualitative auprès des projets Systèmes Électriques Intelligents

Au-delà du soutien financier, l'ADEME apporte un accompagnement complémentaire que plusieurs porteurs de projets ont apprécié, comme le montre des extraits de l'enquête réalisée par l'ADEME en décembre 2019 dans le cadre de l'évaluation qualitative du PIA opéré par l'ADEME (5 projets "Systèmes Électriques Intelligents" interrogés sur un total de 31 projets) :

"Après le démarrage du projet, des étapes clés ont été réalisées, pendant lesquelles l'ADEME réalisait des retours sur l'avancée du projet et proposait des éventuelles réorientations. Cet accompagnement a été jugé comme utile et ayant permis un approfondissement du projet."

"Le bénéficiaire a apprécié le fait qu'en fin de projet l'ADEME puisse orienter les porteurs vers des partenariats pour, par exemple, imaginer intégrer la solution à des démonstrateurs plus ambitieux."

Le rôle d'intermédiaire entre plusieurs projets qu'endosse l'ADEME en fin de projet a été perçu comme très positif."

Méthodologie

La méthodologie suivie pour élaborer la matière première nécessaire à la rédaction du rapport est identique à celle adoptée pour le rapport publié en 2016. En effet, pour réaliser ce document, l'ADEME a soumis un questionnaire demandant à chaque porteur de projets de bien vouloir mettre à disposition les résultats qu'il souhaitait rendre publics sur chacune des grandes questions posées. Il est à noter que le degré de précision des résultats publics retranscrits par les consortiums varie d'un projet à l'autre.

Si ces projets ont une influence considérable sur le développement de la connaissance sur les Smart Grids en France pour les acteurs de la filière, il est important de mentionner ici que la partie sur laquelle les consortiums (ou les bénéficiaires uniques, lorsqu'il s'agit de projets mono-partenaires) acceptent de rendre des résultats publics ne représente malheureusement que la partie émergée d'un iceberg tout à fait conséquent. L'ensemble des résultats précis reste couvert par des accords de confidentialité quelques années après la fin des projets, afin de protéger les perspectives industrielles et commerciales des porteurs de projet.

D'autre part, les projets ont fait l'objet d'expérimentations dans des conditions spécifiques à chaque territoire, ce qui est bien le propre des projets de démonstration. Il est important de garder en tête que les résultats restent ainsi sous-tendus par ces conditions. Enfin, les résultats présentés sont des photos effectuées en fin de projet. Ces conclusions ont pu évoluer depuis la fin des projets. Pour ces raisons, le lecteur est donc invité à une certaine mesure quant à l'interprétation des résultats présentés.

Avertissement sur la sensibilité des données et la portée des résultats

Les projets financés ont mené des travaux très conséquents dans de multiples domaines de la thématique Systèmes Électriques Intelligents, portés par des consortiums composés d'énergéticiens, gestionnaires de réseaux, PME, laboratoires, dont les objectifs peuvent être distincts. Dans une optique de mise sur le marché prochaine des solutions testées, ces objectifs sont à la fois techniques (sur de nombreux aspects de R&D) mais également liés aux modèles d'affaires. Des questions de confidentialité se posent ainsi bien souvent au sein même des consortiums, et a fortiori pour l'extérieur.

Pour réaliser ce document, l'ADEME a soumis un questionnaire demandant à chaque porteur de projets de bien vouloir mettre à disposition les résultats qu'il souhaitait rendre public sur chacune des grandes questions posées. Si ces projets ont quant à eux une influence considérable sur le développement de la connaissance sur les smart grids en France pour les acteurs de la filière, la partie sur laquelle les consortiums acceptent de rendre les résultats partagés et publics ne représente malheureusement que la partie émergée d'un iceberg tout à fait conséquent. L'ensemble des résultats précis reste couvert par des accords de confidentialité quelques années après la fin des projets.

D'autre part, les projets ont fait l'objet d'expérimentations dans des conditions spécifiques à chaque territoire, ce qui est bien le propre des projets de démonstration. Il est important de garder en tête que les résultats restent ainsi sous-tendus par ces conditions.

Pour ces raisons, le lecteur est donc invité à une certaine mesure quant à l'interprétation des résultats présentés ici.

Enfin, d'autres projets sont toujours en cours d'avancement, ou continuent d'être proposés pour financement, et pourront venir compléter ces premières grandes conclusions.

Les Systèmes Électriques Intelligents, ou Smart Grids, représentent une opportunité d'innovation pour **accompagner le développement des énergies renouvelables**.

Le développement des énergies renouvelables électriques sera facilité grâce à la gestion et à l'optimisation de trois types d'infrastructures : les unités de production EnR elles-mêmes, les réseaux (transport, distribution) et, à un horizon plus lointain ou dans des contextes particuliers, les actifs de stockage.

Les enjeux



Production EnR

- **Améliorer les prévisions** des moyens de production variables pour mieux gérer l'équilibre du système électrique avec une part importante d'EnR, à coût maîtrisé.
- **Raccorder les EnR au moindre coût et contribuer à la baisse des coûts des EnR.**
- Faire contribuer activement les EnR variables à la stabilité du système électrique et diversifier ainsi leurs sources de revenus.

Réseau

- **Dimensionner au mieux les réseaux électriques** et limiter les coûts de renforcement et ainsi les coûts pour la collectivité.

- **Optimiser les opérations de conduite et de maintenance** avec de nouveaux modes de gestion des actifs.
- **Adapter la couche de contrôle-commande et de sécurité** des réseaux en utilisant des réseaux de communication efficaces techniquement et économiquement.
- Faciliter l'atteinte d'une **part élevée d'EnR variables**.

Stockage

- **Dimensionner les systèmes de stockage** pour permettre le déploiement d'une part importante d'énergie renouvelable dans le mix électrique.
- **Piloter les systèmes de stockage** au sein de systèmes énergétiques locaux.

Les principales questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016 et les projets accompagnés pour chercher à y répondre

Suite au retour d'expérience de 2016, l'ADEME a souhaité poursuivre l'accompagnement et/ou le cofinancement des travaux de recherche pour répondre notamment aux grandes questions suivantes :

- **Comment améliorer les prévisions de production EnR ? Comment permettre aux centrales EnR d'offrir des services de flexibilité au système électrique ?**
- **Quelles nouvelles technologies déployer pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau ? Comment s'assurer de la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques ? Comment mieux modéliser et simuler les réseaux ?**
- **Comment dimensionner le stockage distribué et le piloter au sein de systèmes énergétiques locaux ?**

Les principales conclusions pouvant être formulées à l'issue des projets de démonstrateurs sont résumées ici :

Production EnR

- En termes de raccordement des EnR, un fort taux de pénétration des EnR sera favorisé par des **Offres de Raccordement Intelligentes (ORI)** qui peuvent permettre à des producteurs, dans certains cas, de se raccorder à moindre coût, avec en moyenne un **gain de 90 000 €/MW**, et plus rapidement (délai réduit de 7 à 10 mois).
- **Des modèles avancés innovants peuvent améliorer les prévisions de production EnR.** Par exemple, un projet a développé un modèle de prévision « territorialisé » qui intègre des mesures issues de capteurs au sol, proches de la centrale photovoltaïques dont la prévision de production doit être réalisée.
- **Les services système en fréquence (réglage primaire inclus) pourront a priori être fournis par des moyens non conventionnels :**
 - Un projet a démontré que, grâce à l'agrégation, une centrale virtuelle composée uniquement de centrales EnR (PV et éolien) peut fournir des services de ce type.
 - Une combinaison intelligente de stockage et de pilotage de la demande industrielle peut également techniquement fournir ce service avec un haut niveau d'exigence (produit symétrique notamment).
- Les projets ont permis de démontrer que **le concept de « centrale virtuelle » répond aux besoins des exploitants** de moyens de production EnR pour :
 - Piloter à distance des centrales éloignées géographiquement les unes des autres.
 - Valoriser leurs flexibilités en les agrégeant afin d'atteindre un volume minimum et ainsi participer aux mécanismes de valorisation en place.
 - Améliorer la prévision de production « agrégée » (et non plus seulement celle d'une centrale unitaire).

Réseau

- Les projets ont permis de montrer que **l'observabilité et le pilotage du système électrique peuvent être renforcés au moyen de technologies innovantes et de contrôle-commande numérique**, déployables :
 - Sur le réseau électrique (e.g. postes numérisés, capteurs connectés de détection de défauts non intrusifs pour le réseau HTA).
 - Sur les sites de consommation (e.g. pinces wattmétriques).
 - Sur les sites de production d'énergie renouvelable variable (techniques de prévision de production ou fonctions de pilotabilité améliorées à des coûts toujours plus compétitifs).
- **La numérisation des infrastructures permet aux gestionnaires de réseau**, grâce au déploiement de nouvelles fonctions (maintenance prédictive, supervision...), **d'améliorer leur performance opérationnelle** par :
 - Une réduction des temps de coupure, des fraudes, et des coûts d'exploitation-maintenance.
 - Une utilisation maximale des capacités physiques des réseaux.
- **La question de la fiabilité de la donnée remontée est clé.** Un projet démontre que des solutions existent pour s'assurer, de manière dynamique, de la qualité des données mesurées par les capteurs.
- En réponse à un besoin client fort, des entreprises ont développé des **solutions interopérables, basées sur des normes internationales, et ainsi interchangeables**, permettant à l'opérateur d'un système électrique intelligent (réseau, point de consommation ou point de production) de pouvoir remplacer facilement les équipements qui composent ce système.

Stockage

- Les projets ont permis de montrer que le coût du stockage, les caractéristiques actuelles du système électrique et de la régulation rendent le **contexte plutôt défavorable au développement du stockage distribué sur le territoire métropolitain**. Cependant, celui-ci peut offrir des services précieux au système. Ce constat vient renforcer les conclusions du rapport publié en 2016 sur la nécessité d'intégrer le stockage dans le droit à travers :
 - Une définition juridique à l'activité de stockage sans la confondre avec une activité de production et/ou une activité de consommation.
 - L'adaptation des règles de mécanismes de marché (services système, mécanisme de capacité) pour faciliter la participation du stockage et offrir des leviers de rémunérations supplémentaires.
- **Le modèle économique du stockage par volant d'inertie**, qui s'appuie en grande partie sur le service de contrôle de fréquence en substitution des groupes, **est aujourd'hui fortement concurrencé par celui des batteries électrochimiques**, en France métropolitaine et surtout en zones non interconnectées.
- Les projets ont permis de montrer que **le stockage distribué peut trouver un intérêt à court terme sur sites isolés et en zones non interconnectées** :
 - Dans ce type de géographies, le stockage présente de réels bénéfices environnementaux localement puisqu'il permet de réduire la consommation de fioul.
 - Le stockage trouve sa pleine valeur dans des systèmes électriques alimentés majoritairement par des énergies renouvelables variables, sa grande réactivité étant un atout majeur pour la stabilité de tels systèmes. Par exemple, un projet a développé un logiciel qui permet de déterminer la localisation des batteries sur le réseau, au niveau des départs HTA, afin d'atteindre l'objectif de 14% de photovoltaïque dans la production d'énergie en Martinique fixé par la PPE.

Défis d'ordre économique et organisationnel

- Le coût des systèmes de stockage est encore trop élevé, même s'il diminue d'année en année.
- La rémunération des différents services rendus par le stockage au système électrique n'est pas pleinement assurée par le fonctionnement actuel du marché.
 - o À travers les groupes de travail organisés par RTE en marge du projet RINGO¹, des pistes sont développées avec les acteurs autour de la participation du stockage au mécanisme d'ajustement notamment.
- L'optimisation des investissements réseau nécessite d'anticiper à l'échéance d'une dizaine d'années géographiquement les installations d'énergies renouvelables.
 - o Les S3REnR² permettent de prévoir les besoins sur la décennie à venir.
 - o Des études anticipatrices sont menées en parallèle, telle que l'étude FIDGI³ menée par l'ADEME pour fiabiliser les gisements disponibles.
- La valeur supplémentaire des services apportée par le stockage n'est pas encore valorisée (e.g. sa grande vitesse de libération de l'énergie qui permet de réduire la puissance à injecter pour répondre à une perturbation).

¹RINGO est un projet développé par RTE ; ce projet expérimental consiste à utiliser des moyens de stockage placés à plusieurs endroits du réseau pour réduire le transit sur une partie du réseau, pendant un certain temps, sans perturber l'équilibre offre demande.

²Schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables.

³Cette étude en cours sur la fiabilisation des estimations des gisements en énergie renouvelable électrique à horizon 10 ans est prévue pour mi-2021.

- Le décret concrétisant l'évolution réglementaire pour proposer des ORI aux producteurs EnR se raccordant en HTA n'est pas publié (en cours de finalisation par la DGEC). Il sera suivi d'un arrêté destiné à cadrer les ORI pouvant être proposées par les GRD.
 - o L'arrêté pourrait imposer des ratios concernant la puissance minimale injectable et/ou l'énergie non injectable maximale, rapportées aux caractéristiques du projet à raccorder.
- La réglementation permettant d'avoir recours à l'écrêtement de production pour régler des problèmes de congestion du réseau n'est pas définie.
 - o RTE et Enedis vont profiter d'un bac à sable réglementaire pour mener des expérimentations en 2020.
 - o 7 milliards d'euros d'économies d'investissement ont été identifiées sur le réseau de transport grâce à ces flexibilités.
- Le statut d'opérateur de stockage n'est pas défini.
 - o La CRE publié en septembre 2019 un document de réflexion et de proposition sur le stockage d'électricité en France. Elle demande aux gestionnaires de réseaux d'étudier la mise en place d'un statut ad hoc d'opérateur de stockage.
 - o La CRE et la DGEC proposent la mise en place d'un groupe de travail dédié au stockage d'électricité pour suivre les travaux engagés.

2

Comment adapter les modes de consommation ?

De façon complémentaire aux innovations liées à la production et aux réseaux, les Systèmes Électriques Intelligents, ou Smart Grids, représentent également une opportunité d'innovation pour **proposer de nouveaux outils favorisant la maîtrise de la demande d'énergie (MDE) et le pilotage de la demande** afin de :

- Limiter le recours à des moyens de production émetteurs de CO₂.
- Garantir l'équilibre offre/demande en cas d'indisponibilité des ressources variables.
- Limiter la congestion et les investissements dans de nouvelles infrastructures de réseau.
- Favoriser l'émergence des bâtiments ou territoires à énergie positive (TEPOS), ou a minima améliorer leur taux d'autoconsommation et d'autoproduction.

La MDE permet aux consommateurs de réduire leur consommation ainsi que la facture énergétique et l'empreinte environnementale liées à cette consommation. Dans les secteurs industriels et tertiaires (entreprises et collectivités), la MDE permet aux consommateurs de respecter la réglementation qui devient de plus en plus contraignante et de construire une stratégie de planification énergie/climat à long terme. Par ailleurs, le pilotage de la demande permet de diversifier leurs revenus par la valorisation de leurs flexibilités de consommation. Le consommateur est donc au cœur de l'évolution du système électrique aujourd'hui.

Ces deux leviers d'adaptation des modes de consommation sont traités ensemble car (i) des outils similaires sont mis en œuvre pour activer ces leviers chez les consommateurs, et (ii) il a été montré dans le rapport de 2016 que l'association de ces deux leviers permet de rendre plus pertinent et plus rentable économiquement l'un ou l'autre de ces leviers.

Ils doivent toutefois être pensés en bonne intelligence afin de favoriser dans un premier temps la MDE, le « consommer moins » (sobriété énergétique) et ensuite le pilotage de la demande, le « consommer mieux » (exploitation au maximum des ressources EnR disponibles et évitement d'émission de GES). Ces deux leviers permettent d'éviter des surdimensionnements réseaux.

Les enjeux



- **Quantifier le potentiel d'efficacité énergétique et de flexibilité** pour les différents profils de consommateurs.
- **Fiabiliser les gisements de MDE et de maîtrise de la pointe (MDP)** dans la durée.
- **Sensibiliser les consommateurs** à l'énergie en général et à ses enjeux.
- **Faciliter l'accès aux données** et leur visualisation pour les usagers finaux.
- **Mettre en place de nouveaux services et tarifs** visant à encourager les évolutions de comportement ou de pratiques.
- **Identifier la valeur et un temps de retour sur investissement attractif** aux solutions envisagées.
- **Permettre de partager la valeur** issue de ces démarches pour les parties prenantes dans un écosystème complexe et en pleine évolution.

Les usages de l'électricité évoluent également en France, notamment dans le domaine de la mobilité où l'électrification est l'un des leviers de réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'insertion à moindre coût pour la collectivité de la mobilité électrique devient donc un enjeu majeur pour le système électrique. Longtemps vu comme une éventuelle contrainte pour le système électrique (notamment à l'échelle locale), elle est aujourd'hui perçue comme une réelle opportunité pour le système électrique dans une logique d'insertion des énergies renouvelables¹.

Les enjeux



- Rendre accessibles – techniquement et économiquement – les infrastructures de recharge.
- Rendre la recharge simple au quotidien, notamment sur les lieux de travail et dans les copropriétés.
- Exploiter les flexibilités offertes par le pilotage de la recharge du véhicule électrique.
- Préparer l'intégration de l'électromobilité au système électrique dans une logique d'équilibre offre-demande et de gestion locale des contraintes.

¹Étude RTE et AVERE, « [Les enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique](#) », Mai 2019.

Les principales questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016 et les projets accompagnés pour chercher à y répondre

Suite au retour d'expérience de 2016, l'ADEME a souhaité poursuivre l'accompagnement et/ou le cofinancement des travaux de recherche pour répondre notamment aux grandes questions suivantes :

- **Comment faire participer un nombre accru de consommateurs industriels et tertiaires aux objectifs d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande pour leur bénéfice propre et celui du système ?**
- **Comment faire participer un nombre accru de consommateurs résidentiels à ces mêmes objectifs et développer chez eux une « culture énergie » ?**
- **Comment faciliter la recharge des véhicules électriques et exploiter la flexibilité de leur recharge pour une gestion optimisée du système électrique ?**

Les conclusions en fin de projets

Cette seconde vague de projets sur le sujet de la MDE et du pilotage de la demande a entériné les résultats suivants déjà énoncés dans le rapport de 2016 :

- **Il est nécessaire d'allier accompagnement numérique et accompagnement humain**, le premier n'ayant que peu de rentabilité sans le second, en termes de réduction des consommations énergétiques sur le moyen et long terme.
- **Le caractère automatisé (« Plug & Play »)** d'une solution est attractive pour les consommateurs tertiaires.
- Les consommateurs privilégient l'affichage déporté, notamment via smartphone.

MDE et pilotage de la demande pour les consommateurs industriels et tertiaires

- Les projets ont permis de montrer que **certaines solutions logicielles de MDE et/ou de pilotage de la demande sont matures d'un point de vue technique et sont commercialisables** - en France et à l'étranger -, donnant ainsi des perspectives à la filière française dans la fourniture de produits et de services. Par exemple, pour les secteurs tertiaires et industriels :
 - o Un moteur d'alertes comparatives des consommations électriques à partir des courbes de charge issues de compteurs communicants, pour le secteur de l'hébergement et de la restauration (MDE seulement).
 - o Une solution de pilotage des équipements de chauffage et de climatisation et également d'équipements à potentiel de stockage pour réaliser des économies d'énergie tout en préservant le confort thermique de l'utilisateur.
- **L'envoi d'ordres de pilotage des usages via des réseaux radio longue portée (type Sigfox ou LoRa) a pu être validé techniquement.** Un moteur d'effacement diffus a pu être mis au point et utilisé sur des systèmes réels - bâtiments publics - dans le cadre d'un projet. L'utilisation de ce type de réseau et les capteurs ou actionneurs associés pourrait permettre d'adresser le domaine de l'effacement diffus en le rendant économiquement viable.

Industrie

- Les projets ont montré que **le pilotage de la demande dans l'industrie est un levier pour engager une démarche d'automatisation des processus** et représente également une nouvelle source de revenus, pour les industries électro-intensives en particulier.
- **La valorisation des flexibilités de consommation est envisageable**, via les mécanismes de valorisation existants, pour des acteurs industriels n'ayant pas de processus électro-intensifs, par exemple dans le secteur agricole et le secteur agroalimentaire.

Tertiaire

- Les projets ont permis de montrer que **la valorisation des flexibilités de consommation est envisageable pour des acteurs tertiaires sous certaines conditions** :
 - o Les bâtiments considérés doivent disposer d'une puissance flexible suffisamment importante pour représenter une valeur après agrégation – notamment dans le cadre d'une valorisation pour lever des contraintes sur le réseau localement.
 - o La combinaison de services associant flexibilités et MDE.
 - o La baisse ou la mutualisation des coûts d'instrumentation et de pilotage.
- **L'ensemble de la chaîne d'acteurs du secteur tertiaire a besoin d'être sensibilisée aux questions énergétiques** et à leurs consommations : responsables de sites, responsable énergie dans les collectivités, employés occupants.
- **La diversité des acteurs impliqués dans la gestion de l'énergie sur les sites professionnels** (propriétaire, entreprise locatrice, employés occupants) **et leur rôle** (décideur différent de l'utilisateur final par exemple) **rend complexe la mise en place de mesures d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande**. Une bonne coordination entre ces différents acteurs est nécessaire, et ce tout au long du cycle de vie des systèmes de MDE et de pilotage de la demande.
- Les trois principaux critères de sélection de bâtiments publics dans le cadre d'une offre de flexibilité locale sont : **le type d'activité hébergée** (et la sensibilité thermique des occupants), **le taux d'occupation et l'isolation du bâtiment**.
- **L'éclairage public ne semble pas constituer un gisement de flexibilité significatif** :
 - o Un projet a démontré qu'il était possible d'effacer 75% de la puissance installée en éclairage entre 18h et 20h en hiver. Cependant, ce résultat suppose une forte acceptabilité des usagers.
 - o Le gisement est diminué lorsque l'acceptabilité est plus faible pour des raisons de besoin de sécurité.
 - o Enfin, la plage horaire sur laquelle ces flexibilités sont disponibles (la nuit) correspond souvent à des périodes de faibles contraintes réseaux.

MDE et pilotage de la demande pour les consommateurs résidentiels

Les attentes des consommateurs particuliers quant à leur appropriation des questions énergétiques et de leur consommation

- Grâce à un projet, deux bénéfices majeurs de la flexibilité du point de vue du client particulier ont été identifiés :
 - o **Réduction des factures énergétiques** : Il faut toutefois noter que le bénéfice du point de vue du consommateur ne résulte pas que d'un simple calcul économique et rationnel. En effet, seule une faible part des ménages du projet (10 à 15%) fait son choix uniquement à partir du calcul explicite de l'impact de chaque tarif proposé sur sa facture.
 - o **Services perçus liés aux équipements de pilotage fournis avec l'offre** : meilleure programmation du chauffage, confort, image sociale... 24% des ménages interrogés sont intéressés par ces services et la moitié d'entre eux sont disposés à payer jusqu'à 2,80 euros/mois pour le service proposé.
- **Les données de confort dans le bâtiment et de météo** (température, taux d'humidité) **constituent un élément motivateur** qui enclenche ensuite l'action de consulter les informations de consommation énergétique.
- Concernant la perception des outils de suivi de consommation par les utilisateurs, un projet a montré que la synthèse hebdomadaire de la consommation électrique est la fonction la plus utilisée. Contrairement aux idées

reçues, **les utilisateurs semblent préférer les affichages en kWh plutôt qu'en Euros.**

- Pour un foyer donné appartenant à un échantillon de ménages ayant des profils de consommation similaires, **l'effet « comparaison » implique une baisse de consommation** pour ce foyer.
- **Le caractère « automatisé » des solutions** (i.e. la commandabilité des usages sans action de la part de l'utilisateur) est apprécié et **donne de meilleurs résultats en termes de baisse de la consommation et de valorisation des flexibilités.**

Les enseignements pour les concepteurs de solutions

- Les projets ont permis de montrer que les solutions et les outils développés doivent être :
 - o **Faciles d'accès et d'utilisation.**
 - o **Personnalisables.**
 - o **Évolutifs** pour pouvoir s'adapter aux besoins et possibilités des utilisateurs cibles.
 - o **Coconstruits** (i) avec les futurs utilisateurs concernés, afin de mieux répondre à leurs motivations intrinsèques (sentiment d'efficacité personnelle, d'autonomie, de relation à autrui), et (ii), en ce qui concerne l'animation du territoire sur le thème de l'énergie et la transition écologique, avec les pionniers locaux que sont les associations et les habitants bénévoles, pour toucher plus efficacement le reste de la population et donc massifier.
- **Certains logements ne sont pas éligibles** et le tableau électrique a ses limites (place, sécurité).

L'autoconsommation implique des démarches de MDE et de pilotage de la demande

- L'un des projets a permis d'expérimenter des solutions permettant la **maximisation de l'autoproduction** à partir d'électricité d'origine photovoltaïque installée sur site et **ce grâce à des démarches de MDE et de pilotage de la demande.**

Les offres tarifaires pour le pilotage de la demande

- **Des offres tarifaires de pilotage de la demande ont été développées et testées** ; il est à noter cependant que très peu d'offres associées au compteur Linky existent aujourd'hui commercialement.
- L'expérience recueillie dans un projet a montré **l'efficacité supérieure des tarifs avec pilotage** (21% de baisse des consommations sur 44 heures d'effacement) **par rapport aux tarifs à incitation sans équipements de pilotage automatisé¹** (5% sur 60 heures d'effacement).

Des problèmes d'inclusion numérique pour les foyers en situation de précarité énergétique²

- Un projet a montré **que les personnes en situation de précarité énergétique ont des difficultés à s'approprier les informations et le matériel** mis à disposition, bien qu'elles déclarent y trouver un intérêt.
- Dans l'un des projets, qui a expérimenté un type de projet énergie appelé « modération contrainte » concernant des foyers en précarité énergétique avec des compétences limitées en énergie, il a été montré que **ces foyers ont adopté des modes de consommation frugaux** et optent pour des modes de gestion empirique centrés sur l'intervention manuelle.
- Il est à noter qu'un projet a montré que la moitié des foyers en situation de précarité énergétique de l'expérimentation déclarent se servir de la tablette mise à disposition également pour d'autres usages que ceux liés aux économies d'énergie.

L'intégration de l'électromobilité au système électrique

- Les projets ont permis de démontrer que **l'interopérabilité entre les solutions développées est nécessaire** car elle participe à rendre le service de recharge de véhicule électrique compris par l'utilisateur, rentable pour les

¹Le système de pilotage peut commander un ou plusieurs points de consommation (chauffage, eau chaude sanitaire) et ajuste ces consommations électriques pour minimiser la facture énergétique.

²Plus de 10% des revenus consacrés à l'énergie.

opérateurs, et non contraignant pour le réseau de distribution.

- **L'installation des Infrastructures de recharge de véhicules électriques (IRVE) en logements collectifs dans les bâtiments existants est complexe.** Ceci est principalement dû à un processus de prise de décision collectif et long.
- **Les offres commerciales doivent prendre en compte le déploiement des pré-équipements IRVE**, partie souvent négligée par les copropriétés et bailleurs qui ne prennent en considération que le point de charge.
- **Le fonctionnement de l'auto-partage en résidentiel collectif a été validé** dans le cadre d'une expérimentation. Sa pertinence purement économique n'a, en fin de projet, pas été démontrée, mais ce service peut apporter, au-delà des bénéfices économiques directs pour l'utilisateur :
 - o Des bénéfices économiques indirects (e.g. valorisation foncière, économies de dépenses liées au transport pour les usagers).
 - o Des bénéfices non-économiques (e.g. accès à une offre supplémentaire et accessible de mobilité, réduction des émissions de CO₂).
- **La valorisation des opportunités offertes par les véhicules électriques pour la résolution des congestions reste à étudier**, peu de projets ont jusqu'ici pleinement adressé cette thématique.
- **Le *Vehicle-to-Building* raccordé à un réseau privé est plus simple à mettre en œuvre** d'un point de vue organisationnel et juridique **que le *Vehicle-to-Grid*.**

Les principaux défis structurants restant à traiter

Défis d'ordre technique

- Dans le secteur tertiaire, l'ancienneté de certaines gestions techniques de bâtiments (GTB) et le manque de normalisation des protocoles de communication rendent parfois difficiles le pilotage des usages.
- L'intervention dans le tableau électrique des particuliers est parfois impossible pour cause de non-conformité ou manque de place.
- L'arrivée des véhicules électriques et le développement des infrastructures de recharge soulèvent de nombreuses questions quant à la nécessité de la normalisation de la prise et des bornes de recharge.
 - o L'interopérabilité de la prise de recharge est en phase d'être validée (standard au niveau européen). Les travaux d'interopérabilité doivent se poursuivre sur les moyens d'accès aux services de recharge et l'opération même des bornes en lien avec ces services.

Défis d'ordre économique et organisationnel

- Le coût d'instrumentation et de pilotage reste trop élevé pour permettre un retour sur investissement attractif notamment dans les secteurs résidentiel et tertiaire.
 - o Dans le résidentiel, des mesures doivent être prises concernant la relance et le soutien au développement des offres d'effacement indissociables de la fourniture (« tarifaires »).
 - o Dans le tertiaire, plusieurs initiatives sont en cours de construction ou test pour mieux évaluer ou labeliser des projets ou bâtiments tertiaires et leur flexibilité (on peut citer l'indicateur GoFlex, le référentiel 4Grids ou encore la démarche Smart Grid Ready de la CCI06).
- Il est nécessaire de généraliser la sensibilisation des consommateurs et des décideurs : de nombreuses catégories de consommateurs (e.g. dans le secteur tertiaire, dans le secteur résidentiel) et de décideurs (e.g. élus) ne sont pas sensibilisés aux problématiques de MDE et de pilotage de la demande et les mécanismes de valorisation sont difficiles à appréhender.
- Il n'existe pas toujours de gestionnaire unique de l'énergie sur un site regroupant plusieurs acteurs (représentant potentiellement plusieurs types de consommateurs – industriels, tertiaires, résidentiels).
- Des packs de services agréant l'électricité à d'autres types d'énergie ou de produits ne sont pas en place, bien que jugés attractifs pour les consommateurs en particulier dans le secteur résidentiel.
- Bien qu'un effort soit fait en termes de représentativité et cohérence d'hypothèses sociologiques, les consommateurs participant in fine aux expérimentations ne sont pas toujours représentatifs de l'ensemble de la population, ainsi les conclusions issues de ces expérimentations ne sont pas nécessairement valables pour la totalité des consommateurs.

Défis d'ordre réglementaire

- Les mécanismes de mobilisation et de valorisation des solutions de flexibilité à l'échelle locale n'existent pas encore.
 - o Enedis a lancé [un appel à contribution sur les flexibilités locales](#) et poursuit la co-construction du processus de contractualisation et d'activation de la flexibilité locale.
 - o De manière plus générale, la DGEC a piloté un groupe de travail CRE-RTE-ADEME-Enedis (2019-2020) et mené une consultation auprès des acteurs afin d'établir une liste de propositions pour accompagner le développement de la filière effacement. La mise en œuvre de ces différentes propositions devrait commencer dès 2020.

De par la volonté des citoyens ou entreprises de reprendre en main les questions d'approvisionnement énergétique, ou encore du fait d'un contexte législatif (lois NOTRe - Nouvelle organisation territoriale de la République et MAPTAM - Modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles notamment) rappelant le rôle majeur des collectivités dans la mise en place de la transition énergétique, de nouveaux modèles voient le jour. Plus ancrés dans leur territoire, ils peuvent prendre diverses formes. L'ADEME, dans une logique d'exploration des possibles et d'aide à la consolidation de modèles économiques et réglementaires pérennes, soutient des projets relevant des champs suivants : **autoconsommation collective, micro-réseaux, interactions multi-vecteurs et plateformes de données territoriales.**

L'autoconsommation collective

L'**autoconsommation collective** est une forme de partage de l'énergie à l'échelle locale permettant à un ou plusieurs producteurs et un ou plusieurs consommateurs liés entre eux par une « personne morale organisatrice » (e.g. association, coopérative, copropriété), de consommer tout ou partie de l'électricité produite localement (Source : Code de l'énergie, Art. L-315-2).

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques

- Créer un effet de foisonnement assez important entre différents profils de consommation pour assurer l'efficacité d'une opération de partage à échelle locale.
- Se doter des moyens qui permettront de gérer efficacement le fonctionnement courant de ces projets, notamment en termes de systèmes d'information.
- S'aligner avec les régimes de sécurité applicables (e.g. RGPD, informations commercialement sensibles).

Enjeux économiques

- Identifier les modèles porteurs de valeur pour l'ensemble des parties prenantes.
- Faire évoluer la tarification du réseau pour assurer une répartition équilibrée de son financement.
- Amorcer les réflexions sur les grands principes tarifaires (e.g. péréquation) et leurs évolutions possibles dans l'hypothèse d'une généralisation du partage d'énergie à l'échelle locale sur l'ensemble du territoire français.

Enjeux de gouvernance

- Simplifier la mise en place de la personne morale organisatrice (PMO) d'opération d'autoconsommation collective, en particulier pour les collectivités locales qui souhaitent porter ces projets sur leur territoire.
- Articuler les interactions avec le réseau de distribution centralisé (gouvernance, valorisation des données).

Les micro-réseaux (ou micro-grids) sont des réseaux de petite taille, contenant des sources de production dont la capacité installée totale varie entre quelques dizaines de kW et ~10 MW, caractérisé par une optimisation locale du couple énergie-réseau : l'équilibrage production/consommation se fait prioritairement à la maille locale. Ils peuvent concerner des sites isolés (zones insulaires, sites industriels isolés tels que des mines, bases militaires en opération ou électrification rurale dans des pays en voie de développement par exemple) ou être par ailleurs connectés à un réseau de distribution régional/national (sites isolés avec défauts fréquents, sites critiques comme hôpitaux, etc.). Dans les zones connectées, un micro-réseau est caractérisé par sa capacité à s'isoler du réseau et à fonctionner en autonomie (en « îlotage ») pendant au moins plusieurs heures (Source : CRE, Étude sur les perspectives stratégiques de l'énergie, Note sur les micro-grids, 2018.)

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets

Enjeux techniques

- Identifier les impacts du développement de micro-réseaux sur le fonctionnement du système électrique et sur les stratégies d'investissement ou d'extension des infrastructures de transport et de distribution d'électricité.
- En mode îlotage, maintenir la stabilité du réseau (tension et fréquence) au sein du micro-réseau et maintenir la stabilité du réseau public de distribution lors de la resynchronisation du micro-réseau avec le réseau public de distribution¹.

Enjeux économiques

- Identifier les modèles porteurs de valeur pour l'ensemble des parties prenantes.
- Identifier les services qu'un micro-réseau peut offrir au système électrique.

Enjeux de gouvernance

- Définir le rôle des collectivités territoriales dans ce type de projet (e.g. financeur, autorité concédante, (co-)opérateur).

¹Rappelons ici un résultat remarquable obtenu dans le cadre du projet NICE GRID achevé en 2016 : l'îlotage a été testé avec succès, selon des modes programmés (sans coupure du réseau) et inopinés (avec coupure initiale du réseau de 3 minutes), avec une durée jusqu'à 5 heures dans le projet.

Les interactions multi-vecteurs font référence à des connexions entre les différents réseaux et vecteurs énergétiques (e.g. électricité, gaz, chaleur). Ces connexions sont permises par une ou plusieurs briques technologiques permettant de transformer et valoriser des vecteurs énergétiques de nature différente. Un **système multi-énergies** peut se définir comme l'optimisation coordonnée des usages et des vecteurs associés sur un périmètre bien défini (territoire par exemple). Il peut se baser sur des interactions multi-vecteurs. (Proposition de définition ADEME).

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques

- Disposer de procédés de transformation Power-to-Gas (production d'hydrogène à partir d'électricité) industrialisables.
- Développer des solutions de stockage d'hydrogène.

Enjeux économiques

- Savoir identifier les optimums technico-économiques en termes de recours au multi-vecteurs à l'échelle d'un territoire donné, en fonction des ressources énergétiques EnR, de l'état des réseaux existants d'électricité et de gaz, et des typologies d'usages (actuels et à venir).
- Disposer de procédés de transformation Power-to-Gas rentables économiquement.
- Adapter les infrastructures énergétiques existantes aux nouvelles technologies multi-vecteurs à coût maîtrisé.

Enjeux de gouvernance

- Identifier les échelles pertinentes pour un système multi-vecteurs (e.g. collectivité locale, zones industrielles et commerciales, coopératives d'habitants) et les modèles de gestion associés (e.g. Délégation de Service Public, Société d'Economie Mixte).
- Mettre en place des moyens de financement de ce type de projets au niveau des collectivités territoriales, à même d'envisager des horizons d'investissement supérieurs à 10 ans.
- Mettre en place une fiscalité incitative pour ce type de projet.

Les plateformes de données territoriales sont des supports à des services digitaux, gratuits ou payants pour les utilisateurs, avec chacune un mode de gouvernance spécifique. Elles permettent aux administrations, acteurs privés et citoyens d'accéder à un ensemble de données (économiques, énergétiques, sociales, environnementales) de manière publique et mutualisée. Plus particulièrement dans le domaine de l'énergie, leur développement s'inscrit dans une logique d'utilisation optimale de données du territoire pour changer les pratiques de consommation ou d'investissements réseaux. (Proposition de définition ADEME).

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques

- Choisir entre une logique d'Open Data et un modèle propriétaire.
- Sélectionner des technologies permettant l'interopérabilité et la mise à l'échelle afin de faciliter les échanges entre plateformes aux différents échelons territoriaux (commune, EPCI, département, région).
- Choisir entre une logique d'Open Data et un modèle propriétaire.
- Introduire la sécurité dans la conception de la plateforme (« security by design »).
- Assurer la qualité et la standardisation des données quantitatives et qualitatives, en garantissant l'engagement de l'ensemble des contributeurs sur la qualité et l'application des standards associés.
- S'aligner avec les régimes de sécurité des données applicables (e.g. RGPD, informations commercialement sensibles).

Enjeux économiques

- Identifier des cas d'usage porteurs de valeur pour un écosystème territorial, liés à l'énergie, la mobilité durable et au-delà (e.g. santé) et en évaluer les bénéfices économiques pour la collectivité.
- Mettre l'accent sur l'utilisateur final et les services qu'il peut tirer du partage des données territoriales dès le début du projet de développement des services et de la plateforme associée.
- Trouver un modèle économique pérenne et qui permette de maximiser la valeur ajoutée pour la collectivité.

Enjeux de gouvernance

- Mettre en place un schéma de gouvernance adapté à l'ensemble des parties prenantes et qui laisse la localité maître de ses données en toute circonstance.
- Développer des ressources et des compétences au sein des collectivités ; en particulier, mutualiser des compétences en Data Science et analyse des données entre les acteurs.
- Organiser et gérer le consentement autour des données.

Deux sujets transverses sont également détaillés dans le rapport : la cybersécurité et l'interopérabilité.

Un autre sujet transverse – non détaillé dans le rapport complet – est celui des coûts et bénéfices environnementaux des solutions Smart Grids. Quelques projets ont essayé d'analyser ces coûts et bénéfices environnementaux. Force est de constater que la démarche reste cependant rare et que les méthodes et hypothèses en termes d'évaluation environnementale sont multiples. Il conviendrait de mettre en commun les méthodes d'évaluation et de les partager au sein de la filière pour améliorer l'analyse fine des bénéfices nets des solutions Smart Grids.

Du côté des « coûts » environnementaux, l'enjeu majeur est d'analyser l'impact du numérique et plus généralement des technologies de l'information et de la communication (TIC) déployées dans le cadre des Smart Grids. À ce sujet, l'ADEME avait mené une étude, courant 2015, sur la consommation énergétique de ces TIC dans les Smart Grids¹. La consommation évaluée était de l'ordre de 1 TWh, ce qui reste assez faible par rapport à la consommation globale française (473 TWh en 2019 d'après RTE). En termes d'études, il conviendrait cependant d'aller plus loin que l'impact de la consommation électrique seule pour analyser les enjeux matières notamment, sur l'ensemble du cycle de vie de ces TIC. A ce sujet l'ADEME mène avec le BRGM et le CNRS un projet de recherche, SURFER, sur la faisabilité de différents scénarios de la transition énergétique française (notamment certains aspects Smart Grids) au regard des besoins en matière et des risques d'approvisionnement associés. Par ailleurs, le Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) poursuit actuellement des travaux pour identifier les matières premières nécessaires à la transition énergétique et leur criticité dans le cadre de la réalisation d'un Plan de programmation des ressources minérales stratégiques nécessaires à la transition bas carbone.

Concernant les bénéfices environnementaux, les technologies Smart Grids permettent, grâce à un fonctionnement optimisé de l'ensemble du réseau et des actifs de productions, d'éviter des émissions de CO₂. Ces gains peuvent se concrétiser grâce à l'augmentation de la capacité d'accueil d'énergies renouvelables, à la maîtrise de la demande en énergie, à une sollicitation moindre de moyens de production carbonés dans la fourniture des services au réseau, etc.

En 2017, RTE a publié un rapport sur l'analyse de la valeur économique et environnementale des solutions Smart Grids², étudiant le déploiement de solutions Smart Grids dans un mix électrique donné (hypothèses présentées dans l'étude). Dans ces conditions, il est estimé qu'à horizon 2030, le déploiement de 9 GW de solutions de flexibilité Smart Grids pourrait réduire les émissions de CO₂ de l'ordre de 0,8 MtCO₂/an (soit 3% des émissions annuelles du système électrique français), en tenant compte du cycle de vie des matériels. Sur la question spécifique du stockage, l'étude pointe des bénéfices nets importants en termes d'émissions annuelles de GES évitées. Toutefois ce résultat repose sur une analyse du cycle de vie de batteries produites en France. Les batteries actuelles étant principalement fabriquées en Asie, avec un procédé intensif en électricité dans des pays au mix électrique fortement carboné, cette dernière hypothèse demande à être concrétisée, notamment au travers des grands projets industriels en cours au niveau européen.

¹ADEME, Evaluation de la consommation électrique de la couche TIC dans les Smart Grids, 2015.

²RTE, Réseaux électriques intelligents - Valeur économique, environnementale et déploiement d'ensemble, 2017.

A qui s'adresse ce rapport ?

Ce rapport s'adresse aux différents acteurs de la filière des Réseaux Électriques Intelligents voulant situer les avancées en matière d'innovation : les acteurs institutionnels, académiques, industriels, les collectivités territoriales, les bureaux d'études et les PME.

Sources

Alors que l'ADEME soutient depuis 10 ans l'innovation dans le domaine des Réseaux Électriques Intelligents, un bilan des avancées de ces projets ambitieux s'impose afin d'en tirer les principaux enseignements. L'objectif de ce travail est de répertorier, sur une même grille d'analyse, différents projets focalisés sur des briques innovantes distinctes.

Les résultats d'une trentaine de projets sont détaillés dans le présent rapport. Il est à noter que d'autres projets Smart Grids, non soutenus par l'ADEME, ont été menés sur le territoire français¹.

Les résultats issus des projets accompagnés par l'ADEME peuvent faire l'objet d'un caractère confidentiel, notamment par rapport à des perspectives de marchés des entreprises les ayant portés.

Ainsi, l'ADEME a suivi la démarche suivante pour établir cette synthèse :

- Un « questionnaire de capitalisation » a été envoyé à chacun des porteurs de projets concernés, en fin de projet. Ce questionnaire expliquait en introduction l'action de bilan public que souhaitait mener l'ADEME et listait des questions en lien avec les objectifs des appels à projets Smart Grid de l'ADEME. La liste de questions était la même d'un projet à l'autre portant sur une même thématique.
- Les réponses publiques collectées via ce questionnaire constituent la matière première principale du présent rapport.

Les dossiers ou communiqués de presse, lorsqu'ils existent, ainsi que les fiches lauréat des projets ont constitué une seconde source d'information publique. Étant donné que la matière première a été collectée au fil des clôtures de projets entre début 2016 et mi-2019, contrairement à l'exercice mené début 2016 qui correspondait à la collecte au même moment (décembre 2015) de résultats, le lecteur devra rattacher les résultats de chaque projet à la date de fin du projet en question. Le présent rapport n'a pas vocation à exposer la totalité des résultats publics de chaque projet, en particulier lorsque ceux-ci sont portés par des consortiums. Il permet néanmoins de synthétiser les avancées en matière de méthodologies, services et matériels innovants avec un point de vue global et généraliste. Chaque lecteur pourra identifier les briques manquantes à l'édifice structurant auquel l'ADEME souhaite continuer de contribuer. Il est à noter que le lecteur pourra trouver des informations générales sur chacun des projets dans les « fiches lauréats » présentes dans la médiathèque de l'ADEME².

L'ADEME tient à remercier les consortiums et porteurs de projet qui, pour la quasi-totalité, ont complété le questionnaire de capitalisation.

Les résultats « bruts » des projets ont été mis en perspective avec :

- Des études réalisées par l'ADEME et par d'autres organismes et institutions (e.g. CRE, Enedis, RTE).
- Des éléments généraux de contexte concernant la filière française des Réseaux Électriques Intelligents.
- Le bilan établi en 2016 dans le rapport « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs ».

¹Le site <http://www.smartgrids-cre.fr/> en recense un grand nombre.

²<http://ademe.fr/mediatheque>

Les conclusions formulées dans chaque partie ont pour ambition de dépasser la vision de chaque acteur et de proposer ainsi des enseignements dans une approche globale sur l'ensemble de la filière française des Systèmes Électriques Intelligents.

Note sur la confidentialité des informations reçues

Les résultats des projets peuvent être confidentiels, notamment par rapport à des perspectives de marchés des entreprises les ayant portés. Les analyses ont été conduites à partir de questionnaires non confidentiels complétés par les consortiums à l'issue des projets. Chaque consortium a choisi les informations qu'il souhaitait rendre publiques. En ce sens, seule une partie des résultats est rendue publique dans ce rapport.

Structure du rapport

En tenant compte des résultats du rapport de 2016 et des nouvelles analyses réalisées sur les projets ayant avancé depuis, le retour d'expérience de 2020 est structuré en trois parties principales :

- Partie 1 : « **Quelle évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des énergies renouvelables ?** », traitant des projets en lien avec les technologies de production, de réseau et de stockage.
- Partie 2 : « **Comment adapter les modes de consommation ?** », traitant des projets en lien avec le changement des profils de consommation et de la culture énergie à développer parmi les consommateurs finaux.
- Partie 3 : « **Vers de nouvelles dynamiques territoriales ?** », traitant majoritairement de projets encore en cours qui expérimentent de nouveaux modèles en lien avec les territoires. Cette partie est plus prospective que les deux premières, et vise à identifier de grandes tendances illustrées par les projets en cours, pour lesquels les résultats ne sont pas encore disponibles.

Deux thématiques transverses font l'objet de focus thématiques dédiés en fin de rapport : la cybersécurité et l'interopérabilité.

A noter : lorsque les résultats d'un même projet relèvent de domaines différents, ceux-ci sont répartis dans les parties respectives. Par exemple, les résultats du projet FLEXBAT relatifs au stockage figurent en partie 1.3.1. et ceux relatifs à la mobilité électrique figurent en partie 2.3.

Projets

Le nombre de projets accompagnés par l'ADEME sur le sujet des Systèmes Électriques Intelligents depuis 2010 s'élève à **64** :

- L'état des lieux de la filière Smart Grid proposé dans le rapport publié en 2016 était un instantané des réponses communiquées par **12** projets démonstrateurs du Programme d'investissements d'avenir (PIA) en fin d'année 2015. Les résultats des 6 projets terminés avant décembre 2015 ne sont pas repris dans le présent rapport. Dans le cas où il y aurait eu des résultats supplémentaires pour les 6 autres projets de démonstrateurs clôturés après décembre 2015, ceux-ci sont explicités dans le présent rapport.
- Dans le rapport 2016, les résultats de **2** projets accompagnés par le programme R&D piloté par l'ADEME avaient été exposés. Ils ne sont pas répétés ici.
- **32** projets clôturés depuis le précédent rapport et non abordés dans celui-ci constituent le cœur de ce rapport. Pour 5 de ces projets, les résultats ne sont pas présentés dans le rapport faute de matière publique mise à disposition par les porteurs de projets.
- **18** projets sont en cours en date de la rédaction de ce rapport. Leurs résultats, non encore connus, ne sont donc pas évoqués dans ce rapport.
- Au-delà des 64 projets cités ci-dessus, un statut des 2 prises de participation est donné dans le présent rapport.

Une cartographie des projets analysés est présentée en début de chaque grande partie (Partie 1, Partie 2, Partie 3)

ainsi qu'en début de chaque sous-partie.

La liste complète des projets considérés est disponible à la fin du rapport.

Note sur les modèles d'affaires

Les informations collectées sur les modèles d'affaires sont peu nombreuses : en effet, les porteurs de projets ont peu communiqué sur les modèles d'affaires dans les questionnaires de capitalisation ; de plus, le contexte (économique, réglementaire) des projets ne permettait pas toujours de tester la pertinence des modèles d'affaires envisagés. Ainsi, les informations précises sur les modèles d'affaires et leur pertinence sont limitées dans ce rapport.

Avertissement sur la sensibilité des données et la portée des résultats

Les projets financés ont mené des travaux très conséquents dans de multiples domaines de la thématique Systèmes Électriques Intelligents, portés par des consortiums composés d'énergéticiens, gestionnaires de réseaux, PME, laboratoires, dont les objectifs peuvent être distincts. Dans une optique de mise sur le marché prochaine des solutions testées, ces objectifs sont à la fois techniques (sur de nombreux aspects de R&D) mais également liés aux modèles d'affaires. Des questions de confidentialité se posent ainsi bien souvent au sein même des consortiums, et a fortiori pour l'extérieur.

Pour réaliser ce document, l'ADEME a soumis un questionnaire demandant à chaque porteur de projets de bien vouloir mettre à disposition les résultats qu'il souhaitait rendre public sur chacune des grandes questions posées. Si ces projets ont quant à eux une influence considérable sur le développement de la connaissance sur les smart grids en France pour les acteurs de la filière, la partie sur laquelle les consortiums acceptent de rendre les résultats partagés et publics ne représente malheureusement que la partie émergée d'un iceberg tout à fait conséquent. L'ensemble des résultats précis reste couvert par des accords de confidentialité quelques années après la fin des projets.

D'autre part, les projets ont fait l'objet d'expérimentations dans des conditions spécifiques à chaque territoire, ce qui est bien le propre des projets de démonstration. Il est important de garder en tête que les résultats restent ainsi sous-tendus par ces conditions.

Pour ces raisons, le lecteur est donc invité à une certaine mesure quant à l'interprétation des résultats présentés ici.

Enfin, d'autres projets sont toujours en cours d'avancement, ou continuent d'être proposés pour financement, et pourront venir compléter ces premières grandes conclusions.



> Un secteur de l'énergie en profonde mutation

La Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) fixe des objectifs ambitieux pour la France en termes de développement des énergies renouvelables (EnR) et de maîtrise de la consommation d'énergie. Pour ce faire, elle a créé les programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), outils de pilotage de la politique énergétique, qui fixent une trajectoire pour le mix énergétique, ainsi que les priorités d'action pour la gestion de l'ensemble des formes d'énergie sur le territoire métropolitain continental, afin d'atteindre les objectifs nationaux fixés par la loi.

Cette dynamique s'inscrit dans une évolution mondiale des systèmes énergétiques qui vont, dans les prochaines années, voir augmenter massivement la part des EnR, notamment dans un objectif de décarbonation des sociétés. Pour les systèmes électriques, ces évolutions seront majeures, parmi lesquelles des usages électriques accrus et décentralisés, une augmentation de la production décentralisée, de nouveaux besoins de flexibilité, de prévision, d'observabilité des réseaux, et l'implication de nouveaux acteurs, dont les consommateurs, dans la gestion du système électrique. Selon une étude de la Commission de Régulation de l'Énergie sur les perspectives stratégiques dans ce secteur¹, les effets de cette profonde transformation en France et en Europe seront multiples :

- **L'émergence de nouvelles technologies** permettant au consommateur de prendre le contrôle sur son approvisionnement énergétique et sa consommation.
- La généralisation des **systèmes électriques fortement décarbonés**.
- **La modification des grands équilibres des réseaux électriques**, engendrant à la fois un besoin significatif en réseaux et une baisse de leur taux d'utilisation.
- **La nécessité de coordonner les investissements**

de production et de réseaux de transport.

- L'évolution d'un modèle basé sur une architecture descendante des grands réseaux **vers un modèle articulant des zones ayant des enjeux locaux** de gestion de l'équilibre offre/demande.
- Le développement de **nouvelles formes de flexibilité** via des outils décentralisés : stockage, effacement, modulation de consommation, batteries de véhicules électriques, production décentralisée.

> Les Systèmes Électriques Intelligents ou « Smart Grids » en réponse aux enjeux d'évolution du secteur de l'énergie

Issus de la **convergence des technologies des systèmes électriques et des technologies de l'information et de la communication**, les Systèmes Électriques Intelligents - ou « Smart Grids² » - jouent un rôle clé dans la réponse aux enjeux de la transition énergétique et écologique, tout au long de la chaîne de valeur du secteur de l'électricité : production, transport, distribution, consommation et commercialisation. Ainsi, de nombreux pays, dont la France, ont lancé des programmes de déploiement de systèmes électriques intelligents sur leur territoire.

Selon la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie³, les Systèmes Électriques Intelligents « visent notamment à **optimiser les investissements dans les réseaux et à permettre l'insertion massive des productions variables et des véhicules électriques**, via l'utilisation de fonctions avancées de gestion, d'observabilité et de conduite des réseaux offrant plus de flexibilité, ainsi que le pilotage de la demande. L'évolution vers plus d'intelligence des réseaux devrait combiner le déploiement de nouvelles familles d'équipements (capteurs, équipements télé-opérables, équipements de communication, ...), la numérisation des équipements existants et le développement de logiciels et systèmes informatiques capables de traiter les volumes d'informations collectées sur les réseaux. »

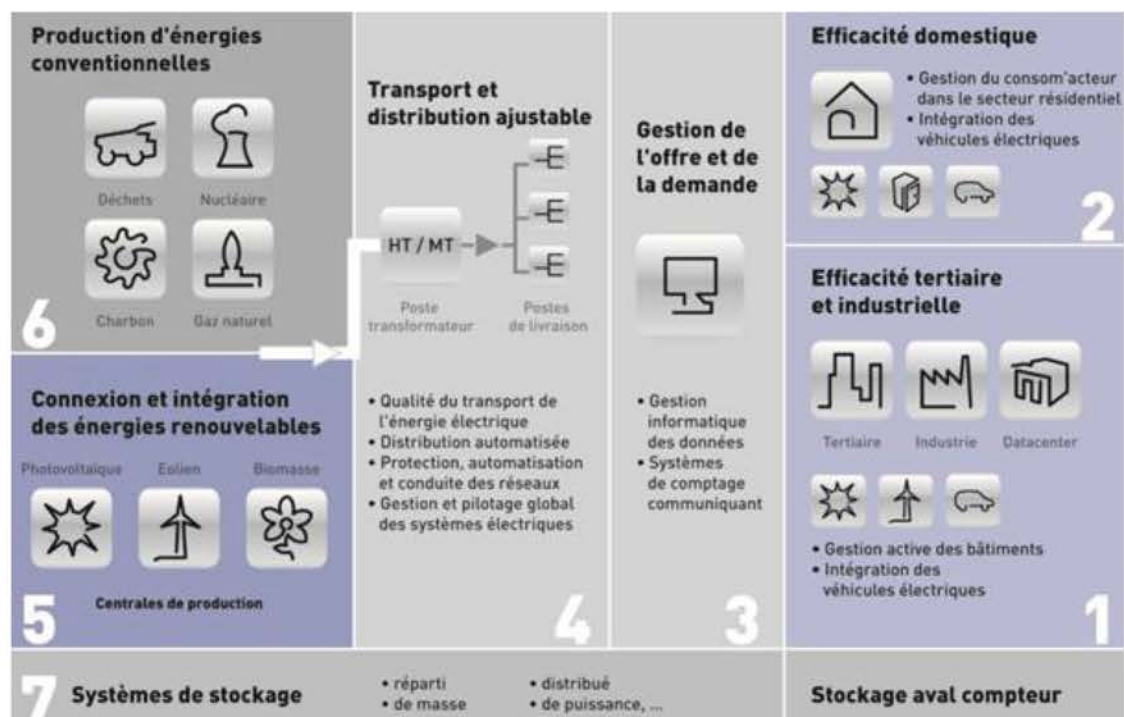
¹CRE, Étude sur les perspectives stratégiques de l'énergie, 2018.

²Dans ce rapport, par défaut, « Smart Grid » utilisé seul se réfère au système électrique.

³Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, volet relatif à la sécurité d'approvisionnement et au développement des infrastructures et de la flexibilité du système énergétique



Zoom La chaîne de valeur technique des Smart Grids



Source : ADEME, Smart Grids : le savoir-faire français, 2015.



Les Smart Grids représentent une opportunité pour :

- Accompagner le **développement des EnR à moindre coût**.
- Proposer de **nouveaux outils de flexibilité de la production variable et de la consommation** afin de limiter le recours à des moyens de production émetteurs de CO₂, de garantir l'équilibre offre/demande en cas d'indisponibilité des ressources variables, et de limiter la congestion et les investissements dans de nouvelles infrastructures de réseau.
- **Favoriser la Maîtrise de la Demande d'Énergie (MDE)** à travers le traitement et la diffusion des données de consommation.
- **Faciliter l'émergence des véhicules électriques** en limitant l'impact de leur charge sur le réseau.
- **Fédérer les dynamiques territoriales** en y intégrant pleinement les citoyens.



> Un savoir-faire français solide et diversifié

L'ADEME, en partenariat avec le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, et en collaboration avec les principaux organismes impliqués dans le secteur des Smart Grids, a publié en 2015 un rapport¹ présentant le savoir-faire français dans ce domaine. Il ressort de cette étude que :

- En France, le développement des Smart Grids est une priorité pour les acteurs publics et privés.
- Le tissu industriel français est bien doté et constitué d'acteurs de toute taille.
- L'expérience française est notamment fondée sur le système électrique développé en France, qui est d'ores et déjà « smart » (forte observabilité et contrôlabilité des réseaux de transport, et certaines fonctions déjà déployées sur le réseau de distribution), performant et compétitif.
- L'expertise française s'appuie sur de fortes compétences en termes d'« ingénierie système », permettant de répondre de manière précise à tout type de besoin.
- L'offre française couvre l'ensemble des briques techniques et commerciales de la chaîne de valeur des Smart Grids. À cela s'ajoutent des compétences spécifiques complémentaires, par exemple dans le développement d'architectures de marché ou en matière de télécommunication et cybersécurité.

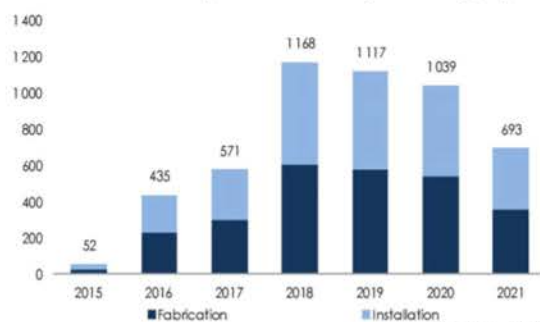
> Une filière créatrice d'emplois en France, l'exemple du déploiement de Linky

Selon une enquête menée en 2018 par Think Smartgrids, l'association professionnelle qui fédère les acteurs français des Smart Grids, le nombre d'emplois dans ce domaine s'élève à 20 000 personnes en France et à la **création d'environ 2000 emplois par an**.

Selon une récente étude de l'ADEME², le déploiement des compteurs Linky représente quant à lui entre 5000 et 10 000 emplois par an en France :

Les emplois associés au déploiement des compteurs Linky (Equivalents Temps Plein)

Marchés liés au déploiement des compteurs Linky (M€)



Source : ADEME

> L'export, une opportunité pour les acteurs français de la filière

Les acteurs français de la filière des Smart Grids disposent de plusieurs avantages compétitifs :

- **La maîtrise de la complexité**, par le déploiement historique de systèmes complexes, à tous les niveaux du réseau électrique.
- **La maîtrise de déploiements de solutions à grande échelle** sur le territoire (e.g. compteurs intelligents, équipements de pilotage).
- **La maîtrise du fonctionnement d'un système électrique fiable**, hautement maintenable, et présentant des taux de disponibilité et de sécurité élevés.

Ces avantages compétitifs sont appréciés par un grand nombre d'acteurs internationaux. Ainsi, les opérateurs de réseaux français RTE (via RTE International) et Enedis (via EDF-IN) exportent aujourd'hui leurs compétences sous la forme d'un accompagnement des gestionnaires étrangers dans l'amélioration de la performance des réseaux, en s'appuyant notamment sur le déploiement des technologies Smart Grids. Quant aux fournisseurs de solutions, ils développent des produits et des services à destination de clients internationaux en fonction des enjeux réseaux à adresser.

¹ADEME, Smart Grids : le savoir-faire français, 2015.

²ADEME, Marché et emplois concourant à la transition énergétique et écologique dans le secteur des énergies renouvelables et de récupération, 2019.



Enjeux réseau	Types de zones concernées	Exemples
Réseau maillé avec un enjeu de gestion de la variabilité, voire de la pointe	Zones développées avec comme principale contrainte réseau de forts enjeux d'intégration des EnR, voire une forte thermosensibilité, et la nécessité de gérer l'apparition de nouveaux usages électriques décentralisés (e.g. production in situ, véhicules électriques)	 Danemark, Portugal, Italie, Allemagne, Royaume-Uni, Espagne
Réseau maillé sous contrainte de capacité et de qualité	Zones développées avec des enjeux historiques de qualité de fourniture et d'amélioration opérationnelle du réseau (réduction des pertes, réduction du nombre / durée des interruptions de fourniture)	 États-Unis, Canada, Australie, Japon
Enjeux forts de développement réseau	Zones en phase de forte urbanisation avec des enjeux de qualité (alignement sur les standards de qualité des pays développés) et d'électrification (convergence vers 100% de couverture électrique)	 Chili, Brésil, Inde, Chine, Afrique du Sud, Algérie, Egypte
Réseau électrique insulaire	Zones à géographie insulaire présentant des enjeux d'autonomie / de sûreté des réseaux, voire d'intégration des EnR	 Philippines, Indonésie, Malaisie
Besoins d'électrification « off grid »	Zones en développement avec un réseau centralisé peu développé (couverture basse) avec une fourniture de qualité faible et présentant de forts enjeux d'électrification localisés	 Tanzanie, Ethiopie, Kenya, Maroc

Zoom

le Comité Stratégique de Filière (CSF) « Industries des nouveaux systèmes énergétiques » s'engage en faveur des Smart Grids

Le contrat du comité stratégique de la filière « Industries des nouveaux systèmes énergétiques » a été signé en Mai 2019. L'objectif du comité est d'assurer le développement du tissu industriel et de fédérer les acteurs de la filière sur des buts communs. Pour ce faire, le comité a réuni près de 270 personnalités qualifiées lors de plus de 50 sessions de travail, avec la volonté d'allier réindustrialisation et soutenabilité de la transition énergétique à travers la compétitivité de l'offre décarbonée et les économies d'énergie.

Les acteurs industriels ainsi mobilisés se sont engagés à déployer un plan d'actions ambitieux qui s'organise autour de 4 axes :

- Axe 1 : Développer une offre d'énergie décarbonée compétitive
- Axe 2 : Construire une industrie française de l'efficacité énergétique et des Smart Grids permettant l'auto-financement de la transition énergétique
- Axe 3 : Engager une reconquête industrielle stratégique
- Axe 4 : Fédérer la filière pour mutualiser objectifs et dynamiques

Sur le volet Smart Grids (Axe 2), les acteurs de la filière « Énergie – Numérique » représentés au sein du CSF proposent de développer un socle numérique visant à standardiser et normaliser les échanges de données, et ainsi accélérer le déploiement de solutions et services énergétiques en France et à l'export.



> **Le système électrique français à l'heure actuelle : un réseau bien maillé et une électricité relativement peu chère**

En comparaison d'autres pays, le système électrique français a plusieurs spécificités :

- La très **grande part du nucléaire** dans son mix.
- Des **prix de l'électricité** pour le consommateur final relativement bas.
- Un système **thermosensible** en raison de l'importance du chauffage électrique.
- Une consommation **très électrifiée dans le bâtiment**.
- Une **précarité énergétique** touchant près de 5 millions de ménages.
- Des gestionnaires de réseaux de transport et de distribution électrique en situation de monopole.
- Des **réseaux bien maillés** et stables sur le territoire métropolitain.
- La décision de déployer des **compteurs communicants** sur 95% du territoire à horizon 2021 pour l'électricité et 2022 pour le gaz.
- Plusieurs **zones non interconnectées** que sont les régions ultramarines, territoires spécifiques en matière d'énergie en raison de leur isolement et de leur faible taille.

Zoom

L'analyse de l'ADEME : Vers l'autonomie énergétique des ZNI (2019)



L'analyse et la comparaison de 5 scénarios construits dans une logique d'optimisation économique sur les territoires de la Réunion, de la Guadeloupe et de la Martinique montrent notamment que :

- Un mix électrique 100% EnR est possible, mais l'échéance de 2030 est difficilement réalisable.
- Une proportion très significative des potentiels EnR devrait être exploitée en cas de conversion en tout électrique des véhicules routiers.
- Le rôle des centrales diesel est fortement réduit dès que l'on développe significativement les EnR.
- La part des énergies variables dans le mix est comprise, à horizon 2030, entre 35% et 73%.
- L'augmentation du taux d'EnR dans les mix énergétiques s'accompagne d'une baisse des coûts de l'énergie produite.



> Les Smart Grids apportent plusieurs bénéfices pour le système électrique français dans une logique de fort déploiement des énergies renouvelables

Une dynamique est engagée pour le développement des énergies renouvelables depuis les années 2010 en France, et s'est intensifiée ces dernières années notamment au travers de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), qui a été approuvée en 2016 puis révisée en 2018. La PPE en cours poursuit l'objectif de doubler la capacité installée des EnR électriques en 2028 par rapport à 2017. Les solutions Smart Grids faciliteront voire permettront l'atteinte de cet objectif sur le territoire français.

Dans un rapport dédié aux réseaux électriques intelligents¹, et suite à un travail collaboratif avec l'ensemble des acteurs de la filière dans le cadre des chantiers de la Nouvelle France Industrielle, le gestionnaire du réseau de transport d'électricité français RTE formule ses principaux enseignements quant à l'apport des solutions Smart Grids en France, d'un point de vue technique, économique et environnemental :

- La contribution à la **gestion de la pointe électrique nationale** constitue l'espace économique principal des solutions de flexibilité Smart Grids.
- La place économiquement pertinente des solutions de flexibilité Smart Grids croît avec l'émergence de **besoins en capacité** pour assurer la sécurité d'approvisionnement.
- Ce besoin peut être couvert par un **panachage des solutions Smart Grids** : effacement/modulation de consommation résidentielle, effacement/modulation de consommation industrielle et tertiaire, batteries, nouvelles STEP¹.
- À horizon 2030, les bénéfices nets associés au déploiement des solutions Smart Grids étudiées peuvent être de l'ordre de **400 m€/an**².
- À horizon 2030, le déploiement des Smart Grids peut réduire les émissions de CO₂ de l'ordre de 0,8 mtCO₂/an, en tenant compte du cycle de solutions déployées².

¹Stations de Transfert d'Énergie par Pompage.

²Ces résultats reposent sur le déploiement de 9 GW de solutions Smart Grids. Ce déploiement se fait dans un cadre de référence donné, en l'occurrence le mix électrique à l'horizon 2030 « Nouveau Mix » du Bilan Prévisionnel 2015 de RTE. Ce mix est assez différent du projet de PPE de début 2020.

³Collectif, Valoriser les flexibilités de production pour intégrer les EnR aux réseaux électriques, 2019.

⁴Région, département, EPCI, métropole, commune, syndicat d'énergie, aménageur.

⁵Think Smartgrids et Smart Energy French Clusters, Recommandations pour des collectivités Smart Grid Ready, 2018.

Par ailleurs, dans une note³ produite par l'UFE, le SER, la FEE, RTE, Enedis et l'ADEEF, et dans l'hypothèse d'un développement des EnR conforme au projet de PPE actuel, les gestionnaires de réseaux ont calculé que :

- Au niveau du réseau de transport, **des gains de l'ordre de 7 milliards d'euros d'ici 2035** sont possibles, en effaçant environ 0,3% de l'énergie produite annuellement par les installations EnR des filières éolienne et solaire à cet horizon.
- Au niveau du réseau de distribution, **des gains de l'ordre de 250 millions d'euros d'ici 2035** seraient permis par l'effacement d'environ 0,06% de l'énergie produite par les nouvelles installations EnR à raccorder d'ici à cette date. À court terme, cela libérerait 2,5 GW de capacités d'accueil, sur les postes qui n'en possèdent plus, et environ 7,5 GW d'ici 2035.

> Les collectivités territoriales envisagent le recours à des solutions Smart Grids dans un contexte réglementaire en pleine évolution

Dans le cadre de l'ancrage de plus en plus local des politiques énergétiques, les collectivités territoriales⁴ doivent tenir compte d'un contexte réglementaire évolutif et s'adapter à de nouvelles stratégies et obligations⁵ :

- **La Loi de transition énergétique pour la croissance verte** (LTECV) qui consacre notamment la possibilité pour les collectivités territoriales et leurs groupements de participer au capital d'une société anonyme ou d'une société par actions simplifiée dont l'objet social est la production d'EnR par des installations situées sur leur territoire (ou l'alimentant énergétiquement) ou de participer au financement d'un projet de production d'EnR.
- **La loi NOTRe** qui crée, en remplacement de schémas sectoriels tels que le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE) ou le plan régional déchets, un **Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité**

des Territoires (SRADDET).

- **La démarche « Territoires à énergies positives »** (TEPOS) qui vise à réduire les besoins énergétiques d'un territoire par la sobriété et l'efficacité énergétique, et à couvrir ces besoins par les énergies renouvelables locales.
- Dès 2015, les conventions « **Territoires à énergie positive pour la croissance verte** » (TEPCV) témoignent de l'importance croissante accordée aux territoires dans la mise en œuvre des objectifs de la transition énergétique. Dans leur prolongement sont lancés des **Contrats territoriaux de Transition Écologique** (CTE) entre l'État et les collectivités territoriales.
- Le **Plan Climat Air Énergie Territorial** (PCAET), visant à atténuer le changement climatique, développer les EnR et maîtriser la consommation d'énergie.

Si les modèles économiques globaux dépendent en grande partie des évolutions tarifaires et réglementaires, la mise en œuvre de solutions Smart Grids génère des bénéfices pour la collectivité autour de quatre enjeux majeurs¹ :

- Relever les défis techniques de l'optimisation des réseaux énergétiques, et exploiter les outils de la révolution numérique.
- Renforcer l'attractivité économique sur des valeurs d'innovation, accéder à un mix énergétique performant, sécurisé, économique, générateur de valeur ajoutée locale et de création d'emplois locaux.
- Accompagner les citoyens vers des comportements énergétiques et écologiques plus vertueux.
- Adopter de nouveaux modes de travail, de gouvernance plus collaboratifs et agiles.

Ainsi, les collectivités envisagent de mettre en place des Smart Grids sur leur territoire, pour en tirer les bénéfices suivants¹:

- **Des bénéfices réseau** : limitation des investissements réseaux, amélioration de la qualité des services apportés par les réseaux énergétiques.
- **L'attractivité économique** : développement du tissu socio-économique et de services urbains innovants

(incluant l'énergie mais aussi le transport, l'éclairage, l'eau, les déchets).

- **La valorisation des données publiques** : diagnostiquer et agir sur les consommations énergétiques, évaluation de l'opportunité de développement d'un projet d'aménagement par rapport au réseau énergétique, dimensionnement de la production et de la distribution énergétique pour un nouveau quartier, création d'un service public local de la donnée.
- **La cohésion territoriale** : rassembler des initiatives territoriales autour de contrats de réciprocité pour créer une synergie énergétique solidaire entre urbain et rural.

¹Think Smartgrids et Smart Energy French Clusters, Recommandations pour des collectivités Smart Grid Ready, 2018.

Zoom

La généralisation des systèmes électriques fortement décarbonés : Une place pour le développement des solutions Smart Grids



« Un mix 100% renouvelable ? », ADEME, 2016

Dans cette étude, l'ADEME a réalisé un travail d'exploration des limites du développement des EnR dans le mix électrique métropolitain et de ses potentielles retombées macro-économiques à horizon 2050.



« Trajectoires d'évolution du mix électrique 2020-2060 », ADEME, 2018

Dans cette étude, l'ADEME analyse les résultats d'une optimisation économique du développement, entre 2020 et 2060, des différentes filières de production électrique intégrées dans le système électrique français, interconnecté avec ses voisins européens.

L'étude explore notamment la place des différentes filières dans le mix, le coût complet de l'électricité, le potentiel de Power-to-X et d'exports d'électricité, le modèle de marché et la stabilité du réseau.

Ces deux études majeures de l'ADEME rappellent :

- L'importance des réseaux de répartition pour obtenir un foisonnement important des diverses ressources renouvelables. Elles rappellent aussi qu'un mix à fort taux de pénétration de renouvelables nécessite de développer des solutions de flexibilité (pilotage de la demande essentiellement). Des hypothèses sur un pilotage de la charge du Véhicule Électrique ont également été prises.
- Le besoin d'étudier des questions relatives aux problématiques réseaux (congestions locales), d'une part, et à la gestion de l'équilibre offre-demande à un pas de temps inférieur à l'heure, d'autre part.

Dans le présent rapport, des premières réponses validées techniquement répondent à ces problématiques.



Comment soutenir l'innovation dans le domaine des Smart Grids ?

Le soutien à l'innovation est nécessaire dans le domaine des Smart Grids afin de :

- Concevoir les méthodologies en rupture, les solutions techniques et les modèles d'affaires de demain.
- Identifier les poches de valeur les plus prometteuses.
- Structurer la filière.

> Divers dispositifs d'aide à l'innovation sont à disposition des porteurs de projets

Les acteurs localisés en France et souhaitant porter des projets innovants dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents disposent de plusieurs leviers permettant de financer les phases amont des projets, sous différentes formes : accompagnement et valorisation des projets, subventions, prêts, garanties, avances remboursables et prises de participation.

Cartographie des principaux dispositifs d'aide à l'innovation à disposition des acteurs basés en France, en lien avec les Systèmes Électriques Intelligents

Entités/Opérateurs	Dispositifs d'aide	Types d'aide			
		Accompagnement & valorisation ¹	Subventions	Prêts, garanties ou avances remboursables	Prises de participation
	LIFE ²		▲		
	HORIZON 2020 ³		▲		
	FEDER ⁴		▲		
	Innovation Fund (DG CLIMA)		▲		
	EFSI ⁵			▲	
	InnovFin ⁶			▲	
	Territoires d'Innovation ⁷		▲		▲
	Appel à projets Générique ⁸		▲		
	Appel à projets spécifiques ⁹		▲		
	Fonds FIEE ¹⁰				▲
	 Fonds Ville de Demain ¹¹				▲
	 Fonds Ecotechnologies ¹¹				▲
	 DTIGA ¹² - PdP ¹³				▲
	AAC Thèses ¹⁴	▲	▲		
	APR (ED et TEES) ¹⁵	▲	▲		
	 DTIGA ¹² - AAP ¹⁶	▲	▲	▲	
	 Concours d'innovation ¹⁷	▲	▲	▲	
Régions	Dispositifs dédiés		▲		

1. Mise en réseau, mise en visibilité, aide au montage de projets.
2. Une partie du programme LIFE finance des projets liés à l'environnement et à l'efficacité des ressources, incluant le développement et la démonstration de technologies innovantes. La Commission Européenne recherche en particulier des technologies et des solutions prêtes à être mises en œuvre dans des conditions proches de celles du marché, à l'échelle industrielle ou commerciale, pendant la durée du projet.
3. Le volet innovation énergétique du programme Horizon 2020 consacre notamment une attention particulière aux projets de Smart Grids et de solutions de stockage. Le programme Horizon Europe succède à H2020.
4. Fonds Européen de Développement Régional. Ce fonds européen vise notamment à soutenir la recherche et l'innovation, la compétitivité et la mutation vers une économie à faible teneur en carbone. Les Systèmes Électriques Intelligents peuvent s'inscrire dans deux des priorités de FEDER : (1) Appuyer la recherche et le développement économique (sous-thème : Recherche et Développement et Innovation), (2) Accompagner la transition énergétique (sous-thème : Transition énergétique).
5. European Fund for Strategic Investments. Fonds conjoint entre la BEI et la Commission Européenne.
6. InnovFin est un programme conjoint de la BEI et de la Commission Européenne (prêts ou garanties), intégré au programme Horizon 2020. Le volet Projets de démonstration liés à l'énergie d'InnovFin permet à la BEI de financer des projets de démonstration inédits et innovants en phase pré-commerciale qui contribuent à la transition énergétique, notamment dans les domaines des énergies renouvelables, des systèmes énergétiques intelligents, du stockage d'énergie et du captage, de l'utilisation et du stockage du dioxyde de carbone.
7. 24 territoires d'ores et déjà sélectionnés, dont 3 projets Smart Grids identifiés à ce jour.
8. Projet de Recherche Collaborative (PRC), Projet de Recherche Collaborative – International (PRCI) Projet de Recherche Collaborative – Entreprises (PRCE), Jeunes Chercheuses ou Jeunes Chercheurs (JCJC). Le volet « Systèmes Électriques Intelligents » est intégré au sein du domaine ScEnerMat et du domaine transverse 8/10.
9. Flash, Challenges, MRSEI, T-ERC, Appels internationaux (ERANets), LabCom, LabCom consolidation, Chaires industrielles, Instituts Carnot.
10. France Investissement Énergie Environnement. Prise de participation au capital de l'entreprise.
11. Prise de participation au capital de l'entreprise.
12. Démonstrateurs et Territoires d'Innovation de Grande Ambition.
13. Prise de participation, ici dans un projet d'infrastructures.
14. Appel à Candidatures Thèses.
15. Appel à Projets de Recherche « Énergie Durable » et « Transitions écologiques, économiques et sociales ».
16. Appel à Projets.
17. Le Concours d'innovation i-Nov a pris la suite de l'Initiative PME.

À noter : [le site Smart Grids CRE](#), développé et alimenté par la Commission de Régulation de l'Énergie, répertorie une grande partie des projets Smart Grids français soutenus par l'ensemble de ces acteurs ainsi qu'un nombre important de dossiers thématiques sur le sujet des réseaux électriques intelligents.

> L'ADEME joue un rôle central dans le soutien à l'innovation

Depuis 2010, l'ADEME soutient l'innovation dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents afin de contribuer activement au développement de solutions (techniques, juridiques, organisationnelles) innovantes et aux propositions réglementaires et aussi dans le but d'aider les acteurs de la filière à se fédérer et de créer de l'emploi sur le territoire français.

Le soutien de l'ADEME à l'innovation dans le domaine des SEI se traduit par différents leviers :

- **L'AAC Thèses** (Appel à Candidature Thèses), soutenu par l'ADEME, vise à renforcer les capacités de recherche au plan national. Les projets de thèse associent un candidat, un laboratoire d'accueil et un partenaire cofinanceur, public ou privé.
- **L'APR ED** (Appel à Projets de Recherche « Énergie Durable »), soutenu par l'ADEME, a été ouvert en 2014, 2015, 2017 et 2018. Il s'adresse à des consortiums d'acteurs publics et privés souhaitant effectuer des travaux de recherche de nature technologique ou méthodologique relevant du domaine de l'énergie durable. Pour ces quatre éditions étaient attendus des projets relevant, entre autres, du domaine des « systèmes énergétiques ». Les recherches éligibles de nature technologique sont les projets de TRL¹ compris entre 4 et 7. En complément de la dimension technique des solutions envisagées, les projets en lien avec les sciences humaines et sociales étaient encouragés.
- **L'APR TEES** (Appel à Projets de Recherche « Transitions écologiques, économiques et sociales »), soutenu par l'ADEME, est dédié aux sciences humaines et sociales et se veut transversal aux différents champs d'action de l'ADEME.
- Le **Concours d'innovation « i-Nov »**, soutenu par le Programme d'investissements d'avenir et opéré par l'ADEME, a pris la suite du dispositif « Initiative PME » à partir de 2017. Le Concours a pour objectif le financement de projets ayant un coût total compris entre 600 k€ et 5 millions d'euros et portés par une PME. Il vise le développement de solutions innovantes proches de la mise sur le marché. Trois vagues du Concours d'innovation (« vague 1 » et « vague 3 » respectivement clôturées en Mai 2018 et Mai 2019 et « vague 5 » en cours) ont visé des projets en lien, entre autres, avec les Systèmes Électriques Intelligents (SEI). De nombreux projets lauréats SEI ont travaillé sur la valorisation des données de type énergétiques.
- **L'AAP** (Appel à Projet), soutenu par le Programme d'investissements d'avenir et opéré par l'ADEME, a été proposé par vagues successives depuis 2010. Le dispositif AAP vise le financement d'innovations pour une mise sur le marché à court terme. Les projets financés doivent permettre de maintenir ou de créer de l'emploi en France, et plus largement de participer au renforcement des avantages compétitifs et stratégiques de la France.



A noter : parmi ces différentes vagues, deux ont concerné plus particulièrement des projets européens. Ces deux vagues, dont la partie française a été financée via le Programme d'investissements d'avenir, font partie du dispositif ERANet Smart Energy Systems² qui regroupe une trentaine d'agences européennes dont l'ADEME³ et dont l'un des objectifs est d'organiser des appels à projets transnationaux afin de faciliter la coopération entre états membres en termes de recherche sur les Systèmes Énergétiques Intelligents.

¹Les TRL (Technology Readiness Level) indiquent le niveau de maturité atteint par une technologie.

²https://www.eranet-smartenergysystems.eu/About/Our_Organisation

³https://www.eranet-smartenergysystems.eu/About/Funding_Partners

Notons par ailleurs la création de **ADEME Investissement** en décembre 2018 dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir. Société détenue à 100% par l'État, elle vise à financer en fonds propres des projets d'infrastructures innovantes dans le domaine de la transition énergétique et écologique aux côtés d'acteurs privés. Sa vocation est de pallier les difficultés de financement des unités dites de « premières commerciales ». Elle est dotée d'une enveloppe de 400 millions d'euros.

Ces différents leviers ont permis de soutenir 66 projets en lien avec les Systèmes Électriques Intelligents depuis 2010, sur l'ensemble du territoire français.

Le Club ADEME International

Ce réseau d'éco-entreprises, piloté par l'ADEME, a pour objectif d'accompagner ses adhérents dans le développement de projets innovants et de partenariats à l'international. Au quotidien, le Club ADEME International soutient ses membres en leur proposant, en liaison avec l'ADEME et les organismes publics, de nombreux services de veille, d'accompagnement et de soutien à l'innovation pour favoriser leur déploiement à l'international dans les domaines de la protection de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Un réseau "ressources" pour les projets

- Soutien au montage de projets internationaux et d'innovation
- Diffusion d'appels à projets et d'informations ciblées dans les secteurs d'activités
- Développement de consortium et de partenariats business

Un outil de visibilité à l'international

- Participation aux événements internationaux majeurs de la Transition Ecologique et Energétique (T2E)
- Co-construction avec Business France du programme international (salons, missions)
- Organisation de réunions de networking géographiques et thématiques, à Paris et en Région

Chiffres clés

140 adhérents

14 lauréats à l'appel à projets
"Innovation pour la Ville Durable en Afrique" de la
DGTrésor

20 nouvelles PME innovantes en 2019

Quelques projets des membres en lien avec les Systèmes Electriques Intelligents

ELUM

Elum energy a livré avec succès le système ePowerControl HFS pour un système solaire et un groupe électrogène à Green Yellow, également membre du Club ADEME International, pour un site industriel à Madagascar. La solution assure la sécurité de l'installation PV et du groupe électrogène en évitant le retour d'alimentation du groupe électrogène et l'alimentation solaire vers le réseau.

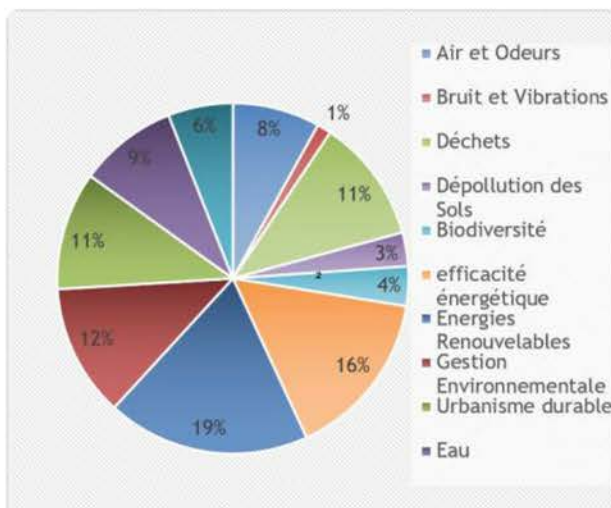
CIAC INTERNATIONAL TECHNOLOGIES

CIAC IT conçoit et étudie des stations autonomes et décentralisées en énergie primaire et ou hybride de 10 à 100 MW. En 2015, CIAC IT en collaboration avec la Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz (STEG) a piloté une étude FASEP financée par la DG Trésor sur la faisabilité de l'installation de 3,5M de compteurs intelligents multi-fluides et réalisée dans le cadre d'une stratégie nationale de renouvellement des compteurs et d'intégration de solutions de type réseau électrique intelligent en Tunisie.

SOLVEO ENERGIE

Après un soutien de l'ADEME Midi Pyrénées pour un premier démonstrateur en France et du Club ADEME International pour le montage du projet au Maroc, le projet a pu être mis en oeuvre avec l'IRESSEN. Le projet Démostène vise à optimiser la production photovoltaïque dans le cadre d'opérations d'autoconsommation, notamment pour des sites où l'injection de surplus de production n'est pas tolérée, ou encore lorsque le réseau électrique national n'est pas stable. Il permet à présent, grâce à des algorithmes de prédiction, de production et de consommation, et d'un système de conversion et de stockage d'énergie, une optimisation de la production photovoltaïque, une réduction des émissions carbone et un gain économique pour le site d'implantation. Le couplage des énergies vertes à un réseau électrique instable permet ainsi d'offrir au consommateur une continuité de service dans sa distribution électrique.

Secteurs de la T2E couverts



> Au-delà du soutien à l'innovation, l'ADEME a un rôle d'expertise et de conseil

Au-delà du soutien à l'innovation, et forte des relations partenariales mises en place¹, l'ADEME remplit également dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents sa mission de conseil aux politiques publiques (afin de faire émerger de nouvelles normes et réglementations) et d'animation de la filière. Ainsi, l'ADEME apporte son expertise et ses conseils aux tutelles, acteurs locaux, entreprises et grand public, en lien avec ses directions régionales, et publie régulièrement des études et des avis sur les thématiques majeures de transition écologique et énergétique dans leurs dimensions techniques, économiques et organisationnelles, y compris dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents, par exemple :



> Au-delà de la phase d'innovation, plusieurs entités soutiennent les projets innovants dans leur phase de déploiement

Plusieurs entités soutiennent le développement des Systèmes Électriques Intelligents dans leur phase de déploiement, en France et à l'international, sous forme de financements directs ou d'accompagnement et de valorisation des projets.

¹ Par exemple, l'ADEME collabore avec l'agence allemande (DENA – Deutsche Energie Agentur) à travers la plateforme énergétique franco-allemande sur le sujet des Smart Grids, en soutien notamment au projet Smart Borders Initiative.

D'autres entités soutiennent le développement des Systèmes Électriques Intelligents en phase de déploiement, en France et à l'international

Entités

Rôle

Financements



Dans le cadre du Plan REI (plan gouvernemental « Réseaux Électriques Intelligents »), RTE et Enedis planifient d'investir chacun jusqu'à **40 millions € dans un premier déploiement de solutions REI à grande échelle** sur les réseaux de transport et de distribution d'électricité

Deux régions ont été désignées comme vitrines industrielles des savoir-faire français dans le domaine des REI :

- Bretagne/Pays de la Loire (Projet « SMILE »)
- Région SUD (Projet « FLEXGRID »)

En complément, RTE et Enedis accompagnent les projets des territoires en lien avec les REI

La DG Trésor soutient les **projets de technologies vertes et/ou innovantes** via le FASEP¹ « Innovation Verte » :

- Dans les pays en développement au potentiel de marché élevé
- Des projets de construction d'infrastructures s'inscrivant dans la stratégie de développement des pouvoirs publics locaux et susceptibles de faire appel à une technologie française
- Une partie du démonstrateur est financée, pour un montant de 100 à 600 k€ environ

Accompagnement et valorisation



Créée en avril 2015, l'association professionnelle Think Smartgrids a pour objectif de **fédérer et de développer la filière française des Réseaux Électriques Intelligents**, et de la promouvoir en Europe et à l'international

Smart Energy Alliance regroupe 10 pôles de compétitivité ainsi que le réseau MEDEE dans les filières de l'énergie, du numérique et de la mobilité.

Smart Energy Alliance a pour objectif de :

- **Consolider et promouvoir** les axes-clés différenciants pour ces filières
- **Renforcer l'accès des entreprises à l'international**
- Être un interlocuteur privilégié des politiques publiques, capable d'**activer les écosystèmes d'innovation au cœur des territoires**



Collectivités territoriales et syndicats d'énergie

Les collectivités territoriales et les syndicats d'énergie soutiennent les projets par :

- La mise à disposition de **locaux** et de **surfaces foncières**
- **L'organisation d'événements** permettant de mettre en valeur les projets et de faciliter les nouveaux partenariats
- **L'aide au développement des projets** en phase d'étude

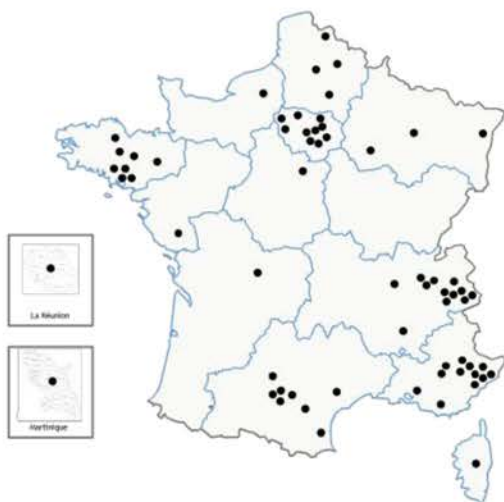
1- Fonds d'étude et d'Aide au Secteur Privé



> De nombreux projets soutenus et des résultats riches en enseignements

Depuis 2010, l'ADEME a accompagné 66 projets Smart Grids répartis sur l'ensemble du territoire français :

Cartographie des projets accompagnés par l'ADEME depuis 2010 dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents¹



Les projets accompagnés par l'ADEME adressent plusieurs thématiques dans le domaine des Smart Grids et permettent de tirer plusieurs enseignements d'un point de vue technique, économique, sociétal, environnemental et réglementaire.

> La nécessité de partager les résultats avec la filière, suite au premier retour d'expérience de 2016

Les premiers retours des 12 projets les plus avancés fin 2015 ont fait l'objet d'une synthèse présentée dans le rapport « [Systèmes Électriques Intelligents : Premiers résultats des démonstrateurs](#) ». Ce premier exercice de capitalisation adressait quatre

thématiques fondamentales :

- Favoriser des actions de maîtrise et de gestion de l'énergie
- Faciliter l'insertion de la production renouvelable décentralisée
- Anticiper l'évolution des réseaux existants
- Préfigurer les modèles d'affaires

L'analyse de ces premiers résultats, servant de socle aux nouveaux projets, a permis d'enclencher une dynamique de partage de résultats au sein de la filière française des Smart Grids, d'envisager de nouvelles avancées et un déploiement plus large de certaines solutions, et d'alimenter la réflexion sur l'évolution du cadre réglementaire et réglementaire.



Le présent rapport poursuit l'exercice de capitalisation amorcé dans le rapport publié en 2016. Il vise à présenter aux acteurs de la filière les résultats publics de l'ensemble des projets clôturés depuis 2010, et en particulier d'identifier :

- **Les solutions testées** dans les projets et qui ont, le cas échéant, fait l'objet de programmes d'industrialisation ou de commercialisation sur le territoire français et au-delà.
- **Les résultats, méthodes, réflexions**, ou tout autre apport au développement des Systèmes Électriques Intelligents.
- **Les défis structurants**, d'ordre technique, économique et réglementaire, restant à adresser pour le déploiement des Systèmes Électriques

¹La cartographie a été construite en représentant chacun des 64 projets (les 2 prises de participation expertisées par l'ADEME pour le Fonds Ecotechnologies opéré par Bpifrance et relevant des SEI ne sont pas indiquées) par un point correspondant à l'endroit où la démonstration de la solution innovante a lieu ; si le projet comporte plusieurs lieux d'expérimentation, tous en France, le lieu d'expérimentation retenu est le premier par ordre alphabétique ; les lieux d'expérimentation sont localisés à la fois en France et hors de France, le projet est représenté par un lieu d'expérimentation sur le territoire français, ou par la localisation du siège de l'entreprise porteuse du projet si le lieu d'expérimentation est unique et hors de France ; si la localisation de l'expérimentation est à la maille région ou département, le point correspondant au projet a été placé au centre de la région ou du département en question. Si l'expérimentation est menée sur toute la France, le point correspondant au projet a été placé au siège du coordonnateur du projet.

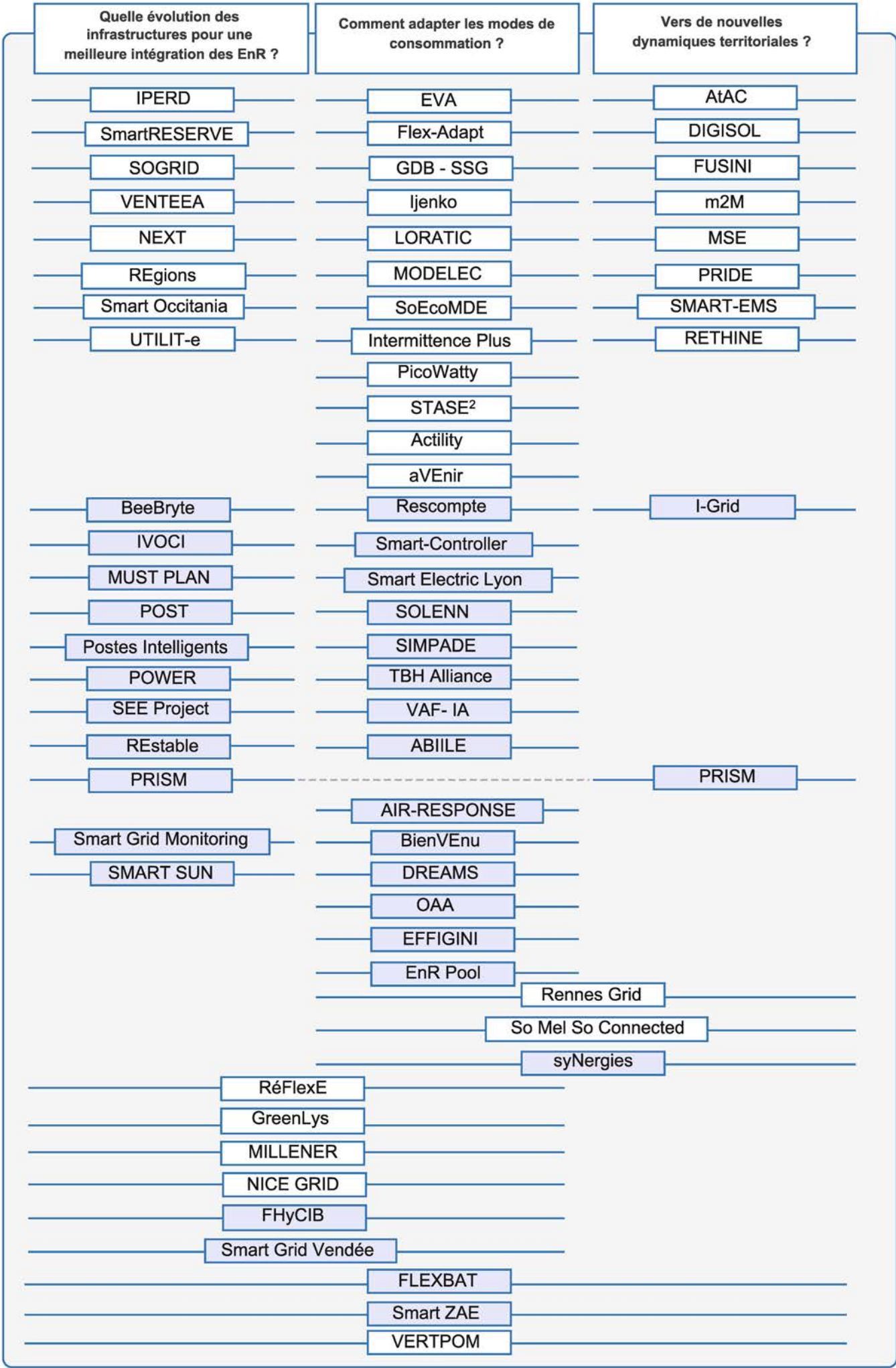
Intelligents en France.

- **Les nouveaux modèles pouvant être porteurs de valeur** dans un contexte d'ancrage territorial des politiques énergétiques, en élargissant la vision au-delà du secteur de l'électricité.

Le rapport est structuré en trois grandes parties :

- Partie 1 : Quelle évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des énergies renouvelables ?
- Partie 2 : Comment adapter les modes de consommation ?
- Partie 3 : Vers de nouvelles dynamiques territoriales ?

Synoptique des projets accompagnés par l'ADEME depuis 2010 dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents



Note : Ce schéma montre les 59 projets soutenus par le Programme d'investissements d'avenir opéré par l'ADEME, les 5 projets soutenus par l'ADEME et les 2 prises de participation (dans Ijenko et Actility) expertisées par l'ADEME pour le Fonds Ecotechnologies opéré par Bpifrance. Les projets sur fond bleu sont détaillés dans le présent rapport, ceux sur fond blanc ne le sont pas.



**Quelle évolution des
infrastructures pour une meilleure
intégration des énergies renouvelables ?**



Quelle évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des énergies renouvelables ?

Les enjeux de l'évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des EnR

Les Systèmes Électriques Intelligents, ou Smart Grids, représentent une opportunité d'innovation pour **accompagner le développement des énergies renouvelables**.

Le développement des énergies renouvelables électriques sera facilité grâce à la gestion et à l'optimisation de trois types d'infrastructures : les unités de production EnR, les réseaux (transport, distribution), et, à un horizon plus lointain ou dans des contextes particuliers, les actifs de stockage¹.

Ainsi, les enjeux de l'évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des EnR sont :



Production EnR

- **Améliorer les prévisions** des moyens de production variables pour mieux gérer l'équilibre du système électrique avec une part importante d'EnR, à coût maîtrisé.
- **Raccorder les EnR au moindre coût et contribuer à la baisse des coûts des EnR.**
- Faire contribuer activement les EnR variables à la stabilité du système électrique et diversifier ainsi les sources de revenus.

Réseau

- **Dimensionner au mieux les réseaux électriques** et limiter les coûts de renforcement et donc les coûts pour la collectivité.
- **Optimiser les opérations de conduite et de maintenance** avec de nouveaux modes de gestion des actifs.
- **Adapter la couche de contrôle-commande**

et de sécurité des réseaux en utilisant des réseaux de communication efficaces techniquement et économiquement.

- Faciliter l'atteinte d'une **part élevée d'EnR variables**.

Stockage

- **Dimensionner les systèmes de stockage** pour permettre le déploiement d'une part importante d'énergie renouvelable dans le mix électrique.
- **Piloter les systèmes de stockage** au sein de systèmes énergétiques locaux.

Les principaux enseignements et les questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016

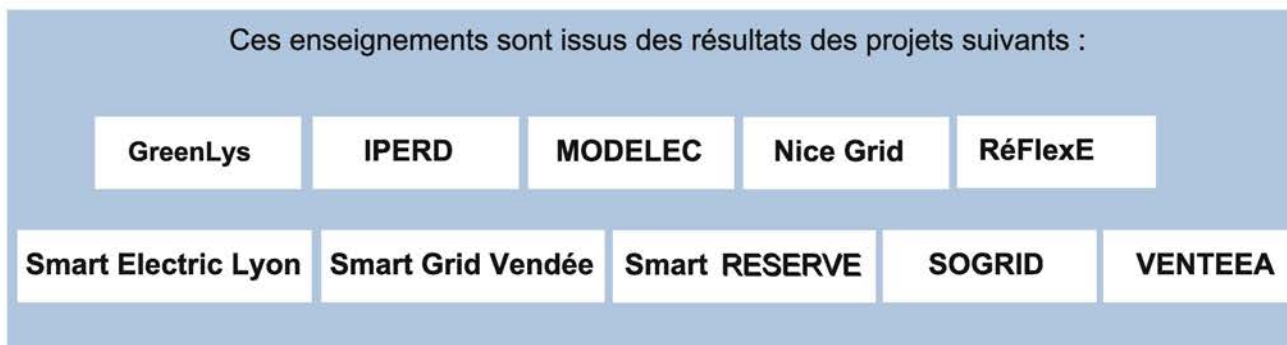
- **Les principaux enseignements du retour d'expérience de 2016**

Le retour d'expérience réalisé en 2016 a permis de formuler les principaux enseignements suivants concernant l'évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des EnR :

¹Le pilotage de la demande est traité dans [la deuxième partie de ce même rapport](#).

- L'écrêtement, l'observabilité du réseau et le réglage plus fin de la tension peuvent permettre d'augmenter significativement les puissances EnR raccordables notamment au réseau de distribution.
- La mise en œuvre d'écrêtage de production dynamique (activé uniquement lorsque des contraintes temporaires apparaissent sur le réseau) doit faire l'objet de règles spécifiques afin de ne pas induire une discrimination entre les producteurs raccordés sur un même poste source (concernant l'ordre dans lequel les producteurs sont écrêtés par exemple).
- Il est nécessaire de mettre en place un cadre réglementaire pour permettre et valoriser économiquement les écrêtements de production EnR.
- Les progrès de prévision de production EnR et de consommation amélioreront la gestion locale du plus petit réseau, favoriseront une consommation locale et limiteront les renforcements réseau.
- Les nouveaux SI permettent une gestion du réseau plus dynamique et plus proche des limites du système.
- Plusieurs briques technologiques permettant de moderniser le réseau ont été validées (e.g. PCCN, capteurs de tension et de courant, transformateurs régulateurs en charge pilotés).
- Le stockage peut intervenir à différents niveaux, en proposant plusieurs services ; par sa flexibilité, il favorise l'insertion des EnR.
- La création d'un statut d'opérateur de stockage est indispensable à son développement.
- Les contraintes de cybersécurité et d'interopérabilité doivent être prises en compte dans le déploiement des Smart Grids.

Ces enseignements sont issus des résultats des projets suivants :



• **Les principales questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016 et les projets accompagnés pour chercher à y répondre**

Suite au retour d'expérience de 2016, l'ADEME a souhaité poursuivre l'accompagnement et/ou le cofinancement des travaux de recherche pour répondre notamment aux grandes questions suivantes :

- **Comment améliorer les prévisions de production EnR ? Comment permettre aux centrales EnR d'offrir des services de flexibilité au système électrique ?**
- **Quelles nouvelles technologies déployer pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau ? Comment s'assurer de la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques ? Comment mieux modéliser et simuler les réseaux ?**
- **Comment dimensionner le stockage distribué et le piloter au sein de systèmes énergétiques locaux ?**

Les résultats du retour d'expérience de 2020

1.1. Comment améliorer les prévisions de production EnR ? Comment permettre aux centrales EnR d'offrir des services de flexibilité au système électrique ?

Les résultats ont été catégorisés selon le type de solutions que les projets ont développé : des solutions d'efficacité énergétique, des solutions de pilotage de la demande, ou des solutions combinées.

1.1.1. Améliorer les prévisions de production	1.1.2. Offrir des services de flexibilité au système électrique
REstable	REstable
SEE Project	Smart Grid Vendée
	SMART SUN

1.1.1. Améliorer les prévisions de production

Les résultats du projet REstable (2016-2019)¹

REstable	Description des solutions	Le projet REstable a permis de développer des modèles de prévision pour la production individuelle et la production agrégée des centrales intégrées dans une « centrale virtuelle » ² .
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques du terrain d'expérimentation</u> - Les tests ont été réalisés en grandeur réelle sur une centrale virtuelle composée uniquement de centrales de production EnR : 4 centrales photovoltaïques pour un total de 8 MW et de 13 centrales éoliennes pour un total de 264 MW répartis entre la France et l'Allemagne. - L'enjeu pratique pour une agrégation à partir d'EnR consiste à prévoir un niveau de production agrégée qui maximise sa disponibilité (les critères de disponibilité étant très stricte dans le cadre des services systèmes) – Cette disponibilité est directement liée à la fiabilité du modèle de prévision EnR; il s'agit donc de prévoir les extrêmes de production agrégée.
	Apports des solutions	Publication de travaux sur la fiabilité des prévisions de production agrégées (premiers travaux sur le sujet)³ : les prévisions, de nature probabiliste, ont été améliorées pour obtenir un niveau de fiabilité élevé (disponibilité au-delà de 99% du volume de réserve durant toute la durée de livraison grâce à l'amélioration de la prévision de production agrégée).

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

²Une centrale virtuelle électrique est une agrégation d'unités de production, voire de consommation ou de stockage d'électricité sur le réseau, coordonnées via un système de régulation commun. Une centrale virtuelle a pour objectif de valoriser l'électricité de manière agrégée.

³Prévision et optimisation de l'offre de services système par des énergies renouvelables, Thèse de Simon Canal, 2020.

Les résultats du projet SEE Project (2017-2018)

SEE Project	Description des solutions	Le projet SEE Project a permis de développer de nouvelles fonctionnalités sur le voisinage (centrales environnantes) et la modélisation de production dans le logiciel PVSOFT, pour des centrales de production solaire photovoltaïque. La prévision de production vise : • Pour un producteur, à prévoir la production de son installation, à un coût compétitif. D'autre part, dans le cas du marché des services système de RTE, un producteur photovoltaïque pourrait fournir à l'échelle d'un territoire un service de centrale virtuelle, en utilisant le foisonnement des centrales. Ce service nécessiterait cependant un accès en commande sur les centrales, ce qui n'est pas le cas de toutes les centrales suivies par PVSOFT. • Pour le gestionnaire de réseau, notamment dans des territoires contraints (ZNI, Bretagne, PACA), à faire appel au service de prévision pour gérer ses lignes et les flux sur le réseau, à une maille fine.
	Périmètre et hypothèses	<u>Zone géographique</u> • Île de la Réunion
	Apports des solutions	• En intégrant des mesures issues de capteurs au sol, proches de la centrale dont la production doit être prévue, le modèle de prévision devient « territorialisé », ce qui permet d'améliorer sensiblement la performance de la prévision de production sur les premières heures (horizon 1 à 3 heures). • Un producteur peut notamment avec un tel logiciel, à très court terme, se positionner sur le marché des appels d'offre CRE ZNI, avec une prévision territorialisée. • Le porteur de projet a industrialisé la solution.

1.1.2. Offrir des services de flexibilité au système électrique

Les résultats du projet REstable (2016-2019)¹

REstable	Description des solutions	Le projet REstable a permis de développer ou améliorer quatre technologies : • Un outil de prévision de disponibilité des réserves pour les centrales virtuelles renouvelables. • Un outil de participation aux enchères en vue d'assister les opérateurs de la centrale virtuelle pour la vente d'énergie et de services système sur les marchés européens de l'électricité et des réserves. • Un outil de centrale virtuelle composée exclusivement de centrales de production d'EnR variables. • Des infrastructures d'information et de communication, ainsi que des automates en protocoles ouverts permettant la mesure, le calcul d'une référence de production et le contrôle-commande à la fréquence adéquate à la fourniture de services système en fréquence.
----------	---------------------------	--

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

Services système testés

- Les services systèmes testés sont des services en fréquence : FCR, FRR et RR¹ (FCR et FRR via un signal simulé, RR via des tests dans la procédure standard entre un agrégateur (ici Hydronext) et RTE).

Caractéristiques du terrain d'expérimentation

- Les tests ont été réalisés en grandeur réelle sur une centrale virtuelle composée uniquement de centrales de production EnR : 4 centrales photovoltaïques pour un total de 8 MW et de 13 centrales éoliennes pour un total de 264 MW répartis entre la France et l'Allemagne.

- La fourniture de services système en fréquence à partir d'une centrale virtuelle européenne a été prouvée.
- La qualité de fourniture de ces services à partir d'une centrale virtuelle uniquement composée de centrales EnR est proche de celle d'une centrale virtuelle avec unités conventionnelles.
- Des tests relatifs à la RR (Mécanisme d'Ajustement) ont été réalisés en conditions commerciales réelles via le dépôt d'offres sur le marché d'ajustement et en ont permis d'obtenir un revenu supplémentaire pour les centrales impliquées.
- L'outil d'enchères suggère des enchères possibles basées sur
 - o Des scénarios de production
 - o Des scénarios d'écart de prix entre énergie et services système
 - o Des stratégies liées à la tolérance au risque de l'opérateur
- Un système de contrôle de la centrale virtuelle est chargé **d'afficher l'état et la production des centrales connectées et d'envoyer des consignes individuelles** à l'ensemble des centrales pour obtenir le volume global de régulation de puissance désiré au niveau de la centrale virtuelle.
- Les **quatre technologies citées sont matures et peuvent être déployées** dès aujourd'hui.
- Les **outils d'enchères et de centrale virtuelle ont été commercialisés** avant même la fin du projet.

¹Frequency Containment Reserve, Frequency Restoration Reserve, Restoration Reserve.

Les résultats du projet Smart Grid Vendée (2013-2018)¹

Smart Grid Vendée	Description des solutions	Le projet Smart Grid Vendée a permis de tester et de valider une chaîne technique complète d'activations de flexibilités (consommation et production) avec l'ensemble des parties prenantes clés : autorité concédante, gestionnaires de réseaux, agrégateurs et offreurs de capacité, fournisseurs de solutions. Par ailleurs, le projet a testé 3 Offres de Raccordement Intelligentes pour les producteurs en HTA, permettant de raccorder les producteurs plus rapidement et à coût réduit en contrepartie de limitations ponctuelles de production encadrées par de nouveaux types de contrats.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques du démonstrateur physique</u> • Déploiement de capteurs et d'actionneurs sur 120 bâtiments publics et 40 armoires d'éclairage public² • Mise à niveau des équipements en place sur des sites de production renouvelable (4 parcs éoliens et 4 centrales photovoltaïques) afin de pouvoir passer des ordres de flexibilités • Mise à niveau de 5 postes en technologie numérique ; déploiement de capteurs tension-intensité sur le périmètre de ces postes sources ; déploiement anticipé de compteurs Linky sur toutes les ressources du démonstrateur • Installation de 2 stations météorologiques dédiées à la prévision fine de production renouvelable <u>Caractéristiques de la chaîne technique d'activations de flexibilités et des tests réalisés</u> • La chaîne technique intègre les ressources de production et de consommation, l'agrégateur technique public, l'agrégateur commercial, les gestionnaires de réseau de distribution et de transport. • Les tests ont été réalisés en conditions réelles d'activations de flexibilités sur contraintes simulées pendant 3 hivers de tests.
	Apports des solutions	• En agréant des données initialement diffuses sur le terrain en une information consolidée et unifiée au sein de portails, les solutions logicielles ont permis leur exploitation tant en supervision qu'en activation. En ce sens, les technologies déployées ont largement contribué à l'amélioration des échanges d'informations entre les producteurs et le réseau. • Une Offre de Raccordement Intelligente permet au producteur des coûts et des délais de raccordement réduits par rapport à une offre de référence : en moyenne, un gain de 90 000 €/MW et un délai réduit de 7 à 10 mois.

¹Ce projet est également traité dans [la partie 2.1.2 de ce même rapport](#). De plus, il a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

²Les résultats de ce volet du projet sont traités dans [la partie 2.1.2 de ce même rapport](#), sous la thématique pilotage de la demande.

Vues synthétiques du portail d'agrégation technique développé par GE dans le projet Smart Grid Vendée

Localisation des sites



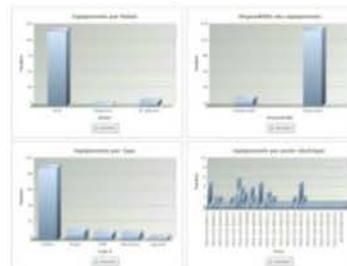
Localisation des flexibilités



Monitoring des événements



Monitoring des devices



Crédit image : General Electric Company, 2019.

Zoom sur les Offres de Raccordement Intelligentes bientôt industrialisées par Enedis

Expérimentées dans le cadre du projet Smart Grid Vendée, elles sont testées depuis 2017 avec EnergieTeam sur le parc éolien de Chauché et avec Vendée Energie sur la centrale photovoltaïque de Talmont-Saint-Hilaire en Vendée.

Deux offres seront prochainement industrialisées :

- Une offre où le producteur EnR **peut injecter en permanence, une puissance minimum sur le réseau**. Néanmoins, à chaque fois que le réseau le permettra, le producteur EnR pourra injecter davantage. C'est l'offre expérimentée sur le parc éolien de Chauché avec EnergieTeam.
- Une offre où **Enedis s'engage sur un volume maximal de limitations, sous forme d'une quantité d'énergie écrêtée maximum annuelle**. Ainsi, le producteur EnR pourra traduire facilement, en termes financiers, cette énergie non injectable dans l'économie de son projet

Cette dernière offre a été testée avec succès par Vendée Energie, sur la centrale photovoltaïque Talmont Saint-Hilaire, en 2017. Située sur le littoral vendéen, son coût de raccordement de référence, à près de 3,3 km de la centrale, atteignait les 494 000 euros, près de 10% du budget total de 5 millions d'euros. Un coût jugé prohibitif, qui remettait clairement en cause la construction de la centrale en elle-même.

Les offres de raccordement intelligentes permettent aux nouveaux producteurs de réduire leur facture (gain de 90 000 €/MW en moyenne) et le délai de raccordement (délai réduit de 7 à 10 mois).

À horizon 2030, Enedis estime pouvoir, grâce à ces nouvelles solutions, **raccorder sur le réseau existant 720 MW d'énergies renouvelables supplémentaires**.

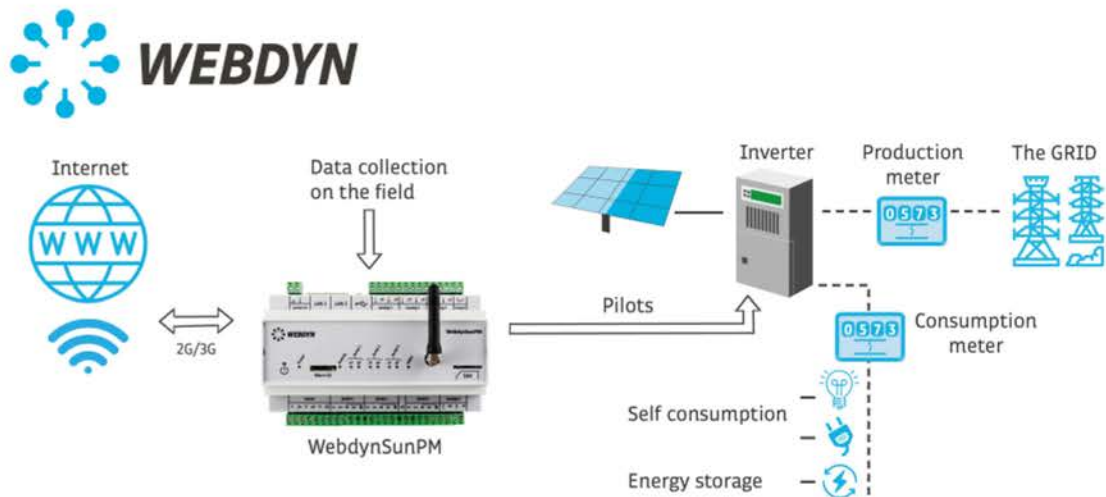
Source : Enedis, Offres de Raccordement Intelligentes.



Les résultats du projet SMART SUN (2017-2018)

SMART SUN	Description des solutions	Le projet SMART SUN a permis de développer une nouvelle passerelle de communication (WebdynSUN PM) qui intègre des fonctions d'asservissement de la production EnR. Il s'agit d'ajuster la production des centrales solaires selon les besoins locaux d'équilibre du réseau (offre/demande), en pilotant les onduleurs présents sur les sites de production en fonction de critères issus de l'opérateur ou de l'exploitant.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques de l'asservissement</u> L'asservissement de l'injection est assuré par un interpréteur de scripts. À partir d'un serveur distant, l'exploitant pourra télécharger un script ou scénario sur mesure qui sera exécuté en temps réel. D'un point de vue fonctionnel, un script peut être réduit à un ensemble de déclencheurs et à un ensemble de fonctions. • Un déclencheur peut être interne à la passerelle (e.g. heure, état d'une alarme interne), externe à la passerelle (e.g. variable d'un onduleur), ou issu du système d'information. • Une fonction est une action qui peut agir sur les équipements connectés à la passerelle (principalement l'onduleur) ou à un transfert vers le système d'information. <u>Système d'exploitation et d'exécution des scripts</u> La passerelle WebdynSUN PM est basée sur un cœur Linux de dernière génération.
	Apports des solutions	• Les services de modulation de l'injection proposés par WebdynSUN PM permettent d'améliorer les échanges entre le producteur et le gestionnaire de réseau de distribution : - o Ces services peuvent être utilisés par l'opérateur ou l'exploitant d'une installation photovoltaïque. - o En France, l'opérateur Enedis a mis en place un Dispositif d'Échange d'Informations d'Exploitation (DEIE) entre Enedis et un Site de Production raccordé sur le Réseau Public de Distribution HTA. Ce dispositif, à partir d'entrées sorties « tout ou rien » ou analogiques, permet de piloter la production injectée. - o En fonction des ordres reçus par le système DEIE, la passerelle WebdynSUN PM pilote les onduleurs pour réguler la puissance injectée. • La plateforme est un outil simple et efficace pour la gestion et la planification des réseaux. • La passerelle est un système ouvert qui peut être totalement personnalisé en fonction d'un besoin local. • Le porteur de projet a industrialisé la solution.

Schéma de fonctionnement de la plateforme WebdynSUN PM



From local, external or IS information, the WebdynSunPM modulates the power injected into the grid

Crédit image : Webdyn.



reseaux.photovoltaique.info : un site pédagogique sur les enjeux de raccordement pour les producteurs PV

Créé en 2007 par l'association Hespul, le CRPV (Centre de Ressources sur le PhotoVoltaire) a pour but de rendre accessible à tout un chacun des connaissances qui évoluent rapidement, de diffuser une information objective et indépendante et d'éclairer les choix des citoyens, des entreprises et des collectivités, dans un objectif d'accélération du développement du photovoltaïque.

Avec le soutien de l'ADEME, Hespul a mis en ligne le site reseaux.photovoltaique.info pour informer et donner des outils aux porteurs de projets concernant :

- Le photovoltaïque dans le réseau électrique
- L'approche territoriale du photovoltaïque
- Les enjeux du raccordement des producteurs
- La propriété et le financement des réseaux publics

1.2. Quelles nouvelles technologies déployer pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau ? Comment s'assurer de la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques ? Comment mieux modéliser et simuler les réseaux ?

Les résultats ont été catégorisés selon les objectifs des solutions développées par les projets : déployer de nouvelles technologies pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau, assurer la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques, modéliser et simuler les réseaux.

1.2.1. Déployer de nouvelles technologies pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau Vision "système" Postes Intelligents SOGRID Vision "équipements unitaires" POWER Smart Grid Monitoring	1.2.2. Assurer la qualité des données remontées par les nouveaux systèmes numériques IVOCI	1.2.3. Modéliser et simuler les réseaux POST
---	--	--

1.2.1. Déployer de nouvelles technologies pour améliorer l'observabilité et la contrôlabilité du réseau

Les technologies testées avec une vision « système »

Les résultats du projet Postes Intelligents (2016-2019)¹

Postes Intelligents	Description des solutions	Le projet Postes Intelligents a permis de développer des composants numérisés pour les infrastructures de réseau HTB dans les postes électriques, notamment pour le contrôle-commande, les matériels haute tension, le monitoring et les automates de zone.
	Périmètre et hypothèses	Situés en Picardie dans une zone à très forte densité de production éolienne (et peu de consommation locale) le poste 225/90/20 kV de Blocaux et le poste 90/20 kV d'Alleux sont des sites précurseurs propices à l'expérimentation in situ en grandeurs réelles.
	Apports des solutions	<u>Les grandes fonctions des Postes Intelligents</u> - Estimation d'état locale - Gestion des incidents - Surveillance et mesure des conditions ambiantes en conduite-exploitation - Surveillance et mesure des conditions ambiantes pour la maintenance - Configuration dynamique à distance et gestion des données - Interopérabilité CEI 61850 - Fibre optique et réseaux de communication haut débit déployés dans le poste source

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

- Interface HTB/HTA (coopération GRT/GRD)¹

Le Poste Intelligent développé permet **des gains fort en maintenance et en exploitation** du système électrique :

- D'avoir **une connaissance plus fine de l'état du réseau et de son environnement** en temps réel (e.g. paramètres électriques mais aussi mécaniques, thermiques, climatiques, physico/chimiques...) ainsi que des équipements du poste permettant une maintenance prédictive.
- Une meilleure intégration des énergies renouvelables via par exemple l'augmentation de la puissance des lignes grâce à des outils de surveillance numérique et optique (Dynamic Line Rating). En utilisant les données météo pour augmenter les capacités des lignes existantes, on réduit l'investissement dans de nouvelles infrastructures.
- De pouvoir accueillir jusqu'à 30% d'électricité supplémentaire issue des EnR, à infrastructure égale, selon les estimations de RTE.
- La géolocalisation des incidents à distance.
- In fine, d'optimiser le réseau électrique, i.e. de **fonctionner plus près des limites physiques du système** en augmentant la capacité de transit du réseau.
- Les technologies déployées dans le poste et les postes environnants permettent de réaliser du **Dynamic Line Rating** (DLR)²

Zoom

Une démarche d'industrialisation portée par RTE, à partir du projet « Postes Intelligents »

Le projet « Postes Intelligents » a permis notamment à RTE :

- De développer, tester et valider des briques technologiques et fonctionnalités pour quatre « Postes Nouvelle Génération » situés en Bretagne-Pays de la Loire (Bezon, Merlatière, Malestroit, Palluau). Ces Postes Nouvelles Génération (PNG) font partie du plan « Réseau Electriques Intelligents » REI 6 et seront mis en service entre 2020 et 2025.
- De concevoir les futurs paliers de contrôle-commande de poste, en particulier R#Space (RTE Smart Protection Automation and Control Ecosystem).



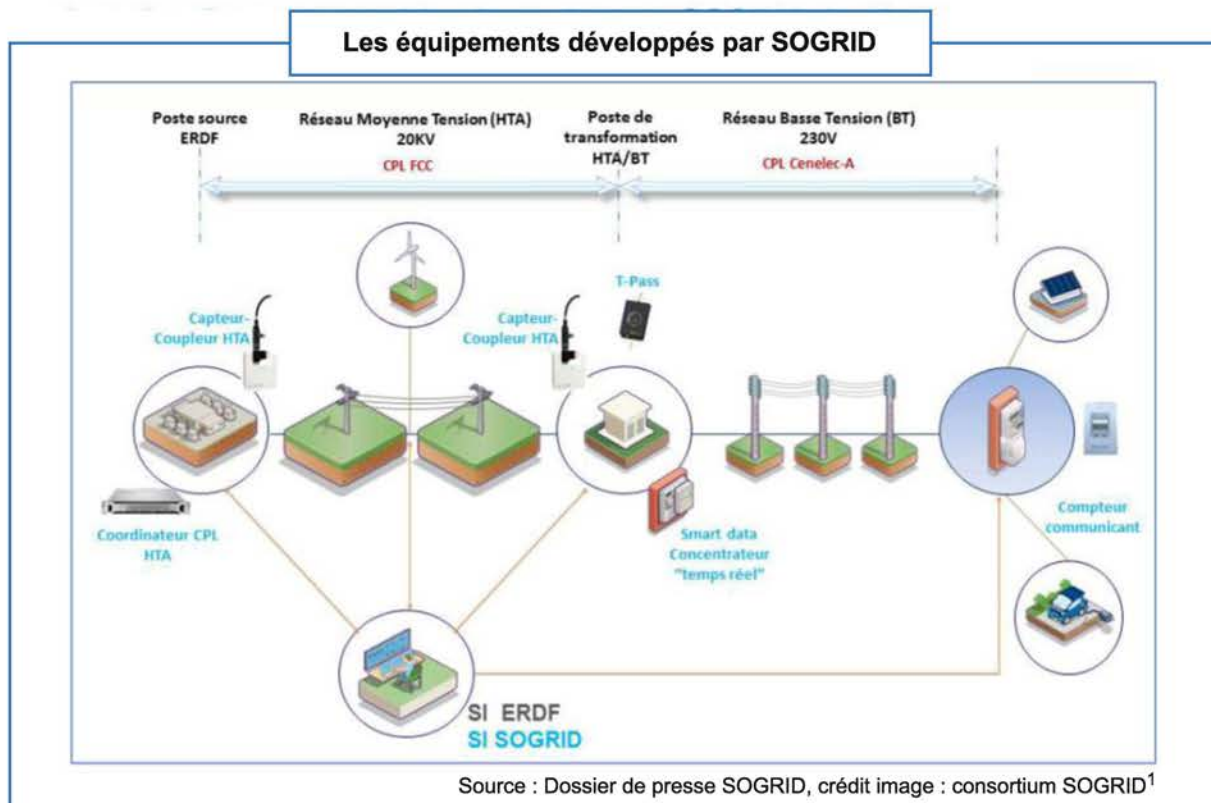
¹Le projet a également montré que la numérisation de l'interface entre le réseau public de transport et celui de distribution n'était pas une solution industrialisable à grande échelle en raison de la variété des systèmes de contrôle-commande.

²Le DLR est un système de monitoring des lignes qui permet de déterminer la puissance maximale pouvant transiter par une ligne en temps réel, en relation notamment avec sa limite thermique. Ainsi, par exemple, en cas de vents importants, les lignes étant alors refroidies, le DLR pourrait permettre une augmentation de la capacité des lignes et donc faciliter le transit d'énergie produite à partir des éoliennes localement.

Les résultats du projet SOGRID (2016-2019)¹

SOGRID	Description des solutions	Le projet SOGRID a permis de : • Développer puis de tester en conditions réelles une chaîne globale de communication par Courant Porteur en Ligne de 3ème génération (CPL G3) sur l'ensemble du réseau de distribution (1ère mondiale). - o 5 nouveaux équipements de télécommunication et de mesure (Sagemcom, Nexans et Landis+Gyr) ont été entièrement développés à partir d'une puce électronique innovante (STMicroelectronics), non certifiée en début de projet. - o Validation (Trialog et LAN) de l'interopérabilité d'équipements variés, développés dans le cadre du projet et provenant de différents partenaires (Nexans, Sagemcom et Landis+Gyr), sur de nombreuses couches protocolaires. • Développer des fonctionnalités avancées (Grenoble INP et Ecole Polytechnique) conçues sur cette nouvelle chaîne globale de communication permettant d'améliorer l'observabilité et la commandabilité des réseaux électriques et de télécommunication. Il s'agissait, en particulier, d'implémenter et d'expérimenter une fonctionnalité de supervision temps réel du réseau basse tension délocalisée dans les postes sources (1ère mondiale).
	Périmètre et hypothèses	<u>Lieu de l'expérimentation</u> • Toulouse <u>Périmètre technico-fonctionnel</u> • 1000 clients équipés de compteurs Linky G3 • 2 Postes Sources • 5 départs HTA • 26 postes HTA/BT
	Apports des solutions	• Les tests réalisés ont validé : - o La chaîne CPL-G3 (en aval du concentrateur) et les services réseau associées - o Les bonnes performances et la qualité de transmission du CPL G3 - o La stabilité dans le temps de ces performances avec des tests de fonctionnement dans la durée sur 24h sur le réseau • L'estimateur d'état temps réel BT permet : - o Une remontée de l'état d'un réseau BT avec un pas de temps 10 minutes et paramétrable à 5 minutes - o Un algorithme de calcul d'estimation nécessitant un panel de mesures suffisant et une optimisation de la sélection des points de mesures et du choix de modèle pour les réseaux électriques - o L'obtention du profil de tension de la grappe BT (moyenné avec une erreur moyenne < 1%) et de la charge au niveau du transformateur HTA/BT (puissances) concerné ❗ Note : concernant l'usage du CPL pour communiquer en amont du concentrateur (<i>CPL Large Bande ou Broadband Power Line</i>, CPL HTA...), les tests de propagation des signaux CPL-G3 en HTA en milieux urbain et rural (essais de connectivité, tests de robustesse) ont montré qu'il s'agissait d'une solution technique potentiellement intéressante dans certains rares cas, mais à des coûts élevés à la maille France.

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.



Les technologies testées avec une vision « équipements unitaires (capteurs) »

Les résultats du projet POWER (2016-2017)

POWER	Description des solutions	Le projet POWER a permis de développer : • Une pince watt-métrique mono-conducteur sans contact et donc non intrusive qui permet de mesurer tension absolue, courant absolu et déphasage courant-tension sur n'importe quel câble isolé. • Un algorithme de traitement de données qui permet de « débruiter » efficacement un signal de mesure brut tout en fournissant de manière précise la fréquence du fondamental (précision supérieure au mHz pour l'acquisition d'un signal à ~50 Hz sur moins de 3 s) et le contenu harmonique du signal (amplitude et phase de chaque harmonique) même en présence d'un rapport signal sur bruit très faible (< 5).
	Périmètre et hypothèses	<u>Niveaux de tension concernés</u> • Tensions d'alimentation domestiques (240 V monophasé) et industrielles
	Apports des solutions	La pince watt-métrique sans contact permet : • Un monitoring simplifié des réseaux en milieu industriel car la mesure ne nécessite pas d'habilitation électrique et l'ouverture d'armoire électrique ou le retrait de carter de protection d'une machine n'est pas nécessaire. • La réalisation d'audits et d'opérations de maintenance préventive à coût réduit sans interruption du process industriel.

¹Les solutions ont été développées par les entreprises suivantes : T-Pass – Nexans ; compteur communicant -Landis+Gyr ; smart data concentrateur – Sagemcom ; capteur coupleur HTA – Nexans ; coordonnateur CPL HTA – Sagemcom.

Les résultats du projet Smart Grid Monitoring (2016-2019)

Smart Grid Monitoring	Description des solutions	Le projet Smart Grid Monitoring a permis de développer des solutions qui permettent d'améliorer l'observabilité des réseaux HTA. Les capteurs connectés innovants développés, se branchent sur les câbles du réseau moyenne tension via une solution de coupleur non intrusif. Ils permettent d'accéder à la signature de chaque liaison câblée et d'apporter une méthode de surveillance permanente et en temps réel du réseau.
	Périmètre et hypothèses	<u>Périmètre d'application des capteurs</u> • Câbles HTA en priorité (le réseau HTA est à l'origine de 80% du critère « temps moyen de coupure par client ») • Câbles enterrés • Difficulté d'accès et enjeu de localisation <u>Technologies associées aux capteurs</u> • La technologie MCTDR (Multi Carrier Time Domain Reflectometry) est utilisée. Cette technologie est une évolution et une amélioration de la technique de réflectométrie TDR connue depuis plusieurs dizaines d'années. • Les capteurs peuvent communiquer soit en filaire (Ethernet, ...) soit avec une liaison radio (GSM, LORA, SIGFOX, ...).
	Apports des solutions	Les capteurs développés permettent d'accéder à la signature d'un câble sur des segments de plusieurs kilomètres. L'analyse de cette signature permet de détecter et de localiser (à une centaine de mètres près) des défauts permanents ou fugitifs. Les défauts fugitifs sont souvent des précurseurs d'un défaut franc et donc d'une rupture de ligne. La solution permet plus précisément : • La remontée en temps réel et à distance de tous les incidents (e.g. défaillance technique, détérioration par des tiers). • La localisation automatique des incidents, permettant une intervention ciblée pour une remise en service plus rapide des ouvrages. • La localisation de branchements pirates, permettant de lutter contre le vol d'énergie. • La localisation de raccordements non conformes.

Les résultats du projet IVOCI (2017-2018)

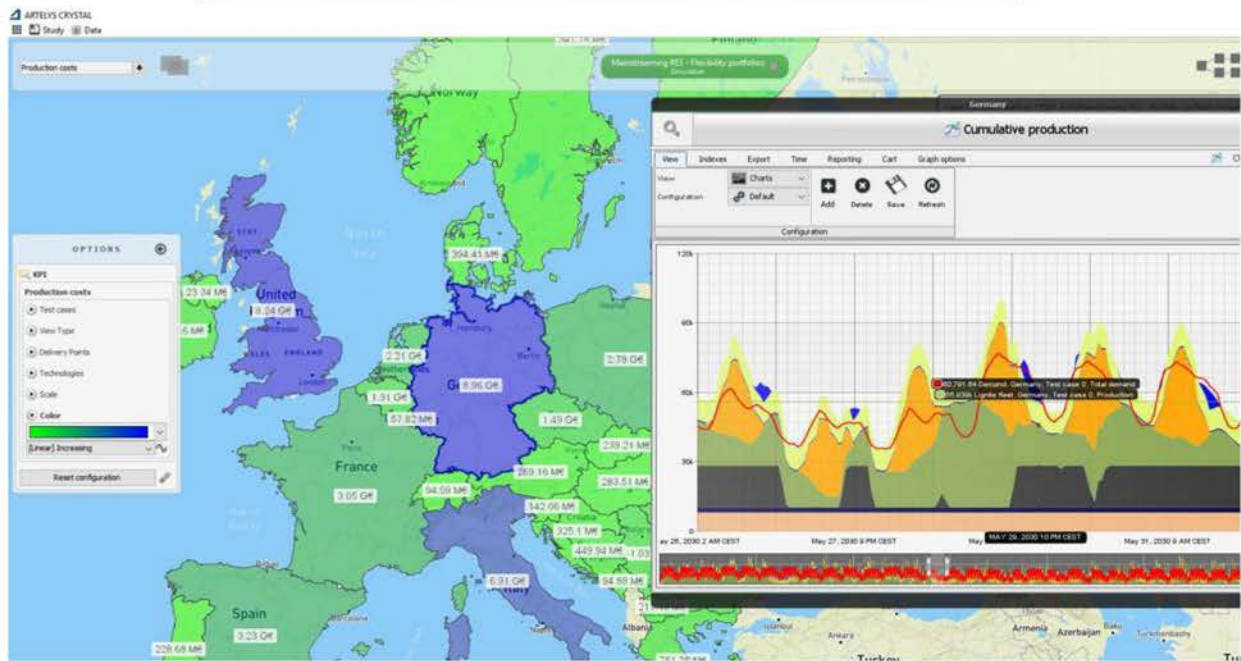
IVOCI	Description des solutions	Le projet IVOCI a permis de développer une brique technologique de détection d'anomalies présentes dans les mesures issues des capteurs qui équipent les réseaux énergétiques (gaz, électricité, eau, chaleur). Cette brique technologique est venue enrichir un logiciel déjà existant et dédié à la modélisation et à l'optimisation de réseaux physiques.
	Périmètre et hypothèses	<u>Les processus et les organisations affectés par la dérive des capteurs</u> L'équipe projet part du constat que la dérive des capteurs a un impact sur : • Le processus de facturation (si la donnée ne remonte pas, le client n'est pas forcément facturé) • La réconciliation des données et la mise à jour • L'organisation des équipes de maintenance • L'équilibrage du réseau (en particulier pour les micro-grids) • La planification des actions de renforcement
	Apports des solutions	La solution développée par IVOCI apporte un module de détection dynamique (versus statique, comme déjà en place chez la majorité des opérateurs), c'est-à-dire pouvant détecter des anomalies sans utilisation de seuils prédéfinis. Ce type de solution permet d'augmenter la confiance des opérateurs dans la remontée de données de capteurs et de détecter les capteurs dérivants. Le projet a donné lieu au renforcement de deux modules intégrés dans l'outil existant, lequel est commercialisé en France et à l'international. Le porteur de projet a industrialisé la solution : la brique IVOCI a été intégrée directement dans leur logiciel et leur a permis d'accroître leur portefeuille d'offres et de clients. Cette brique est : • Vendue en « <i>stand alone</i> » pour la réalisation de « <i>Data Audit</i> », i.e. via des études permettant d'identifier les incohérences de données chez les clients ; • Ou intégrée globalement dans leur logiciel : à chaque envoi de données, ce module permet de filtrer les données et donc de rendre les résultats des calculs plus robustes.

Les résultats du projet POST (2017-2018)¹

POST	Description des solutions	Le projet POST a permis de développer une plateforme dédiée à l'optimisation du dimensionnement de grands systèmes électriques (réseaux de transport). Le modèle résout des problèmes d'optimisation sous contraintes à partir de multiples données. Sa complexité réside notamment dans : • La recherche des équilibres au pas de temps horaire • Des facteurs et des contraintes de risques introduits par les moyens de production renouvelables variables, des contraintes sur le stockage et les temps de démarrage des différents moyens de production • L'aspect multi-échelles (spatiales et temporelles) des systèmes électriques
	Périmètre et hypothèses	<u>Principes directeurs du développement de la solution</u> La stratégie de développement de la solution a été articulée autour de : • L'innovation algorithmique : les méthodes de résolution implémentées dans le cadre du projet constituent des éléments de rupture technologique pour le dimensionnement des systèmes électriques et visent à donner un avantage concurrentiel dans le domaine. • Une approche incrémentale des développements, qui permet de disposer de versions stables des logiciels pouvant être commercialisées tôt dans le projet. • L'écoute des clients potentiels, à travers un club utilisateurs dédié mais aussi via un dialogue commercial classique.
	Apports des solutions	• Le projet POST a permis de démontrer la faisabilité d'une résolution de problème d'optimisation par décomposition, en s'appuyant sur une parallélisation massive des calculs. Cette approche a permis de passer à l'échelle et de traiter de manière confortable des problèmes jusqu'alors inabordables. • Le porteur de projet a pu commercialiser sa solution en France et à l'international, notamment auprès d'institutionnels qui souhaitent disposer de moyens de modélisation à grande échelle des secteurs de l'électricité, du gaz et de la chaleur, ainsi que des marchés de l'énergie. • Plusieurs études de prospective énergétique ont pu être menées grâce à la plateforme développée dans le projet, par exemple sur : - o L'intégration des EnR, les solutions de flexibilités, les synergies entre les secteurs électriques et gaziers dans le cadre du projet METIS porté par la Direction Générale de l'Energie de la Commission Européenne. - o La transition énergétique et les mécanismes de capacité, dans le cadre d'une étude franco-allemande menée pour l'Union Française de l'Electricité (UFE) et l'Association des Industries de l'Energie et de l'Eau en Allemagne (BDEW) - o Les coûts de transmission du réseau électrique français, pour la Commission de Régulation de l'Energie (CRE)

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

Capture d'écran du modèle d'optimisation multi-scénarios développé dans le projet POST



Source : Capture d'écran du site Internet de l'outil Artelys Crystal Super Grid.

Note sur le projet Smart Grid Vendée :

Il est à noter que les résultats du projet Smart Grid Vendée relatifs aux services de flexibilité sont détaillés en partie 1.1.2, et ceux relatifs au pilotage de la demande en partie 2.1.2 de ce même rapport. En revanche, les résultats relatifs à l'observabilité et la contrôlabilité du réseau ne sont pas listés ici car ils ont déjà été exposés dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

Depuis la publication du rapport de 2016, les solutions suivantes ont été industrialisées par Enedis :

- Chaîne SI de gestion prévisionnelle (planification des travaux avec les producteurs HTA)
- Portail DispoRéseau pour les producteurs HTA (concertation, publication de bilans QF...)

- SI de prévisions de consommation et de production (SYPEL)
- SI d'Historisation des Données Réseau (HDR)
- Simulateur de contraintes temps réel (SIT R STC)
- Dispositif d'échanges d'information d'exploitation (DEIE xG)
- Développement d'une première génération de postes HTA/BT « smart »
- Offres de Raccordement Intelligentes pour les Producteurs HTA : 3 offres testées – en attente d'une évolution réglementaire
- Valorisation économique des flexibilités en lien avec le rapport EESG

1.3. Comment dimensionner le stockage distribué et le piloter au sein de systèmes énergétiques locaux ?

Les résultats ont été catégorisés selon le type de sites pour lesquels les projets souhaitaient dimensionner et piloter le stockage distribué : sur des sites connectés au réseau, sur des sites isolés.

1.3.1. Dimensionner et piloter le stockage distribué sur des sites connectés au réseau principal

BeeBryte

FLEXBAT

FHyCIB

Smart ZAE

1.2.2. Dimensionner et piloter le stockage distribué sur des sites isolés

MUST PLAN

PRISM

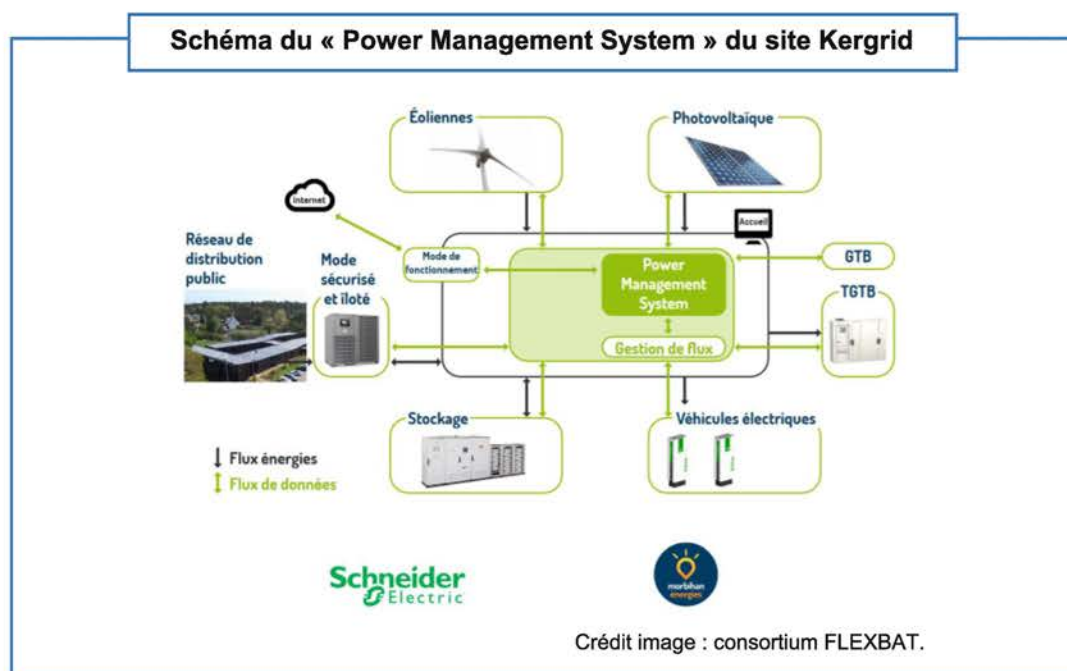
1.3.1. Dimensionner et piloter le stockage distribué sur des sites connectés au réseau principal

Les résultats du projet BeeBryte (2016-2017)

BeeBryte	Description des solutions	Le projet BeeBryte a permis de développer des algorithmes d'optimisation pour contrôler en temps réel des batteries , au sein d'un bâtiment tertiaire.
	Périmètre et hypothèses	<u>Type de site pour l'expérimentation</u> • Site tertiaire dans le domaine de l'agro-alimentaire <u>Leviers d'optimisation de l'énergie sur le site</u> • Anticipation de la météo • Écrêtage • Effacement de consommation • Trading sur les marchés de gros <u>Marchés de gros testés</u> • Marchés intraday et day-ahead • Zones : France, Allemagne
	Apports des solutions	Grâce à une utilisation des différents leviers d'optimisation, les résultats suivants ont été validés par un énergéticien européen avec notamment : • Entre 8% (en France) et 14% (en Allemagne) d'économies monétaires grâce à un trading optimisé de l'énergie sur les marchés de gros • Jusqu'à 40% d'économies monétaires à l'échelle d'un site tertiaire en combinant l'ensemble des leviers d'optimisation de l'énergie sur le site Par ailleurs, le porteur de projet a publié, suite au projet, le livre blanc « Stockage électrique – Le prix de la révolution » qui présente les résultats d'une étude sur le marché français de différentes stratégies de gestion de systèmes énergétiques et en particulier de cyclage des batteries. L'étude considère un site industriel agroalimentaire avec une consommation annuelle de 2,4 GWh, une puissance souscrite de 480 kW et une batterie Lithium-Ion (50 kW / 100 kWh) installée derrière le compteur. L'étude montre notamment que : • Il est plus rentable de combiner le service lié à l'arbitrage (en exploitant la volatilité des prix de l'énergie sur le marché Spot) et celui lié à l'écrêtage (en permettant la diminution de la puissance souscrite) que de considérer l'un ou l'autre séparément. • L'Australie ressort dès aujourd'hui comme particulièrement propice aux investissements dans des systèmes de stockage d'électricité. Mais aujourd'hui à Singapour, et d'ici quelques années en France, l'incorporation rentable du stockage stationnaire dans de nombreux systèmes énergétiques, va contribuer à une résilience accrue des réseaux électriques, favorable à une plus grande pénétration des énergies renouvelables variables comme le solaire et l'éolien (vision à mi-2018, pour la métropole uniquement).

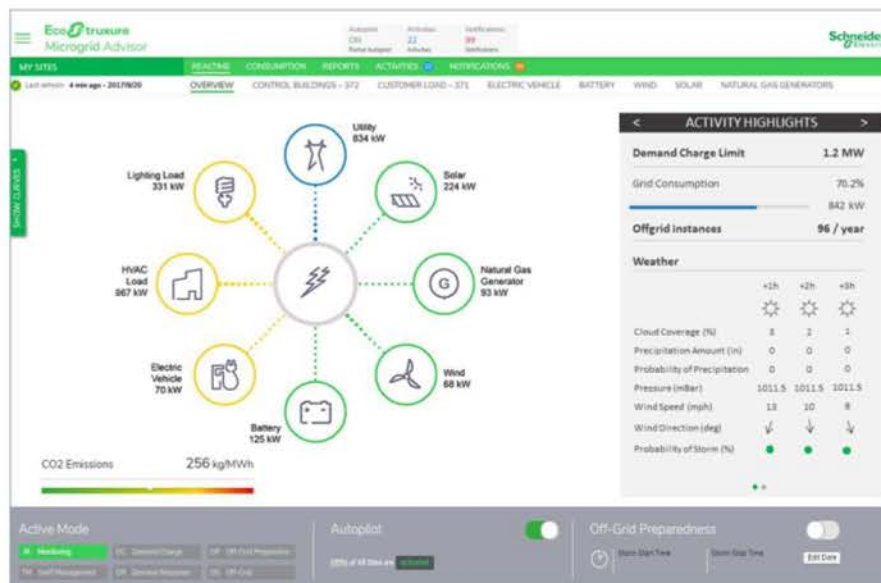
Les résultats du projet FLEXBAT (2015-2018)¹

FLEXBAT	Description des solutions	Le projet FLEXBAT (FLEXibilité des BÂTiments) a permis de développer : • Un outil d'aide à la décision qui permet de dimensionner un système de stockage électrochimique et de choisir une technologie de stockage (batterie au plomb versus lithium-ion) en fonction de paramètres techniques et économiques, à l'échelle d'un site, d'un îlot ou d'un territoire. • Une interface de visualisation des données de production et de consommation du bâtiment expérimental Kergrid via des indicateurs et des estimateurs.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristique du terrain d'expérimentation</u> Le terrain d'expérimentation était le bâtiment expérimental de Kergrid, siège du coordinateur de projet Morbihan Energies, qui regroupe production solaire photovoltaïque, stockage (stationnaire ou mobile avec les véhicules électriques) et recharge de véhicules électriques in situ <u>Type de stockage stationnaire</u> • Stockage électrochimique lithium-ion <u>Outil de pilotage des flux énergétiques en temps réel</u> • Ecostruxure Microgrid Advisor (EMA) de Schneider Electric
	Apports des solutions	• Le projet a conduit à la rédaction d'un <u>livrable juridique</u> sur les thèmes de l'autoconsommation collective et du stockage. Cette note préconise de donner une définition juridique à l'activité de stockage et de faciliter son développement par des incitations fiscales. • Le projet a permis de rappeler que l'analyse et la modélisation des productions et consommations est une étape à traiter avec soin avant de dimensionner le système de stockage.



¹Ce projet est également traité dans les parties 2.3 et 3 - thématique autoconsommation collective - de ce même rapport.

**Capture d'écran du logiciel de pilotage en temps réel implémenté par Schneider-Electric et directement raccordé au Power Management System
(le logiciel permet de gérer l'effacement du bâtiment)**



Crédit image : Schneider Electric.

Les résultats du projet FHyCIB (2017-2018)¹

FHyCIB

Description des solutions

Le projet FHyCIB (Flexibilité Hybride de Charges Industrielles et de Batteries) a permis de développer **une solution clé-en-main de pilotage symétrique** (i.e. à la hausse et à la baisse) **et dynamique de charges industrielles** pour valoriser les flexibilités **en intégrant des systèmes de stockage** chez les industriels. Les solutions FHyCIB permettent de suivre un signal complexe à l'échelle de la seconde ; elles peuvent être adaptées à un large spectre de services du système électrique, notamment à du réglage primaire de fréquence.

Périmètre et hypothèses

Clients cibles

- Les solutions ciblent les industriels électro-intensifs et les développeurs de projets de stockage

Apports des solutions

- Les solutions FHYCIB permettent d'exploiter **la complémentarité entre systèmes de stockage et équipements industriels** pour maximiser la valorisation de ces flexibilités (notamment dans le cadre d'équipements qui, pris individuellement, ne sont pas conformes aux exigences du gestionnaire de réseau).
- Les tests réalisés dans le cadre du projet FHyCIB ont facilité la mise en place de partenariats avec des développeurs de projets de stockage, permettant au porteur du projet de proposer des **solutions financées et directement prêtes pour une mise sur le marché**.
- Les outils de dimensionnement et de simulation garantissent **une rémunération optimale des acteurs** du projet, et un respect strict des contraintes des batteries ainsi que des équipements et des procédés industriels.
- Une solution de ce type pourrait permettre d'augmenter sensiblement la portion d'énergie primaire délivrée par des moyens non conventionnels.

¹Ce projet est également traité dans les parties 2.1.2 de ce même rapport.



Les résultats du projet Smart ZAE (2012-2016)¹

Smart ZAE	Description des solutions	Le projet Smart ZAE a permis de développer une solution de gestion locale de l'énergie à l'échelle d'une Zone d'Activité Économique composée de : • Un système de stockage (100 kW – 100 kWh) composé de 10 volants d'inertie à très haute efficacité énergétique. • Un bus à courant continu raccordant des convertisseurs à haut rendement (99%). • Une gestion technique centralisée incluant des algorithmes d'optimisation en temps différé et temps réel.
	Périmètre et hypothèses	<u>Site considéré</u> • Une zone d'activités toulousaine <u>Caractéristique du site</u> • Un réseau en courant continu 650 V • Des capacités de production locale : 180 kWc de panneaux solaires et 15 kW d'éolien • Des actifs de stockage (volants d'inertie) : 100 kW/100 kWh <u>Principes de l'optimisation</u> • À horizon journalier (i.e. le jour pour le lendemain), l'optimisation dynamique est principalement basée sur la tarification estimée pour le lendemain et les prévisions de consommation et de production en local. • En infra-journalier, l'algorithme de pilotage donne des consignes aux installations de production et de consommation <u>Conditions d'application du concept développé</u> • Le concept s'applique aux situations réunissant les conditions suivantes : alimentation via réseau de distribution 400 V, présence d'énergies renouvelables, plusieurs lieux de consommation contigus, possibilité d'installer du stockage d'énergie, existence d'un gestionnaire unique d'énergie, volonté de coopération entre bâtiments
	Apports des solutions	• Les performances techniques ont été atteintes du point de vue de l'efficacité du pilotage et des rendements obtenus. La capacité énergétique des volants d'inertie va continuer de s'améliorer progressivement en passant de 7 kWh unitaire en fin de projet à 10 kWh utiles. • Les performances économiques sont, en revanche, beaucoup plus contrastées, avec des bénéfices estimés de l'ordre de quelques centaines d'euros par an sur la ZAE, objet de l'expérimentation. Cela s'explique par une combinaison de facteurs : - o Contexte tarifaire sur le réseau de distribution métropolitain français qui laisse peu d'opportunité de capter de la valeur grâce au stockage. - o Coût fixe des investissements en stockage/pilotage intelligent et production renouvelable trop élevés pour équilibrer le modèle économique.

¹Ce projet est également traité dans [la partie 2.1.1 de ce même rapport](#). De plus, il a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

Les résultats du projet MUST PLAN (2016-2017)

MUST PLAN	Description des solutions	Le projet MUST PLAN a permis de développer un outil de planification des stockages distribués au niveau des départements HTA, adapté aux territoires insulaires avec une forte pénétration d'EnR. L'outil permet de : • Augmenter les capacités d'accueil en production solaire tout en favorisant le développement des petites et très petites installations. • Participer à l'Equilibre Offre Demande global en apportant de la flexibilité au réseau dans la conduite des départements HTA. • Réduire les coûts de renforcement des réseaux. • Développer une politique tarifaire intra-régionale qui incite à l'installation de production dans les zones de plus grande demande d'électricité.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques du terrain d'expérimentation</u> • Zone géographique : île de la Martinique
	Apports des solutions	Les travaux réalisés sur le cas du réseau électrique de la Martinique ont permis de déterminer : • Les départements HTA sur lesquels déployer en priorité du solaire ainsi que les tarifs incitatifs qui permettent d'atteindre les niveaux de déploiement souhaités. • Les capacités de stockage par département qui permettent de reporter les investissements en renforcement de réseaux et de garantir en exploitation le gabarit de puissance de soutirage par département prioritaire. • Sur le territoire en question, 19 départements HTA ont été identifiés comme prioritaires par des algorithmes multi-objectifs pour un cumul total de 65 MWh de stockage et 90 MWc de solaire à installer d'ici 2023 pour atteindre l'objectif de 14% de photovoltaïque dans la production d'énergie en Martinique, fixé par la PPE. • Parmi ces 19 projets, 9 cumulent d'importantes économies de renforcement de réseaux. Par ailleurs, le porteur de projet a formulé des recommandations pour favoriser l'insertion du stockage en Zones Non Interconnectées (ZNI), notamment d'ordre : • Technique - o Un opérateur de stockage doit pouvoir déployer les interfaces de communication entre les installations solaires et le stockage, ainsi qu'entre le stockage et le centre de dispatching. • Économique - o Évaluer le coût de l'Énergie Non Distribuée (END) en ZNI - o Faciliter l'accès au crédit par la création d'un fonds de garantie pour les particuliers et les PME • Règlementaire - o Un opérateur de stockage en ZNI devrait être un opérateur privé muni d'une délégation de gestion sur un département HTA au moyen d'un stockage "d'équilibre". Il détient son habilitation par département HTA auprès de la CRE, des collectivités locales et du GRD. Pour obtenir son habilitation, il répond en groupement avec des instal-

MUST PLAN	Apports des solutions	lateurs PV et des sociétés de maintenance d'installations PV à un appel d'offre du GRD. Les appels d'offre du GRD respectent les objectifs et le calendrier de la PPE. - o Intégrer les objectifs quantitatifs de stockage HTA et de PV par départ dans la PPE - o Exonérer de TCCFE et de TDCFE les consommateurs associés à une production solaire ou à un système de stockage
-----------	-----------------------	--

Les résultats du projet PRISM (2017-2018)

PRISM	Description des solutions	Le projet PRISM (Predictive Software for Intermittent Energy Supply) a permis développer un logiciel de contrôle prédictif de micro-grid hybrides avec stockage.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques du terrain d'expérimentation</u> • Les solutions ont été testées sur un site industriel au Maroc (Zone Franche de Tanger) équipé de batteries électrochimiques et d'un groupe électrogène. <u>Caractéristiques des solutions développées</u> • Deux solutions de pilotage ont été développées : les boîtiers ePowerControl Microgrid Controller et ePowerControl Hybrid Fuel Saver • Ces solutions ont plusieurs avantages : - o La prévision des courbes de consommation et de production solaire pour un site industriel équipés d'une centrale hybride (solaire, batteries, groupes électrogènes) permet d'anticiper le comportement de la demande nette du bâtiment (besoin énergétique restant après fourniture de l'énergie solaire) et éviter les pertes de production solaire et démarrages inutiles de groupes électrogènes - o La prévision du besoin net d'énergie du bâtiment permet ici de mieux anticiper et planifier les cycles de charge / décharge des batteries et les séquences/régimes de fonctionnements des groupes électrogènes <u>Zones cibles</u> • Sites industriels équipés de centrales photovoltaïques, de groupes électrogènes et raccordés au réseau électrique • Sites industriels non raccordés au réseau et équipés de centrales photovoltaïques, batteries électrochimiques et groupes électrogènes
	Apports des solutions	• Grâce à ces solutions, la réduction de consommation de fioul marginale peut atteindre 5 à 15%. • Les solutions développées sont « clé en main » et présentent ainsi plusieurs avantages pour le client final (développeurs de projets, énergéticiens et EPC sur des sites isolés et interconnectés mais dont la fourniture électrique est peu fiable) : - o Simplicité : les solutions sont faciles à mettre en service (mise en service par un technicien sans déplacement nécessaire d'un ingénieur). - o Interopérabilité : les solutions sont compatibles avec les principales marques d'équipements sur le marché (production solaire, groupes électrogènes, stockage par batterie et autres ressources distribuées). - o Performance : prévisions de consommation et production réalisée en local (sur le boîtier ePowerControl) sans dépendre à 100% d'une connexion réseau avec le

cloud. Cela permet de gagner en performance sur des zones non interconnectées ou isolées en comparaison avec les solutions concurrentes.

- o Le porteur de projet a **industrialisé la solution**.

Les conclusions en fin de projets

Les projets accompagnés par l'ADEME ont permis de démontrer que :

Production EnR

- **En termes de raccordement des EnR, un fort taux de pénétration des EnR sera favorisé par des Offres de Raccordement Intelligentes** qui peuvent permettre à des producteurs, dans certains cas, de se raccorder à moindre coût, avec **en moyenne un gain de 90 000 €/MW**, et plus rapidement (délai réduit de 7 à 10 mois).
- **Des modèles avancés innovants peuvent améliorer les prévisions de production EnR.** Par exemple, un projet a développé un **modèle de prévision « territorialisé »** qui intègre des mesures issues de capteurs au sol, proches de la centrale dont la prévision de production doit être réalisée.
- **Les services système en fréquence (réglage primaire inclus) pourront a priori être fournis par des moyens non conventionnels :**
 - Un projet a démontré que, grâce à l'agrégation, une **centrale virtuelle composée uniquement de centrales EnR (PV et éolien) peut fournir des services** de ce type.
 - **Une combinaison intelligente de stockage et de pilotage de la demande industrielle peut également techniquement fournir ce service avec un haut niveau d'exigence** (produit symétrique notamment).
- Un projet a permis de démontrer que le **concept de « centrale virtuelle » répond aux besoins des exploitants de moyens de production EnR** pour :
 - **Piloter à distance des centrales** éloignées géographiquement les unes des autres.
 - **Valoriser leurs flexibilités** en les agrégeant afin d'atteindre un volume minimum et ainsi participer aux mécanismes de valorisation en place.
 - **Améliorer la prévision de production « agrégée »** (et non plus seulement celle d'une centrale unitaire).

Réseau

- Les projets ont permis de montrer que **l'observabilité et le pilotage du système électrique peuvent être renforcés au moyen de technologies innovantes et de contrôle-commande numérique, déployables :**
 - Sur le réseau électrique (e.g. postes numérisés, capteurs connectés de détection de défauts non intrusifs pour le réseau HTA).
 - Sur les sites de consommation (e.g. pinces wattmétriques).
 - Sur les sites de production d'énergie renouvelable variable (techniques de prévision de production ou fonctions de pilotabilité améliorées à des coûts toujours plus compétitifs)
- **La numérisation des infrastructures permet aux gestionnaires de réseau, grâce au déploiement de nouvelles fonctions** (maintenance prédictive, supervision...), **d'améliorer leur performance opérationnelle**, par (i) une réduction des temps de coupure, des fraudes, et des coûts d'exploitation-maintenance, et (ii) une utilisation maximale des capacités physiques des réseaux.
- **La question de la fiabilité de la donnée remontée est clé.** Un projet démontre que des solutions existent pour s'assurer, de manière dynamique, de la qualité des données mesurées par les capteurs.

- **En réponse à un besoin client fort, des entreprises ont développé des solutions interopérables**, basées sur des normes internationales, et ainsi interchangeables, permettant à l'opérateur d'un système électrique intelligent (réseau, point de consommation ou point de production) de pouvoir **remplacer facilement** les équipements qui composent ce système.

Stockage

- Les projets ont permis de montrer que **le coût du stockage, les caractéristiques actuelles du système électrique et de la régulation rendent le contexte plutôt défavorable au développement du stockage distribué sur le territoire métropolitain**. Cependant, celui-ci peut offrir des services précieux au système. Ce constat vient renforcer les conclusions du rapport de 2016 sur la nécessité d'intégrer le stockage dans le droit :
 - Nécessité de donner une **définition juridique à l'activité de stockage** sans la confondre avec une activité de production et/ou une activité de consommation.
 - Possibilité **d'introduire des incitations fiscales** pour faciliter le développement des installations de stockage les plus performantes.
 - **Rémunération envisagée de certains services système**.
- **Le modèle économique du stockage par volant d'inertie**, qui s'appuie en grande partie sur le service de contrôle de fréquence en substitution des groupes, **est aujourd'hui fortement concurrencé par celui des batteries électrochimiques**, en France métropolitaine et surtout en zones non interconnectées.
- Les projets ont permis de montrer que **le stockage distribué peut trouver un intérêt à court terme sur sites isolés et en zones non interconnectées** :
 - Dans ce type de géographies, le stockage présente de **réels bénéfices environnementaux** puisqu'il permet de réduire la consommation de fioul.
 - Le stockage trouve **sa pleine valeur dans des systèmes électriques alimentés majoritairement par des énergies renouvelables variables**, sa grande réactivité étant un atout majeur pour la stabilité de tels systèmes. Par exemple, un projet a développé un logiciel qui permet de déterminer la localisation des batteries sur le réseau, au niveau des départs HTA, afin d'atteindre l'objectif de 14% de photovoltaïque dans la production d'énergie en Martinique fixé par la PPE.

Défis d'ordre économique et organisationnel

- Le coût des systèmes de stockage est encore trop élevé, même s'il diminue d'année en année.
- La rémunération des différents services rendus par le stockage au système électrique n'est pas pleinement assurée par le fonctionnement actuel du marché.
 - o A travers les groupes de travail organisés par RTE en marge du projet RINGO¹, des pistes sont développées avec les acteurs autour de la participation du stockage au mécanisme d'ajustement notamment.
- L'optimisation des investissements réseau nécessite d'anticiper géographiquement les installations d'énergies renouvelables.
 - o Les S3REnR² permettent de prévoir les besoins sur la décennie à venir.
 - o Des études anticipatrices sont menées en parallèle, telle que l'étude FIDGI³ menée par l'ADEME pour fiabiliser les gisements disponibles.
- La valeur supplémentaire des services apportée par le stockage n'est pas encore reconnue (ex : sa grande vitesse de libération de l'énergie qui permet de réduire la puissance à injecter pour répondre à une perturbation).
- Pour faciliter l'intérêt des producteurs EnR à participer à des services systèmes en fréquence, il pourrait être intéressant :
 - o Que des offres asymétriques puissent être proposées (et éviter ainsi les pertes de production liée au bridage des centrales)
 - o La possibilité de fournir ces services sur des temps plus limités qu'actuellement afin de garantir un volume conséquent.

¹RINGO est un projet développé par RTE ; ce projet expérimental consiste à utiliser des moyens de stockage placés à plusieurs endroits du réseau pour réduire le transit sur une partie du réseau, pendant un certain temps, sans perturber l'équilibre offre demande.

²Schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables.

³Cette étude en cours sur la fiabilisation des estimations des gisements en énergie renouvelable électrique à horizon 10 ans est prévue pour mi-2021.

Défis d'ordre réglementaire

- Le décret concrétisant l'évolution réglementaire pour proposer des ORI aux producteurs EnR se raccordant en HTA n'est pas publié (en cours de finalisation par la DGEC). Il sera suivi d'un arrêté destiné à cadrer les ORI pouvant être proposées par les GRD.
 - o L'arrêté pourrait imposer des ratios concernant la puissance minimale injectable et/ou l'énergie non injectable maximale, rapportées aux caractéristiques du projet à raccorder.
- La réglementation permettant d'avoir recours à l'écrêtement de production pour régler des problèmes de congestion du réseau n'est pas définie.
 - o Enedis¹ va profiter d'un bac à sable réglementaire proposé par l'article 61 de la loi Energie-Climat pour mener des expérimentations en 2020.
 - o 7 milliards d'euros d'économies d'investissement ont été identifiées sur le réseau de transport grâce à ces flexibilités, RTE propose de les déployer dans le cadre des révisions des S3REnR en cours².
- Le statut d'opérateur de stockage n'est pas défini
 - o La CRE publié en septembre 2019 [un document de réflexion et de proposition](#) sur le stockage d'électricité en France. Elle demande aux gestionnaires de réseaux d'étudier la mise en place d'un statut ad hoc d'opérateur de stockage.
 - o La CRE et la DGEC proposent la mise en place d'un groupe de travail dédié au stockage d'électricité pour suivre les travaux engagés.

¹Schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables.

²UFE, RTE, Enedis, Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne, 2019. Valoriser les flexibilités de production pour intégrer les EnR aux réseaux électriques.

Zoom sur l'export

Le projet SOGRID – une solution commercialisée sur les marchés européens

Dans le cadre du projet SOGRID, Nexans a développé et déployé des capteurs tension/courant pour la moyenne tension qui permettent d'observer le réseau et qui peuvent envoyer des ordres aux postes primaires et secondaires. Le spécialiste du câble a également développé des coupleurs adaptés à la moyenne tension pour rendre le réseau communicant via une architecture de télécommunication filaire. Dans le cadre du projet, la pertinence d'une chaîne innovante de communication complète en Courant Porteur en Ligne de troisième génération (CPL G3) a pu être démontré pour les réseaux souterrains. Par ailleurs, des solutions de branchement intégrant des capteurs haute précision ont été mises en œuvre avec succès sur le réseau moyenne tension.

L'ensemble des innovations déployées dans le cadre du projet a permis de tester et valider pour la première fois au monde, un estimateur d'état temps réel, sur un réseau moyenne tension en opération.

Si la mutation vers les réseaux intelligents moyenne tension en est encore au stade initial, le projet a ouvert un nouveau segment de marché à Nexans : le socle technologique et les compétences acquises au cours du projet SOGRID ont servi à adapter les capteurs, les solutions de communication et de raccordement en moyenne tension pour une **commercialisation en Italie et en Allemagne**.

Annie Chéenne, Directeur Stratégie et Innovation de la Electrical Vehicle Charging Stations Business Acceleration Unit de Nexans se félicite :

«La participation au projet SOGRID nous a permis d'ouvrir un nouvel axe stratégique, les Smart Grids. Grâce aux compétences en télécommunication et en développements de logiciels acquises au cours du projet, Nexans a également pu se positionner sur d'autres sujets porteurs comme la recharge des véhicules électriques.»

En lien avec la mobilité, le **protocole CPL** développé dans SOGRID a ainsi pu être testé dans le **projet BienVEnu**, également soutenu par le Programme d'investissements d'avenir opéré par l'ADEME. En termes d'équipement, Nexans a apporté à ce projet une solution de câblage innovante, des bornes de recharge communicantes, et un système de supervision en amont. Ces solutions sont actuellement **commercialisées sur différents marchés en Europe**.



Zoom sur l'export

Le projet S4E – une solution commercialisée dans les territoires insulaires

La PME S4E conçoit et développe des solutions logicielles de supervision de production et de consommation d'énergie sur un mode SaaS à destination de développeurs et exploitants de parcs EnR. À cela s'ajoute un module intégré de gestion de maintenance.

Le projet **SEE Project** avait pour objectif de développer une fonctionnalité **de prévision de production** innovante par rapport à l'offre existante de S4E, l'interface de gestion de centrales photovoltaïques PVSOFT. L'outil peut se déployer sur toutes les centrales et est particulièrement destiné à celles localisées en territoires insulaires. Les prévisions de production prennent tout leur sens dans des zones en contrainte telles que les zones non interconnectées ou les zones connectées pouvant être en fragilité énergétique comme en Bretagne ou en région PACA. Elles permettent aux opérateurs intéressés par la gestion du réseau d'anticiper les épisodes critiques, et de mettre en place des stratégies de sauvegarde du réseau.

À l'issue du projet soutenu par le Programme d'investissements d'avenir opéré par l'ADEME, S4E a complété ses savoir-faire sur d'autres vecteurs énergétiques ainsi que sur le stockage. Le logiciel PVSOFT s'est alors ouvert à d'autres énergies, notamment l'éolien, mais aussi à la télérelève de compteurs de bâtiments (électricité, gaz, eau). Le logiciel de monitoring a alors été renommé en **Energysoft**.

Pour son domaine d'excellence, le solaire, le logiciel Energysoft atteindra avec 1 GWc **une part de marché d'environ 11% début 2020 pour le marché français** (contre 500 MWc pour une puissance cumulée de 8 527 MWc installée fin 2018, soit plus de 5% du marché à l'époque). Une dynamique sur laquelle la société souhaite s'appuyer pour commercialiser sa solution à l'international, en particulier en Europe, et plus spécifiquement en Espagne. Les territoires insulaires, situés sur le territoire français ou à l'étranger, sont également une cible commerciale privilégiée pour S4E.

Jean-Marie Hermelin, Directeur général de S4E, revient sur le projet SEE Project :

« Grâce à ce projet, déployé à La Réunion, nous avons pu développer des fonctionnalités spécifiques aux territoires insulaires. Ainsi, une autre réalisation concrète se fera en 2020 en Martinique. Fin 2019, les abonnements au logiciel Energysoft couvrent plus de 25% de la puissance photovoltaïque installée dans les départements d'outre-mer et font de nous le leader naturel pour accompagner les exploitants sur ces territoires. »

De plus, la solution de centrale virtuelle, intégrée dans le logiciel Energysoft, est actuellement en cours de conception pour adresser des grands exploitants et développeurs de centrales photovoltaïques ou parcs éoliens sur des marchés européens comme l'Allemagne ou le Benelux.





Comment adapter les modes de consommation ?



The background image is split into two main sections. The top section shows a close-up of a silver car's side mirror and door, with a red charging cable plugged into a charging station. The bottom section shows a hand holding a tablet displaying a bar chart of electricity consumption. The chart has a y-axis labeled 'kWh' ranging from 0 to 80 and an x-axis with dates from 'mai 18 mai' to 'mai 27 mai'. The bars show varying levels of consumption, with a peak around 'mai 21 mai' and 'mai 22 mai'. The chart is titled 'Ma consommation d'électricité par jour' and includes a 'Télécharger le graphique' button.

Les enjeux de l'adaptation des modes de consommation

• La Maîtrise de la demande d'énergie (MDE) et le pilotage de la demande

Issus de la convergence des technologies des systèmes électriques et des technologies de l'information et de la communication, les Systèmes Electriques Intelligents, ou Smart Grids, représentent une opportunité d'innovation **pour proposer de nouveaux outils favorisant la Maîtrise de la demande d'énergie (MDE) et le pilotage de la demande afin de :**

- Limiter le recours à des moyens de production émetteurs de CO₂ notamment au moment de la pointe de consommation électrique
- Garantir l'équilibre offre/demande à moindre coût et en utilisant au maximum les productions à partir d'énergies renouvelables
- Limiter la congestion et les investissements dans de nouvelles infrastructures de réseau
- Favoriser l'émergence des bâtiments ou territoires à énergie positive (TEPOS), ou a minima améliorer leur taux d'autoconsommation et d'autoproduction

Définitions

MDE

La **MDE** a trait à une prise de conscience de son besoin énergétique et conduit à mettre en place des solutions techniques ou des pratiques pour baisser durablement sa consommation vis-à-vis d'un ou plusieurs usages.

Pilotage de la demande

Le **pilotage de la demande** est un mécanisme lié au fonctionnement du système électrique qui permet de déplacer les moments de consommation aux moments les plus opportuns pour le fonctionnement du système électrique. Cette flexibilité de consommation est associée à une variation de puissance en réponse à une sollicitation ponctuelle et contractualisée ; ainsi, son objectif premier n'est pas d'apporter des économies d'énergie, mais bien de rendre un service au réseau et au système électrique dans son ensemble. Il peut prendre diverses formes : pilotage de la demande, effacement. Il peut concerner divers usages : Eau Chaude Sanitaire (comme historiquement via un signal Heures Pleines/ Heures Creuses), le chauffage, la charge du véhicule électrique. Et peut prendre diverses formes contractuelles : via un contrat avec un agrégateur ou opérateur d'effacement, via un fournisseur d'électricité ou via un autre opérateur de service.

La MDE permet aux consommateurs de réduire leur consommation ainsi que la facture énergétique et l'empreinte environnementale liée à cette consommation. Dans les secteurs industriels et tertiaires (entreprises et collectivités), la MDE permet aux consommateurs de respecter la réglementation, qui devient de plus en plus contraignante, et de construire une stratégie de planification énergie/climat à long terme. Par ailleurs, le pilotage de la demande permet de diversifier leurs revenus par la valorisation de leurs flexibilités de consommation. Le consommateur est donc au cœur de l'évolution du système électrique aujourd'hui.

Ces deux leviers d'adaptation des modes de consommation sont traités ensemble car (i) des outils similaires sont mis en œuvre pour activer ces leviers chez les consommateurs, et (ii) il a été montré dans le rapport de 2016 que l'association de ces deux leviers permet de rendre plus pertinent et plus rentable économiquement l'un ou l'autre de ces leviers.

Ils doivent toutefois être pensés en bonne intelligence afin de favoriser dans un premier temps la MDE, le « consommer moins » (sobriété énergétique) et ensuite le pilotage de la demande, le « consommer mieux » (exploitation au maximum des ressources EnR disponibles et évitement d'émission de GES). Ces deux leviers permettent d'éviter des surdimensionnements réseaux.

Les enjeux du développement de la MDE et du pilotage de la demande sont de :



- Quantifier le potentiel d'efficacité énergétique et de flexibilité pour les différents profils de consommateurs.
- Fiabiliser les gisements de MDE et de Maîtrise de la Pointe (MDP) dans la durée.
- Sensibiliser les consommateurs à l'énergie en général et à ses enjeux.
- Faciliter l'accès aux données et leur visualisation pour les usagers finaux.
- Mettre en place de nouveaux services et tarifs visant à encourager les évolutions de comportement ou de pratique.
- Identifier la valeur et un temps de retour sur investissement attractif aux solutions envisagées.
- Permettre de partager la valeur issue de ces démarches pour les parties prenantes dans un écosystème complexe et en pleine évolution.

Le développement de la mobilité électrique

Les usages de l'électricité évoluent en France, notamment dans le domaine des transports où l'électrification est l'un des leviers de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les objectifs des pouvoirs publics en matière de mobilité électrique sont ambitieux :

- 7 millions de points de recharge pour les véhicules électriques (VE) et les véhicules hybrides rechargeables (VHR) en 2030¹(Loi pour la transition énergétique et la croissance verte)
- 2,5 à 3 millions de VE/VHR en circulation en 2025 et 3,6 à 4,3 millions en 2030²

Avec le développement de ce nouvel usage électrique, les gestionnaires de réseaux doivent faciliter l'insertion des infrastructures de recharge pour véhicules électriques (IRVE) dans les réseaux tout en maîtrisant les impacts sur le système électrique. Les gestionnaires de réseaux de transport et de distribution d'électricité se sont emparés de ses sujets, en témoignent deux publications de 2019 :

- Rapport sur l'intégration de la mobilité électrique dans le réseau public de distribution d'électricité (Enedis)
- Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique (RTE, AVERE-France³)

Dans ces rapports, les gestionnaires de réseau électriques se veulent rassurant quant à l'intégration massive de

¹Loi pour la transition énergétique et la croissance verte.

²« Stratégie de développement de la mobilité propre », annexée à la Programmation Pluriannuelle de l'Energie.

³Association nationale pour le développement de la mobilité électrique.

véhicules électriques sur le réseau. Cette intégration se fera à coût maîtrisé. Par exemple, Enedis estime qu'à l'horizon 2035, la part d'investissements liée à l'intégration de la mobilité, selon les hypothèses de la publication citée ci-dessus, sera inférieure à 10% du total des investissements anticipés sur la période. De son côté, RTE estime que la consommation d'énergie liée au développement du véhicule électrique ne devrait pas excéder 48 TWh en 2035, soit 10 % de la consommation française et que la majorité des pics de consommation liées à des périodes de fort déplacement (départ en weekends, vacances scolaires) correspondraient à des périodes où le système électrique dispose de marge.

Toutefois, il convient de ne pas prendre le développement de ces nouveaux modes de consommation et le développement des énergies renouvelables de manière disjointe. En effet, le pilotage de la charge du véhicule électrique au quotidien est une option sans regret pour l'ensemble de la collectivité. Il renforce la robustesse du système électrique en absorbant une partie de la variabilité de la production EnR et permet donc un développement des EnR à moindre coût.

Les enjeux du développement de la mobilité électrique sont de :



- Rendre accessibles – techniquement et économiquement – les infrastructures de recharge.
- Rendre la recharge simple au quotidien, notamment sur les lieux de travail et dans les copropriétés.
- Exploiter les flexibilités offertes par le pilotage de la recharge du véhicule électrique.
- Préparer l'intégration de l'électromobilité au système électrique dans une logique d'équilibre offre-demande et de gestion locale des contraintes.

Les principaux enseignements et les questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016

• Les principaux enseignements du retour d'expérience de 2016

Le retour d'expérience réalisé en 2016 a permis de formuler les principaux enseignements suivants concernant l'adaptation des modes de consommation :

Pour tous les segments de consommateurs confondus

- Les économies d'énergies induites par l'information des consommateurs sont comprises entre 1% et 10%.
- La notion de puissance appelée et des contraintes associées est peu connue des consommateurs tertiaires et résidentiels.
- En l'absence de dispositif de contrôle de la reprise de consommation suite à l'effacement, le rebond en puissance après une opération d'effacement peut atteindre 50%.
- L'association de la MDE et du pilotage de la demande rend plus pertinente, mieux acceptée et plus rentable l'une ou l'autre des solutions.

Pour le segment résidentiel

- L'information des consommateurs participe à une augmentation de la « culture de l'énergie » des ménages.
- La durabilité des changements de comportements et de pratiques dépend de l'accompagnement et des conseils aux consommateurs.
- Les reports de consommation de chauffage se situent entre 40% et 70% ; les reports de consommation d'eau chaude sanitaire sont de 100%.
- Le gisement de puissance effaçable par foyer est d'environ 1 kW ; pour limiter les coûts des équipements déployés dans les foyers, il est recommandé d'utiliser au maximum l'infrastructure Linky pour la mise en œuvre du pilotage de la demande.
- Le modèle d'affaires d'un opérateur d'effacement diffus est celui d'un opérateur d'infrastructures : face à de

lourds investissements, la régulation doit lui permettre une espérance de gain régulière. Au vu des coûts importants d'une infrastructure d'effacement diffus, il apparaît préférable de ne pas utiliser l'effacement diffus uniquement dans une vocation capacitaire (réduction de la pointe).

- Pour les opérations nécessitant une intervention dans le tableau électrique des logements, des contraintes d'éligibilité technique représente environ 15% à 20% des installations ciblées.

Ces enseignements sont issus des résultats des projets suivants :

Flex-Adapt

GreenLys

NICE GRID

RéFLexE

Smart Electric Lyon

Smart Grid Vendée

Il est à noter que le rapport de 2016 n'a pas abordé pas la thématique de la mobilité électrique puisque peu de projets à l'époque avaient livré leurs résultats sur ce sujet émergent.

• Les principales questions soulevées suite au retour d'expérience de 2016 et les projets accompagnés pour chercher à y répondre

Suite au retour d'expérience de 2016, l'ADEME a souhaité poursuivre l'accompagnement et/ou le cofinancement des travaux de recherche pour répondre notamment aux grandes questions suivantes :

- **Comment faire participer un nombre accru de consommateurs industriels et tertiaires aux objectifs d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande pour leur bénéfice propre et celui du système ?**
- **Comment faire participer un nombre accru de consommateurs résidentiels à ces mêmes objectifs et développer chez eux une « culture énergie » ?**
- **Comment faciliter la recharge des véhicules électriques et exploiter la flexibilité de leur recharge pour une gestion optimisée du système électrique ?**

Les résultats du retour d'expérience de 2020

2.1. Comment faire participer un nombre accru de consommateurs industriels et tertiaires aux objectifs d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande pour leur bénéfice propre et celui du système ?

Les résultats ont été catégorisés selon le type de solutions que les projets ont développé : des solutions d'efficacité énergétique, des solutions de pilotage de la demande, ou des solutions combinées.

2.1.1. Développer des solutions d'efficacité énergétique

EFFIGINI

SMART ZAE

2.1.2. Développer des solutions de pilotage de la demande

DREAMS

EnR Pool

FHyCIB

Smart Grid Vendée

VAF-IA

2.1.3. Développer des solutions combinées d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande

Smart Controller

Smart Electric Lyon

SyNergies

Les résultats du projet EFFIGINI (2018-2020)

EFFIGINI	Description des solutions	Le projet EFFIGINI (Efficacité Énergétique Non-Intrusive) a développé une solution sectorielle « Plug & Play » de supervision des consommations électriques permettant d'inciter les établissements du secteur de l'hébergement et de la restauration à réaliser des économies d'électricité. Cette solution non-intrusive est capable de : • Mesurer et simuler une courbe de charge fine par capteur connecté ou simulateur. • Exploiter l'information grâce à des algorithmes de type Machine Learning pour repérer des informations relatives au fonctionnement des principaux usages (éclairage, cuisson, etc.) et d'estimer leurs consommations. • Restituer les informations de consommation d'électricité sur une interface client et fournir des commentaires personnalisés en rapport avec cette consommation.
	Périmètre et hypothèses	<u>Sites considérés</u> • La phase d'acquisition de données expérimentales s'est déroulée sur 22 établissements (13 restaurants et 9 hôtels) • Un test utilisateur de la chaîne complète a porté sur 7 établissements (4 restaurants et 3 hôtels) <u>Usages considérés</u> • Cuisson, gros électroménagers, chauffe-eau, éclairage, froid, veille, autres
	Apports des solutions	• Les premiers résultats collectés sur les derniers mois de l'expérimentation permettent de se projeter sur un potentiel d'économie de 10% sur la facture d'électricité. • Le potentiel d'économie est réalisé grâce à une information régulière et interactive du client, basée sur des événements caractéristiques de la consommation de son établissement. • La solution est facile à implémenter (temps de pose de l'ordre de 10 minutes), ce qui permet d'instaurer un premier capital de confiance avec le chef d'établissement.

Les résultats du projet Smart ZAE (2012-2016)¹

Smart ZAE	Description des solutions	Le projet Smart ZAE a permis de développer une solution de gestion locale de l'énergie à l'échelle d'une Zone d'Activité Économique composée de : • Un système de stockage (100 kW – 100 kWh) composé de 10 volants d'inertie à très haute efficacité énergétique. • Un bus à courant continu raccordant des convertisseurs à haut rendement (99%) • Une gestion technique centralisée incluant des algorithmes d'optimisation en temps différé et temps réel.
-----------	---------------------------	---

¹Ce projet est également traité dans les parties 1.3.1 et 3 de ce même rapport.

Smart ZAE	Périmètre et hypothèses	<u>Site considéré</u> • Une zone d'activités toulousaine <u>Caractéristique du site</u> • Un réseau en courant continu 650 V • Des capacités de production locale : 180 kWc de panneaux solaires et 15 kW d'éolien • Des actifs de stockage (volants d'inertie) : 100 kW/100 kWh <u>Principes de l'optimisation</u> • À horizon journalier (i.e. le jour pour le lendemain), l'optimisation dynamique est principalement basée sur la tarification estimée pour le lendemain et les prévisions de consommation et de production en local • En infra-journalier, l'algorithme de pilotage donne des consignes aux installations de production et de consommation <u>Conditions d'application du concept développé</u> Le concept s'applique aux situations réunissant les conditions suivantes : alimentation via réseau de distribution 400 V, présence d'énergies renouvelables, plusieurs lieux de consommation contigus, possibilité d'installer du stockage d'énergie, existence d'un gestionnaire unique d'énergie, volonté de coopération entre bâtiments
	Apports des solutions	• Une réduction des sollicitations du réseau de distribution en périodes de forte demande (appels de puissance) et un meilleur usage des énergies renouvelables locales • Une réduction de la consommation énergétique des utilisateurs de la zone d'activités grâce à leur collaboration

2.1.2. Développer des solutions de pilotage de la demande

Les résultats du projet DREAMS (2016-2017)

DREAMS	Description des solutions	Le projet DREAMS a développé une plateforme web qui identifie, agrège et active la capacité de flexibilité d'une série de clients industriels : la plateforme constitue une « centrale virtuelle » de production ou de consommation électrique.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques des dispositifs de pilotage</u> Les dispositifs de pilotage de la demande installés consistent en un boîtier incluant une carte 4G/3G et un contact sec pour le raccordement des différents équipements pilotables <u>Types de sites éligibles</u> • La majeure partie des clients industriels • Seuls certains sites tertiaires sont éligibles (selon l'ancienneté de la Gestion Technique du Bâtiment)
	Apports des solutions	La plateforme web – du même nom que le projet - permet au consommateur de : • Suivre sa consommation et les prix de marché de l'électricité • Anticiper les contraintes qui pourraient exister sur le système électrique à un horizon proche • Recevoir des signaux et ordres d'activation.

DREAMS	Apports des solutions	• Décider d'accepter ou refuser les offres d'activation • Contrôler ses activations et la rémunération perçue La plateforme DREAMS est également le support métier de l'entreprise ayant développé le projet. Elle permet d'élaborer les signaux prix à destination des clients, piloter les usages, les agréger, gérer l'ensemble des processus avec les gestionnaires de réseaux, contrôler les activations.
--------	-----------------------	---

Les résultats du projet EnR Pool (2012-2015)¹

EnR Pool	Description des solutions	Le projet EnR Pool a réfléchi aux moyens de limiter l'impact de la variabilité de production des énergies renouvelables sur le système électrique en utilisant les flexibilités de consommation de sites industriels et tertiaires. Le projet a développé, testé et validé : • Des algorithmes et des équipements de pilotage de sites consommateurs en temps réel • Des mécanismes liant production EnR et flexibilités des consommateurs • Des mécanismes de marché permettant de valoriser les flexibilités identifiées
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques des productions et des consommations</u> • Dans la première phase du projet, les caractéristiques de production de 72MW d'énergie renouvelable (éolien et photovoltaïque) ont été étudiées afin d'améliorer les outils de prévision de production. Ainsi, les algorithmes développés pendant cette phase permettent d'anticiper les périodes d'erreurs de prévisions jusqu'à 72 heures à l'avance • Dans la seconde phase du projet, des consommateurs aux flexibilités complémentaires ont été identifiés et agrégés afin d'obtenir une puissance électrique modulable de 100 MW <u>Nombre d'opérations de modulation réalisées</u> • Au cours de l'année 2014, plus d'une centaine d'opérations de modulation de consommation (effacement ou stimulation) ont été réalisées
	Apports des solutions	• Le projet a permis de démontrer qu'un groupement de consommateurs - 100 MW - peut résorber des déséquilibres causés par l'intégration des EnR dans le système électrique. • La valeur créée par les mécanismes développés a été répartie de manière optimale entre les différents acteurs du système électrique, de manière à favoriser à la fois l'intégration des énergies renouvelables, mais aussi de valoriser économiquement les flexibilités des consommateurs mises à la disposition du système. • Une valorisation est envisageable sur certains mécanismes en place comme le mécanisme d'ajustement (stimulation de consommation). • Le projet EnR Pool a été un des premiers projets (début du projet en 2012) à aborder et prouver techniquement la participation d'un groupement de consommateurs industriel à la flexibilité de la demande.

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

Les résultats du projet FHyCIB (2017-2018)¹

FHyCIB	Description des solutions	Le projet FHyCIB (Flexibilité Hybride de Charges Industrielles et de Batteries) a permis de développer une solution clé-en-main de pilotage symétrique (i.e. à la hausse et à la baisse) et dynamique de charges industrielles pour valoriser les flexibilités en intégrant des systèmes de stockage chez les industriels. Les solutions FHyCIB permettent de suivre un signal complexe à l'échelle de la seconde ; elles peuvent être adaptées à un large spectre de services du système électrique, notamment à du réglage primaire de fréquence. • Système avec Automate Programmable Industriel sur site et un SCADA. • Entité de réglage capable de suivre avec précision et rapidité un signal complexe. • Interfaces de supervision des états du système en temps réel et représentation des charges décomposées par équipement monitoré.
	Périmètre et hypothèses	<u>Clients cibles</u> Les solutions ciblent les industriels électro-intensifs et les développeurs de projets de stockage
	Apports des solutions	• Un nombre accru de consommateurs peut participer aux services système (suivi fréquentiel). • Le porteur de projet estime que les solutions développées pourraient trippler la portion de réserve primaire délivrée par des moyens de réglage non-conventionnels dans les 5 prochaines années. • La solution permet d'exploiter la complémentarité entre systèmes de stockage et équipements industriels pour maximiser la valorisation de ces flexibilités, même si individuellement non-conformes aux exigences du gestionnaire de réseau. • La solution peut être adaptée pour réagir à des signaux du gestionnaire de réseau local pour répondre aux besoins d'équilibrage ou de réduction de congestions.

Les résultats du projet Smart Grid Vendée (2013-2018)²

Smart Grid Vendée	Description des solutions	Le projet Smart Grid Vendée a testé et validé une chaîne technique complète d'activations de flexibilités avec l'ensemble des parties prenantes clés : autorité concédante, gestionnaires de réseaux, agrégateurs et offreurs de capacité, fournisseurs de solutions. Ces solutions de flexibilité concernent aussi bien la production que la consommation présente sur un département.
-------------------	---------------------------	---

¹Ce projet est également traité dans [la partie 1.3.1 de ce même rapport](#).

²Ce projet est également traité dans [la partie 1.1.2 de ce même rapport](#). De plus, il a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

Caractéristiques du démonstrateur physique

- Déploiement de capteurs et d'actionneurs sur 120 bâtiments publics et 40 armoires d'éclairage public
- Mise à niveau des équipements en place sur des sites de production renouvelable (4 parcs éoliens et 4 centrales photovoltaïques) afin de pouvoir passer des ordres de flexibilités
- Mise à niveau de 5 postes en technologie numérique ; déploiement de capteurs tension-intensité sur le périmètre de ces postes sources ; déploiement anticipé de compteurs Linky sur toutes les ressources du démonstrateur
- Installation de 2 stations météorologiques dédiées à la prévision fine de production renouvelable

Caractéristiques de la chaîne technique d'activations de flexibilités et des tests réalisés

- La chaîne technique intègre les ressources de production et de consommation, l'agrégateur technique public, l'agrégateur commercial, les gestionnaires de réseau de distribution et de transport
- Les tests ont été réalisés en conditions réelles d'activations de flexibilités sur contraintes simulées pendant 3 hivers de tests.
- Trois types de solutions de pilotage des usages dans les bâtiments publics ont été testés dans le cadre du projet : une **solution s'appuyant sur la technologie LoRa**, protocole radio longue portée (avec comptage général, un compteur/actionneur par départ chauffage, 1 à 2 sondes de température par bâtiment), **deux technologies communiquant en OpenADR** avec la plateforme centrale développée dans le cadre du projet dont une solution type se composant d'un ou plusieurs compteurs d'énergie sur site, d'un **équipement de pilotage Tout Ou Rien (TOR)** et d'un **concentrateur de données** local et une autre mettant l'accent sur le confort et l'interaction avec les usagers

- **Validation technique d'une chaîne complète d'activation de ces flexibilités** intégrant toutes les parties prenantes ainsi que la mise en œuvre d'une première version par Enedis d'un Mécanisme de Gestion des Contraintes de Distribution. L'industrialisation aura lieu post projet, notamment dans le cadre du projet Nice Smart Valley et plus généralement via des travaux menés en interne Enedis.
- Les **trois principaux critères de sélection** pour la participation (ou non) de bâtiments publics dans le cadre d'une offre de flexibilité locale sont : **taux d'occupation, public accueilli** (et sensibilité thermique associée) et **isolation du bâtiment**.
- La notion d'agrégation et de maille géographique d'agrégation est essentielle lorsqu'il s'agit de valorisation à l'échelle locale pour lever des contraintes.
- La **flexibilité mise à disposition du réseau par l'éclairage public ne constitue pas un levier significatif** de flexibilité. Ceci s'explique d'une part par la faible profondeur du gisement (les luminaires ne sont pas éteints mais leur intensité lumineuse seulement réduite, les luminaires répondent à des contraintes sécuritaires et ne peuvent être systématiquement coupés) et d'autre part par la plage horaire sur laquelle ces flexibilités sont disponibles (la nuit, lorsque les contraintes réseaux sont pour la plupart du temps faibles).
- Les **trois types de technologie de pilotage présentent des compromis différents en termes de coûts/services rendus** (à l'usager final du bâtiment). Il convient pour chacun des acteurs souhaitant se lancer dans une démarche de

flexibilité de bien évaluer ces coûts et les services attendus (le plus transparent pour l'utilisateur final ou enrichi d'informations de type MDE pour l'utilisateur final).

Les résultats du projet VAF-IA (2017-2018)

VAF-IA	Description des solutions	Le projet VAF-IA (Valorisation Automatisée de la Flexibilité Industrielle Agri/agro) a développé un système qui automatise la prise de décision et la réalisation des effacements de sites agricoles et agroalimentaires pour valoriser leur flexibilité de consommation. Ainsi, le projet a permis : • De développer un algorithme amélioré et une plateforme intégrant de l'intelligence artificielle¹ pour automatiser la prise de décisions et la réalisation des effacements • De tester la valorisation des flexibilités sur certains mécanismes de valorisation.
	Périmètre et hypothèses	<u>Nombre d'effacements réalisés</u> Au total, une quarantaine d'effacements ont été réalisés au cours de l'année pour 4 sites industriels agro-alimentaires <u>Mécanismes de valorisation testés</u> • Appel d'offre effacement (AOE) • Réserve rapide
	Apports des solutions	• Le projet a permis de mettre en évidence des gains substantiels à tirer de la valorisation de la flexibilité pour les acteurs industriels, même ceux qui n'ont pas de processus électro-intensifs. • La plateforme permet aux industriels de mettre en concurrence plusieurs agrégateurs.

Les mécanismes de valorisation des flexibilités de consommation en France

Mécanismes		Description / Fonctionnement / Utilité
Mécanismes directement gérés par RTE	Régulation fréquence (Réserves primaires et secondaires R1 et R2)	• Asservissement des moyens de production (et participation désormais possible pour l'effacement pour le réglage en fréquence) pour gérer les déséquilibres très-court-terme du réseau
	Mécanisme d'ajustement	• Pour gérer les déséquilibres court-terme (en <i>intraday</i>) du réseau, RTE fait appel tous les jours à des sources de flexibilité (capacités de production et d'effacement) qui sont rémunérées (en €/MWh) si leurs offres sont acceptées par RTE
	Réserves rapides (RR)	• Pour s'assurer de la disponibilité de capacités flexibles en cas de déséquilibre importants sur le réseau, RTE contractualise des capacités de production et d'effacement pour une ou plusieurs années via un mécanisme d'appel d'offre
	Réserves complémentaires (RC)	• La production et les effacements sont en concurrence sur ces réserves
	Appels d'offre Effacement	• En plus des réserves rapides et complémentaires, RTE contractualise des capacités d'effacement uniquement chaque année. Il n'y a ici pas concurrence avec la production
	Interruptibilité	• Ce mécanisme rémunère les capacités d'effacement (> 40 MW) de gros industriels dont les process de consommation peuvent être asservis et donc activés en 5 secondes max
(NEBEF) Activation d'effacement sur le marché énergie		• Ce mécanisme permet aux opérateurs d'effacement de pouvoir valoriser leurs effacements sur le marché de gros (via la vente de blocs d'effacement - NEBEF) et non plus uniquement sur le marché d'ajustement géré par RTE
Mécanisme de capacité		• Mécanisme qui rémunère la disponibilité des capacités d'effacement et de production lors des périodes de pointe (hiver)

Source : ADEME, L'effacement de consommation électrique en France, 2017.

¹L'intelligence artificielle est un ensemble d'algorithmes conférant à une machine des capacités d'analyse et de décision lui permettant de s'adapter intelligemment aux situations en faisant des prédictions à partir de données déjà acquises (Source : CEA).

Les résultats du projet Smart Controller (2017-2018)

Smart Controller	Description des solutions	Le projet Smart Controller a développé un algorithme auto-apprenant permettant le pilotage des équipements de chauffage et climatisation et d'équipements à potentiel de stockage afin de réaliser des économies d'énergie tout en préservant le confort thermique de l'utilisateur dans l'industrie et le tertiaire. Le produit développé est en mesure de : • Piloter un ensemble de ventilo-convecteurs en réponse à des sollicitations extérieures, par exemple du réseau électrique, pour effacer les pointes de consommation et/ou les pointes tarifaires. • Piloter d'autres équipements à potentiel de stockage (frigos, congélateurs, chauffe-eau électriques, ...) sur le même principe. • Fournir une interface de gestion permettant de paramétrer le système et des tableaux de bords énergétiques mettant en évidence les gains énergétiques et le décalage de consommation.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques des sites</u> • Tertiaires (bureaux, salles de réunion), industriels <u>Conditions d'application du concept développé</u> • Le nombre d'équipements à piloter doit être relativement important pour avoir un impact sur le réseau et une rentabilité. La puissance installée minimum doit être d'environ 10 kW pour être représentative, soit entre 10 et 20 ventilo-convecteurs au minimum. <u>Indicateurs des tableaux de bord énergétiques</u> • Consommation globale du site • Consommation par m2 et par personne • Informations permettant la « mise en concurrence » des utilisateurs entre eux • L'équivalent en CO2, en baril de pétrole ou en € économisé
	Apports des solutions	• L'algorithme d'auto-apprentissage permet de réduire la consommation électrique de 22% en moyenne sur la période (mai 2018 à mars 2019). • Les expérimentations du démonstrateur ont permis de proposer des effacements pouvant aller jusqu'à 10 kW pendant une heure, parfois 2 fois par jour (note : une surconsommation globale de l'ordre de 6% d'effet rebond a été mesurée lors des expérimentations, pour des effacements de l'ordre d'une heure). • En parallèle des réductions de consommation, environ 10% de la consommation a pu être effacée ou déplacée. • En fin de projet, la solution est commercialisable, même si quelques pistes d'améliorations demeurent.

Les résultats du projet Smart Electric Lyon (2012-2017)¹

Smart Electric Lyon	Description des solutions	Le projet Smart Electric Lyon a instrumenté plus de 50 sites tertiaires (entreprises et collectivités) avec différentes solutions techniques et commerciales , et a établi un certain nombre de recommandations sur l'implémentation de démarches de MDE et de pilotage de la demande dans le secteur tertiaire.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques du territoire d'expérimentation</u> - Le territoire est celui du Grand Lyon - Un des premiers territoires équipés de compteurs communicants en 2015 <u>Solutions</u> - Techniques : systèmes de gestion d'énergie, affichage, chauffages électriques pilotés - Développement d'un ERL – Emetteur Radio Local² – qui permet de lier le compteur communicant à des objets connectés sur site - Commerciales : offres tarifaires - Après un premier travail de recherche d'actions d'efficacité énergétique, des effacements de 2 heures le matin et/ou l'après-midi ont été mis en œuvre, sur les périodes hivernales <u>Leviers d'actions</u> - La restitution d'information au client - Des équipements performants connectés - Un signal économique via les tarifs <u>Principaux usages ciblés</u> - Chauffage et climatisation aérauliques, convecteurs, ventilation, rideau d'air chaud, groupe froid, éclairage d'intérieur, plancher chauffant/plafond rayonnant
	Apports des solutions	- Gisement MDE : jusqu'à 50% d'économie observés sur les consommations annuelles (kWh) de l'ensemble des sites monitorés - Une fois le contexte du site bien cerné (spécificité du bâti, équipements en place, acteurs impliqués), la démarche de MDE dans le tertiaire peut être structurée en 4 étapes : (1) audit énergétique, (2) instrumentation du site et diagnostic énergétique, (3) définition et mise en place des actions de MDE, (4) suivi du comportement énergétique du bâtiment dans le temps - Gisement flexibilité : Jusqu'à 30 % de gain en termes de puissances effacées (kW), hors éclairage public - Entre 18h et 20h en hiver, il est possible d'effacer 75% de la puissance installée en éclairage public, sous réserve que l'éclairage en période de pointe soit suffisant pour être acceptable par les usagers. - Le marché de la flexibilité sur les typologies de clients tertiaires du projet n'est pas mature (pas de retour sur investissement satisfaisant en 2017), et devra être adossé aux offres de services MDE.

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

²L'ERL est un module radio bi-bande développé dans le cadre du projet. Il permet la transmission sans fil des données de la Télé Information Client (TIC) du compteur communicant aux équipements de l'habitat ou des bâtiments. Les données issues de l'ERL permettent de faire en temps réel du pilotage tarifaire et de la visualisation de consommation ou production en temps réel avec un afficheur chez le particulier. L'ERL peut aussi concerner les clients résidentiels et les petits professionnels dès lors qu'ils possèdent un compteur communicant.

- **Normalisation**

- o Les travaux menés sur les domaines résidentiel et tertiaire ont permis d'identifier plusieurs dizaines de cas d'usage et de produire les architectures fonctionnelles associées. Ils ont été inclus dans la description des cas d'usage génériques Smart Building à l'IEC (ou CEI : Commission Électrotechnique Internationale).
- o Le fait que ces travaux soient normalisés répond aux besoins français, mais ouvre aussi des potentiels de développement à l'international pour les fabricants de matériel (partenaires de Smart Electric Lyon, entre autres).

Les résultats du projet syNergies (2016-2017)¹

Le projet syNergies visait à simuler l'achat direct par une collectivité publique d'électricité d'origine renouvelable produite sur son territoire. Le projet a également permis de développer **un service de suivi des consommations des bâtiments publics** (décomposées par usages) disponible en temps réel.

Caractéristiques du terrain d'expérimentation

- Le projet est parvenu à fédérer 5 collectivités, de tailles et natures variées allant de la métropole à la communauté de communes rurales, de la région au syndicat départemental d'électricité, en passant par la Ville de Paris
- Plus de 150 bâtiments ont été inclus dans le projet dont plus d'une cinquantaine avec un suivi de consommation précis (courbe de charge – pas de temps 10 mn) pendant plus d'une année
- Les échanges d'électricité se font grâce au réseau de distribution existant
- Les simulations prennent en compte des capacités d'effacement et de stockage sur le périmètre de la collectivité afin de maximiser l'équilibre offre-demande temps réel

- Le projet a démontré **l'intérêt économique d'une alimentation en circuit court des bâtiments publics en électricité**.
- L'identification d'économies d'énergie, la présentation de la consommation décomposée par usages en temps réel, et l'analyse des consommations et appels de puissance des bâtiments publics a eu un **effet pédagogique**.
- Le service développé permet à une collectivité de :
 - o Donner du sens au développement local de projets EnR.
 - o Mieux comprendre les fondamentaux du marché de l'électricité.
 - o Aider financièrement le développement de projets d'électricité renouvelable locaux.

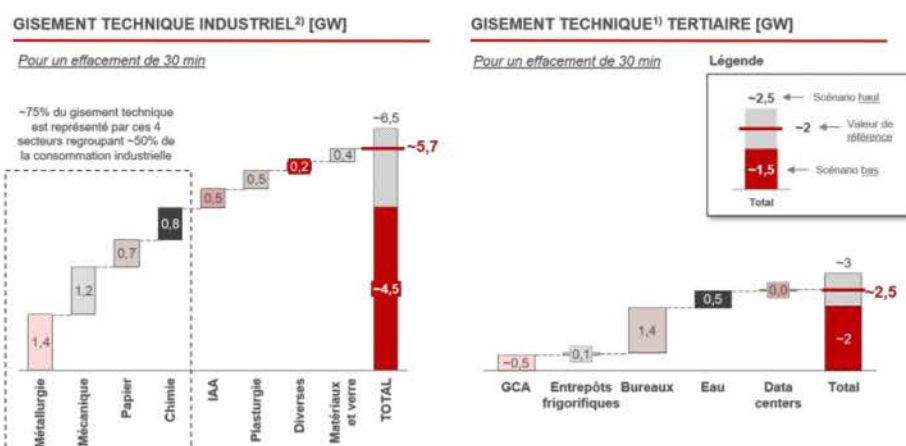
¹Ce projet est également traité dans [la partie 3 de ce même rapport](#).

Zoom sur les gisements d'effacement dans l'industrie et le tertiaire

Des gisements encore inexploités, selon une étude ADEME de 2017

Une étude de l'ADEME¹ a permis de quantifier le gisement technique d'effacement par modulation de process (pour des effacements de courte durée) à entre 6,5 à 9,5 GW en cumulé pour l'industrie et les secteurs du tertiaire analysés :

- **Le gisement technique est principalement concentré sur l'industrie**, et en particulier sur 4 secteurs (métallurgie, mécanique, chimie et industrie du papier) qui représentent à eux seuls les 3/4 du gisement technique industriel.
- Les secteurs tertiaires analysés représentant un **potentiel global** plus faible (~2 à 3 GW pour des courtes durées), principalement **concentré sur les bureaux et le grand commerce alimentaire**.



1) Scénarios haut et bas estimés sur la base de variation autour de la part de puissance effaçable par usage de +/- 10 points (40% et 80% pour une hypothèse de référence à 50% pour le froid dans le grand commerce alimentaire par exemple.

2) Scénarios haut et bas estimés sur la base d'estimation, usage par usage, d'une hypothèse haute et basse sur la part de puissance effaçable (Cf annexes)

3) Gisement accessible hors contraintes économiques

Si le gisement technique estimé est important (> 6 GW), le **gisement technico-économique dépend quant à lui du niveau de rémunération accessible et est plus limité**. Les capacités accessibles sont estimées entre ~1,5 et ~3,6 GW pour des rémunérations de ~30€/kW/an ou inférieur et entre ~2 et ~5 GW pour des rémunérations de ~60€/kW/an ou inférieure. Les capacités constituant le gisement le plus accessible économiquement sont principalement concentrées sur les secteurs de la métallurgie, la chimie et l'industrie du papier. A l'inverse, le gisement représenté par les secteurs « diffus » (tertiaires petits sites ou petite industrie) sont estimés comme majoritairement accessible pour des rémunérations élevées, supérieures à 60 €/kW/an.

Les principaux freins identifiés dans le cadre de l'étude sont d'ordre économique (difficile équilibre à atteindre entre coûts d'instrumentation ou contraintes d'organisation interne et la rémunération des effacements) ainsi que **d'ordre organisationnel** (manque de connaissance du sujet, multiplicité des interlocuteurs, ...).

¹ADEME, L'effacement de consommation électrique en France, 2017.

2.2. Comment faire participer un nombre accru de consommateurs résidentiels aux objectifs d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande, et développer chez eux une « culture énergie » ?

Les résultats ont été catégorisés selon le type de solutions que les projets ont développé : des solutions d'efficacité énergétique, ou des solutions combinées d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande.

2.2.1. Développer des solutions d'efficacité énergétique	2.2.2. Développer des solutions combinées d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande
ABIILE	Smart Electric Lyon
OAA	
SOLENN	
TBH Alliance	

2.2.1. Développer des solutions d'efficacité énergétique

Les résultats du projet ABIILE (2016-2017)

ABIILE	Description des solutions	Le projet ABIILE a conçu un moteur d'alertes comparatives des consommations électriques à partir de courbes de charge issues de Linky afin de pouvoir détecter des anomalies dans la consommation.
	Périmètre et hypothèses	<u>Périmètre fonctionnel</u> • Détection des composantes thermiques d'une consommation ; calcul de gradient et mise à jour automatique de ce gradient et donc de la consommation thermique du site • Estimation d'une consommation moyenne non thermique et génération des consommations prévisionnelles • Fonctionnement en temps quasi réel (de quelques heures à quelques jours selon le type de données, et après réception des données) • Comparaison avec une moyenne historique, ou des données de consommation moyenne de sites équivalents pour permettre d'expliquer les alertes • Les API nécessaires aux échanges de flux sont développées et documentées
	Apports des solutions	La solution transmet des informations techniques spécifiques et des conseils d'optimisation , permettant au consommateur de modifier ses systèmes et de générer rapidement une économie substantielle. Exemples d'informations spécifiques et de conseils : • « Votre climatisation reste en marche toute la journée, alors qu'il n'y a personne » • « Un réglage du thermostat vous permettrait d'économiser xx €/an » • « Votre chauffe-eau est entartré/obsolète/peu efficace ; un entretien ou un changement vous permettrait d'économiser xx €/an » • « Votre consommation de veille a augmenté de manière très significative le jj/mm/aaaa ; il se peut qu'un de ces équipements soit resté en marche permanente (filtration piscine, ventilation, halogène » Les modules de détection, d'alerte et de prévision sont opérationnels et sont déployés en environnement commercial , sur la plateforme SaaS de Homepulse.

Les résultats du projet OAA (2016-2017)

OAA	Description des solutions	Le projet OAA (Optimiseur Auto Apprenant) a développé un algorithme de pilotage des consommations électriques d'une maison pour les synchroniser avec la production solaire photovoltaïque .
	Périmètre et hypothèses	L'application développée affiche aux utilisateurs de la box Comwatt les données de production solaire et de consommations électriques de leurs appareils au pas de deux minutes (la fréquence de deux minutes est nécessaire pour un pilotage fin). Pour une meilleure compréhension par le particulier de sa consommation d'énergie et de ses leviers d'optimisation, ces données brutes ne sont pas suffisantes et sont retravaillées et présentées sur l'application : top 5 des appareils les plus consommateurs, indicateurs-clés de performance, alertes de surconsommation, comparaison avec des installations équivalentes, etc.
	Apports des solutions	La solution développée permet de : - Maximiser l'utilisation sur place de l'énergie solaire produite sur le toit d'une maison ; ce gain sur l'autoproduction peut être estimé à 10%. - Diminuer la consommation électrique d'une maison sans toucher au confort des habitants et en s'adaptant automatiquement aux spécificités de chaque site et de chaque utilisateur ; ce gain en efficacité énergétique peut-être estimé à 5%. L'optimisateur auto-apprenant, après la phase d'industrialisation, sera mûr pour être déployé sur l'ensemble du parc Comwatt.

Les résultats du projet SOLENN (2014-2018)¹

SOLENN	Description des solutions	Afin de sensibiliser les consommateurs aux économies d'énergie et d'identifier les actions prioritaires à mettre en place sur le territoire, le projet SOLENN a développé un dispositif d'animation et a utilisé les données de consommation électrique réelles issues des compteurs communicants Linky. Ainsi, les porteurs de projet (Enedis, étant le coordonnateur du projet) ont développé : 4 portails internet ayant pour spécificité commune et principale d'afficher à minima l'information de consommation du compteur Linky. - Une plateforme d'animation Ti-Solenn permettant la collecte de données de consommation individuelles après recueil du consentement, la restitution de ces données sous forme agrégée, et aussi un coaching individuel et la proposition d'animations collectives. - Côté GRD, un procédé spécifique qui permet de diminuer ponctuellement la consommation (« écrêtement ciblé²») sur une partie des foyers expérimentateurs du projet via envoi d'ordres aux compteurs Linky. Son utilisation n'est envisagée que dans le cadre précis d'une contrainte réseau afin de diminuer les recours au délestage.
--------	---------------------------	--

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

²Plutôt que de couper l'alimentation électrique d'un petit nombre de clients, l'écrêtement ciblé envisage de restreindre l'alimentation électrique d'un plus grand nombre de clients en leur garantissant les usages électriques qu'ils considèrent les plus critiques.

Caractéristiques du terrain d'expérimentation

- 900 foyers, équipés de compteurs communicants, dont :
 - o 600 expérimentateurs qui ont agi sur leur consommation d'énergie grâce à plusieurs outils et un accompagnement dédié.
 - o 300 témoins acteurs de leur consommation contribuant, grâce à leur participation et à leurs commentaires, à tester des solutions pour maîtriser la consommation d'énergie.

Pour l'écrêtage ciblé, Enedis a piloté au total 22 tests de modulation de puissance sur 3 ans, avec une moyenne de 250 expérimentateurs pour chaque test.

- 2 communes de Lorient Agglomération

Durée de l'expérimentation

- 4 ans

Informations disponibles sur les sites Internet à disposition des expérimentateurs

- Comparaison sur deux périodes définies
- Comparaison de la consommation de son foyer avec celle de foyers équivalents
- Evaluation des dépenses d'électricité par usage domestique
- Conseils généraux et éco-gestes, participation à des challenges
- Actualités sur la maîtrise de l'énergie
- Consultation et participation à un forum entre expérimentateurs

- Un parcours de consentement sécurisé pour le foyer a été développé, afin d'autoriser la transmission de ses consommations à des partenaires du projet. Enedis a par la suite industrialisé le **dispositif de recueil des consentements** clients pour la mise à disposition de données « Enedis Data Connect » et a mis en service un portail de visualisation des données des consommations individuelles.
- Économies d'énergie :
 - o Au périmètre des foyers, **le gain sur la facture d'électricité des expérimentateurs SOLENN avec chauffage électrique bénéficiant de la solution d'animation collective uniquement est estimé à 30 €/an pour un prix fixé à 148 €/MWh**. Sur la consommation d'énergie, le gain unitaire annuel moyen s'élève à 201 kWh en 2018 et est compris entre 199 kWh et 200 kWh/an (scénarios avec ou sans rénovation des logements) en 2030. Ces calculs n'ont pas pu être réalisés individuellement pour les autres solutions (accompagnement individuel et domotique) en raison de la faible quantité de données disponibles pour ces panels.
- **Écrêtement ciblé** – non industrialisé en fin de projet : **des effets notables** sur la consommation globale des foyers sont observés **à partir d'un niveau de 60%-70% de réduction de la puissance souscrite sur 2 heures**.
- In fine, une montée en compétences des partenaires publics locaux du projet (collectivité, Agence Locale de l'Energie, association de consommateur, Région) sur la mise en pratique d'actions de MDE et un partage de cette connaissance avec leurs pairs dans une optique de répliquabilité.

Les résultats du projet TBH Alliance (2014-2017)

TBH Alliance	Description des solutions	Le projet TBH Alliance (Tableaux de Bord de l'Habitat) a mené une large étude sur un panel représentatif de consommateurs résidentiels. Cette étude a permis de mesurer les économies en électricité réalisées via le recours à différents systèmes d'affichages.
	Périmètre et hypothèses	<u>Composition du panel</u> • Le panel recruté était de 3200 personnes en début d'expérimentation • Le panel comportait 2973 personnes en fin d'expérimentation <u>Représentativité du panel</u> • Le panel est représentatif sur 3 critères retenus en début d'étude : la zone climatique (H1, H2 et H3), la consommation annuelle d'électricité, le type d'habitat. • Le panel représente des déséquilibres sur les 2 autres critères retenus en début d'étude : la Catégorie Socio Professionnelle (CSP) – avec une surreprésentation des « cadres et professions intellectuelles supérieures », et le nombre de personnes dans le foyer – avec une surreprésentation des familles nombreuses <u>Types de logement</u> • Appartements, maisons <u>Systèmes de restitution et de support client</u> • Tablette, e-mail, SMS, hotline, internet, smartphone <u>Équipements</u> • Un capteur optique d'impulsion • Une prise communicante (« smart plug ») • Un capteur confort intérieur • Un capteur météo extérieur <u>Principaux indicateurs présentés</u> • Consommation d'électricité : courbe de charge, consommation journalière, puissance instantanée, estimation de la répartition de la consommation par usage sur une période donnée • Confort : températures intérieures et extérieures aux logements, hygrométrie <u>Usages considérés</u> • Éclairage, cuisine (cuisson, froid, lave-vaisselle), linge (lavage, séchage), multimédia (TV, ordinateurs, box, téléphone, etc.), petit électroménager, CVC (VMC, circulateur chauffage), eau chaude sanitaire, chauffage
	Apports des solutions	L'étude a permis de formuler plusieurs enseignements détaillés dans l'encadré « Les principaux enseignements du projet TBH Alliance », voir page suivante.

Les principaux enseignements du projet TBH Alliance



Les économies réalisées, de **7,7% en moyenne**, croissent avec le niveau de consommation. Ce sont les **gros consommateurs équipés de chauffage électrique qui font le plus d'économies** avec une moyenne proche de **10%**. Les petits consommateurs ne font pas d'économies.



L'affichage du niveau de confort (température et hygrométrie) est un **élément déterminant dans l'impact du dispositif** :

- il favorise la récurrence de l'utilisation du système,
- il pousse à mieux régler le chauffage et l'aération.



Les consommateurs marquent une nette **préférence pour la consultation de leur données sur une tablette dédiée**, plus simple et plus accessible que le web.



Un **accompagnement et un suivi personnalisé, dans la durée**, sont nécessaires pour les foyers en situation de **précarité énergétique**.



Extrapolées à l'ensemble des consommateurs français d'électricité⁽¹⁾, les **économies d'électricité seraient comprises** entre **7,3 et 8,4 TWh/an⁽²⁾**, et les économies d'émission de gaz à effet de serre de 663 000 à 760 000 tonnes de CO₂/an⁽³⁾.



Les fonctionnalités préférées sont :

- la **consommation journalière** sur les sept derniers jours,
- les données de **confort et météo**
- la **répartition par usages**

- (1) La production d'une tranche nucléaire est en moyenne de 7,5 TWh/an.
 (2) L'équivalent des émissions de 430 000 voitures neuves parcourant 15 000 km/an.
 (3) En appliquant les économies par tranche de consommation au nombre de clients par tranche.

Images : Livre blanc TBH Alliance, Affichage des consommations d'électricité : comprendre pour économiser, 2017.

Crédit image : Consortium TBH Alliance.

Les résultats du projet Smart Electric Lyon (2012-2017)¹

Smart Electric Lyon	Description des solutions	Le projet Smart Electric Lyon a expérimenté auprès de 25000 foyers différentes solutions techniques et commerciales , et a établi un certain nombre de recommandations sur l'implémentation de démarches de MDE et de pilotage de la demande dans le secteur résidentiel.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristiques du territoire d'expérimentation</u> • Le territoire est celui du Grand Lyon. • Un des premiers territoires équipés de compteurs communicants en 2015. <u>Solutions</u> • Techniques : systèmes de gestion d'énergie, affichage, chauffages électriques pilotés - o Développement d'un ERL² – Émetteur Radio Local – qui permet de lier le compteur communicant Linky à des objets connectés dans le foyer • Commerciales : offres tarifaires <u>Leviers d'actions</u> • La restitution d'information au client (consommation en temps réel, bilans personnalisés) • 18 solutions des partenaires industriels installées et évaluées, toutes liées au Linky • Un signal économique via les tarifs (une dizaine de tarifs innovants testés³) <u>Principaux usages ciblés</u> • Chauffage électrique, pompes à chaleur, eau chaude sanitaire
	Apports des solutions	Les solutions testées et l'analyse des résultats de l'étude a permis de montrer que : • Des tarifs avec équipement de pilotage (21 % de baisse des consommations sur 44 heures d'effacement) sont plus efficaces que des tarifs à incitation sans équipement de pilotage automatisé (5 % sur 60 heures d'effacement). • Sur une période de 31 mois, la comparaison de consommation des foyers avec celle de logements similaires permet des baisses progressives et significatives des consommations annuelles : la moyenne mesurée et validée est de 1,6 % ce qui équivaut à 3,75 GWh de consommation évitée. Il est également à noter une forte saisonnalité de ces résultats : en été, les baisses ont atteint au mieux 1,2 %, alors qu'en hiver ce chiffre grimpe à 2,9 %. • Normalisation : - o Les travaux menés sur les domaines résidentiel et tertiaire ont permis d'identifier plusieurs dizaines de cas d'usage et de produire les architectures fonctionnelles associées. Ils ont été inclus dans la description des cas d'usage

¹Ce projet a en partie été traité dans le rapport ADEME « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » de 2016.

²L'ERL est un module radio bi-bande développé dans le cadre du projet. Il permet la transmission sans fil des données de la Télé Information Client (TIC) du compteur communicant aux équipements de l'habitat ou des bâtiments. Les données issues de l'ERL permettent de faire en temps réel du pilotage tarifaire et de la visualisation de consommation ou production en temps réel avec un afficheur chez le particulier. L'ERL peut aussi concerner les clients résidentiels et les petits professionnels dès lors qu'ils possèdent un compteur communicant.

³Via différentes options tarifaires (notamment des tarifs de type « pénalisation » - c'est-à-dire- faire payer plus en période de pointe - et d'autres « d'encouragement » - c'est-à-dire récompenser lorsque l'on consomme moins en période chargée.

génériques Smart Building à l'IEC (ou CEI : Commission Électrotechnique Internationale).

- o Le fait que ces travaux soient normalisés répond aux besoins français, mais ouvre aussi des potentiels de développement à l'international pour les fabricants de matériel (partenaires de Smart Electric Lyon, entre autres).

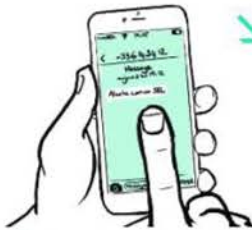
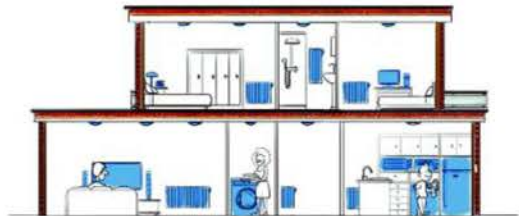
Les 5 types de projets énergétiques selon le projet Smart Electric Lyon (pour des clients résidentiels)



2. **Projet "innovation énergétique"** : il correspond à des foyers jeunes et actifs, qui consacrent une part importante de leurs revenus et de leur temps à chercher des innovations (systèmes énergétiques, panneaux photovoltaïques, etc.). Leur participation est motivée par cette dimension du projet.



3. **Projet de "gestion"** qui est le fait de foyers cherchant à gérer de façon dynamique leurs équipements. Avec des vastes logements mais des revenus limités, ils visent l'optimisation de leur usage de l'énergie.



4. **Projet de "maîtrise des risques"** : projets des ménages aux revenus moyens disposant de connaissances énergétiques. Leurs logements sont de surface moyenne et la qualité du bâti faible. Du fait d'un revenu modéré et d'un manque de temps, ces ménages sont très réceptifs aux dispositifs de pilotage automatisé.



5. **Projet de "modération contrainte"** : il concerne des foyers en précarité énergétique (plus de 10 % des revenus consacrés à l'énergie) avec des compétences limitées en énergie. Ils ont adopté des modes de consommation frugaux et optent pour des modes de gestion empirique centrés sur l'intervention manuelle.



1. **Projet "confort et participation"** :

il est le fait de ménages aisés, disposant de solides connaissances énergétiques, occupant des logements de grande surface dont la qualité du bâti et des équipements est notable. Ils sont souvent à leur domicile. Ces ménages jouent à plein le jeu de la flexibilité dans leur recherche de confort.



Images : Bilan du démonstrateur Smart Electric Lyon, Pour vivre l'énergie simplement, 2017.

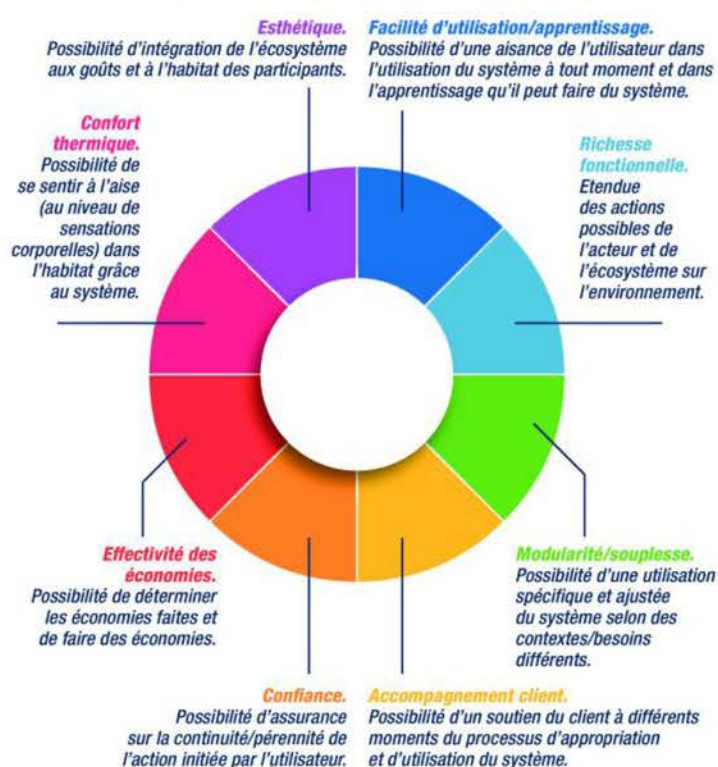
Crédit image : Consortium Smart Electric Lyon.

Le radar de l'appropriation selon le projet Smart Electric Lyon (pour des clients résidentiels)

ZOOM MÉTHODO'

Cette approche, dans Smart Electric Lyon, développe une idée forte : la possibilité d'appropriation des écosystèmes repose sur la conjonction de dimensions clés : 8 vecteurs ont été distingués pour permettre de spécifier la qualité du couplage ouvrant sur des possibilités d'appropriation.

LES 8 VECTEURS D'APPROPRIATION CONSTRUITS DANS LE CADRE DE SMART ELECTRIC LYON



L'articulation de ces situations d'action et de ces phases ouvre sur une compréhension formelle des situations d'appropriation. Le projet Smart Electric Lyon a permis de développer un outil, le "radar de l'appropriation" pour rendre compte de la qualité du couplage et peut, lorsqu'il est établi à plusieurs reprises sur un temps long, rendre compte de l'évolution de ce couplage.

Source : Bilan du démonstrateur Smart Electric Lyon, Pour vivre l'énergie simplement, 2017.

Crédit image : Consortium Smart Electric Lyon.

**Les bénéfices de la flexibilité du point de vue du client
selon le projet Smart Electric Lyon
(pour des clients résidentiels)**

Les incitations par l'innovation tarifaire, les évolutions des normes sociales ainsi que l'appétence pour de nouveaux services de gestion de l'énergie sont à la base de la valorisation de la flexibilité du point de vue du client.

La valeur repose ainsi sur trois principaux types de bénéfices.

- Le 1^{er} est lié à la **réduction des factures énergétiques**. Le bénéfice du point de vue du consommateur ne résulte pas d'un simple calcul économique et rationnel : ses perceptions, en matière de tarifs avantageux ou préférables, sont à prendre en compte dans l'estimation de son bénéfice et de son adhésion à de nouveaux tarifs. Les résultats montrent qu'une part minoritaire des ménages (10 à 15 %) fait son choix à partir du calcul explicite de l'impact de chaque tarif proposé sur sa facture.
- La 2^e résulte des **avantages perçus pour la société** : émissions de polluants, économies de ressources... Ils sont liés à la norme sociale qui prévaut en matière de consommation d'énergie et qui s'oriente vers moins de consommations et plus d'économies de ressources. L'évaluation (par la méthode d'évaluation contingente) des consentements à payer pour de nouveaux services indique, par exemple, que 46 % des ménages affichent des consentements à payer positifs pour consommer de l'électricité d'origine renouvelable.
- La 3^e provient des services associés à la **caractéristique smart des équipements** : meilleure programmation du chauffage, confort, image sociale... Plus difficiles à mesurer, ils sont liés à la perception des nouvelles technologies et à leur insertion dans les habitudes de consommations. Si jusqu'à 24 % des ménages interrogés dans le cadre de Smart Electric Lyon présentent un consentement à payer positif, la moitié d'entre eux sont disposés à payer moins de 2,80 € par mois pour le service proposé.

En l'absence d'incitations tarifaire ou non-tarifaire (nudges), il semble que **les solutions smart représentent un marché de niche**, avec seulement 4 % des ménages affichant une disposition à payer plus de 6 € par mois en supplément sur la facture d'électricité.

Source : Bilan du démonstrateur Smart Electric Lyon, Pour vivre l'énergie simplement, 2017.

Crédit image : Consortium Smart Electric Lyon.

Linky – une brique utile à la MDE et au pilotage de la demande

Le compteur communicant Linky, dont le déploiement sur le territoire français est aujourd'hui effectif dans plus de 22 millions de foyers à fin 2019, est **une brique essentielle pour le pilotage de la demande**, à la fois dans une logique de MDE mais aussi dans une logique de participation à l'équilibre offre demande du système électrique. Comme évoqué plus haut, plusieurs projets suivis par l'ADEME ont expérimenté ou utilisé les fonctionnalités Linky :

ABIILE	Digisol	Effigini	Fusini	GreenLys	Nice Grid
Smart Electric Lyon		Smart Grid Vendée		SOLENN	VERTPOM

Le projet de recherche **RESCOMPTE**, soutenu par l'ADEME dans le cadre de l'APR « Transitions écologiques, économiques et sociales », a proposé d'étudier la **réception sociale des compteurs électriques communicants**. L'étude part du constat que malgré leur entrée dans l'arène publique comme outils sociotechniques au service de la transition énergétique et du développement durable, les compteurs communicants font l'objet, en France et à l'étranger, d'**oppositions publiques**¹.

La controverse autour du compteur communicant Linky est un sujet à adresser. C'est pourquoi l'ADEME a apporté des éléments de pédagogie au débat en publiant en 2018 un [avis sur les compteurs communicants pour l'électricité](#), dont quelques messages sont repris ici :

L'ADEME soutient le déploiement des compteurs communicants qui présentent de réels bénéfices pour le consommateur, la collectivité et la transition énergétique.

Par rapport aux anciens compteurs, les compteurs communicants permettent d'accéder à des données plus précises sur la consommation globale du logement ou du bâtiment. Les différentes études ou projets suivis par l'ADEME montrent que l'accès à une information plus précise est **une opportunité pour les consommateurs de mieux connaître, comprendre et potentiellement agir** pour réduire leur consommation d'énergie. Elles montrent également que, pour les particuliers, ces **économies d'électricité peuvent atteindre 10% pour les plus gros consommateurs**. Pour les « petits » professionnels, avec des niveaux de consommations souvent plus élevés, les bénéfices peuvent se montrer d'autant plus intéressants.

Pour les collectivités, les bailleurs et les copropriétés, ces nouveaux compteurs sont aussi synonymes d'une **vision beaucoup plus précise de leur consommation, agrégée par bâtiment** : ils leur permettront de mieux suivre leurs dépenses énergétiques et d'agir sur leur patrimoine ou d'apporter des conseils à leurs habitants.

L'installation des compteurs communicants ne suffit pas à elle seule : il est nécessaire **d'engager des actions de sensibilisation et de pédagogie** pour permettre aux particuliers de bénéficier pleinement des fonctionnalités de leur compteur communicant pour l'électricité.

Source : ADEME, Les compteurs communicants pour l'électricité (Linky), 2018.

¹Pour valoriser le travail de recherche mené, à date non encore achevé, deux articles scientifiques ont été publiés :

Draetta, L. & Tavner, B. De la fronde anti-Linky à la justification écologique du smart metering : retour sur la genèse d'un projet controversé, 2019.

Draetta, L. The social construction of a health controversy, The case of electricity smart meters in France, Annuals of Telecommunication, 2018.

2.3. Comment faciliter la recharge des véhicules électriques et exploiter la flexibilité de leur recharge pour une gestion optimisée du système électrique ?

Afin d'adresser les enjeux du développement de la mobilité électrique - rendre accessibles les infrastructures de recharge, rendre la recharge simple au quotidien, préparer son intégration au système électrique, exploiter les flexibilités offertes par le véhicule électrique), l'ADEME a soutenu plusieurs projets :

- Les projets **BienVEnu et FLEXBAT**, qui visaient à lever des verrous autour du développement des IRVE des logements résidentiels collectifs et dans le tertiaire.
- **Plusieurs projets accompagnés par le Service Transports et Mobilité de l'ADEME**, en lien avec (i) et les IRVE et les usages de la mobilité (dans une logique d'interopérabilité et de coopération internationale), et (ii) l'interaction de la recharge de VE et la production EnR locale.

Les résultats du projet BienVEnu (2015-2018)

BienVEnu	Description des solutions	Le projet BienVEnu a développé une solution technique et commerciale de recharge intelligente de véhicules électriques en logements résidentiels collectifs , permettant des raccordements progressifs, rapides et à un coût satisfaisant.
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristique de la solution de recharge</u> • La solution est basée sur une infrastructure en grappe pour véhicules électriques (VE) en logements collectifs • La solution permet des raccordements progressifs, au fil de l'arrivée de nouveaux VE dans le parking, à la fois rapides et à un coût satisfaisant • L'algorithme de dimensionnement conçu a la capacité d'intégrer à la fois les contraintes de charge des VE (prise en compte des contrats de service définis avec le client (prioritaire, standard, éco, éco-nuit)), mais également les contraintes de puissance maximale appelable pour limiter l'impact de la charge des VE localement pour le réseau de l'immeuble et pour le réseau public de distribution d'électricité • Une offre commerciale a été construite et diffusée aux bailleurs et conseils syndicaux des copropriétés • Une chaîne de communication bidirectionnelle entre le RPD (Réseau Public de Distribution) et une IRVE a été développée et testée • L'analyse de l'apport d'une brique V2G (charge réversible) à l'algorithme de charge a été effectuée. Aucune expérimentation terrain du V2G n'a été menée. <u>Caractéristiques du terrain d'expérimentation</u> • La solution a été déployée et pérennisée sur 10 résidences en Ile-de-France : 84 bornes de recharges ont été installées, dont 16 utilisées pour proposer un service d'autopartage aux résidents
	Apports des solutions	Le projet a montré que le dimensionnement d'une installation de recharge de véhicules électriques se fait en introduisant un coefficient de foisonnement¹, lequel converge vers 0,4 pour les grands parcs de stationnement. • À l'échelle de la grappe de charge, l'optimisation de la puissance souscrite par étalement de la demande de recharge constitue un gain pour la résidence, car le

¹Ici, le coefficient de foisonnement est un facteur multiplicatif (compris entre 0 et 1) appliqué à la puissance électrique que pourrait soutenir l'IRVE au bâtiment si tous les VE se chargeaient en même temps à pleine charge. Ce coefficient permet d'évaluer le taux d'utilisation simultanée de l'IRVE et intègre notamment : le nombre de VE chargés simultanément, le type de véhicule (VE ou VHR), l'état de charge de chaque véhicule, la puissance de charge réelle du véhicule raccordé.

coût de l'abonnement sera plus faible.

- À l'échelle du réseau de distribution, l'envoi d'une consigne de puissance maximale du poste HTA/BT **vers une Infrastructure de Recharge pour Véhicules Electriques** (IRVE) par le GRD, en cas de contraintes futures du réseau, a été démontrée. Cependant, la valorisation de ce potentiel est complexe et n'a pu être chiffrée dans le cadre du projet.

La dimension « pré-équipement » électrique collectif du bâtiment en vue de l'accueil futur de bornes de recharge individuelles n'existait pas au démarrage du démonstrateur BienVEnu. C'est en quelque sorte BienVEnu qui a apporté cette dimension.

Par ailleurs, **l'autopartage « en boucle » a été testé et validé dans le projet**. Ce type d'autopartage est un service pour lequel le conducteur doit absolument revenir au point de départ pour terminer sa course, chaque véhicule disposant de son point de recharge attitré. Ce mode d'autopartage est adapté au milieu urbain et peut également être implanté sur des territoires moins denses. Il est adapté à un service au sein d'une résidence, avec éventuellement un accès aux résidences environnantes via un contrôle d'accès mis en place par un opérateur d'autopartage. L'analyse coût-bénéfices a montré que, en fin de projet :

- **L'équilibre financier direct** (i.e. avec uniquement la recette des usages) **est très difficilement atteignable** ; dans la plupart des cas, une partie du service devra être prise en charge par le gestionnaire.
- Cependant, un service d'autopartage largement utilisé apporte, au-delà des bénéfices économiques directs :
 - o **Des bénéfices économiques indirects** : valorisation foncière, économies de dépenses liées au transport pour les usagers
 - o **Des bénéfices non-économiques** : l'accès à une offre supplémentaire et accessible de mobilité, la réduction des émissions de CO2 liées à l'utilisation des véhicules individuels, une baisse de la pollution et des maladies associées

Enfin, [un guide pour l'installation d'une infrastructure de recharge de VE dans le résidentiel collectif](#) a été développé et présente l'ensemble des solutions existantes, testées ou non dans le projet BienVEnu. Le guide présente **l'ensemble des actions à mener pour l'installation d'une infrastructure de recharge dans des logements résidentiels collectifs existants**. Ces actions sont nombreuses et varient selon que la démarche est individuelle ou collective, et selon que le demandeur est locataire ou propriétaire :

- Informer au préalable (e.g. en Assemblée générale des copropriétaires, présentation au bailleur)
- Obtenir des devis de plusieurs installateurs/opérateurs de recharge
- Caractériser finement le site et dimensionner l'installation/la puissance souscrite
- Identifier les aides à l'investissement disponibles
- Décider collectivement, le cas échéant, de l'investissement (e.g. par vote en Assemblée Générale)
- Identifier le besoin - actuel et futur - au sein de l'immeuble (nombre de points de charge à installer)
- Choisir le type de borne de recharge, l'architecture pour le raccordement de l'infrastructure au réseau de distribution et le système de supervision de l'infrastructure de recharge

Les résultats du projet FLEXBAT (2015-2018)¹

FLEXBAT	Description des solutions	Le projet a traité le sujet de la flexibilité des bâtiments et de la recharge des véhicules électriques En lien avec le volet de la mobilité électrique, le projet a notamment développé : • Une interface permettant de visualiser les données du site Kergrid via des indicateurs et des estimateurs • Un logiciel d'arbitrage des flux électriques en temps réel d'un bâtiment regroupant production, consommation et stockage • Des solutions de recharge intelligente pour le site • Une étude de l'impact technique et économique du Vehicle-to-Grid (V2G), soit la décharge de la batterie du véhicule sur le réseau, sur le bâtiment tertiaire Kergrid
	Périmètre et hypothèses	<u>Caractéristique du terrain d'expérimentation</u> • Le terrain d'expérimentation était le bâtiment expérimental de Kergrid, siège du coordinateur de projet Morbihan Energies, regroupant production solaire photovoltaïque, stockage (stationnaire ou mobile avec les VE) et recharge de VE in situ
	Apports des solutions	• Le projet a permis de montrer que : - o La difficulté d'intégration des solutions de mobilité électrique comme le Vehicle-to-Grid (V2G) est souvent liée aux problèmes de comptabilité entre les systèmes : les protocoles de communication et l'accès aux informations sont spécifiques à chaque constructeur. - o Le Vehicle-to-Building (V2B), raccordé à un réseau électrique privé, est susceptible d'apparaître sur le marché à un stade précoce par rapport au Vehicle-to-Grid, les cadres juridiques et économiques étant moins complexes pour le V2B que pour le V2G. • Le projet a également permis le lancement du projet « FlexMob'Île » avec Renault, projet qui consiste en une flotte de véhicules électriques déployée en libre-service à Belle-Île-en-Mer. Ce projet a permis de travailler sur les notions de transfert d'informations véhicule et pilotage, préfigurant ainsi les futurs services de recharge intelligente (ou « Smart Charging »).

¹Ce projet est également traité dans les parties 1.3.1 et 3 de ce même rapport.

Zoom sur les projets de mobilité électrique suivis par le Service Transports et Mobilité de l'ADEME

Projets traitant des IRVE et des usages de la mobilité électrique

À l'interface entre les sujets de développement de la mobilité et ceux du développement réseaux, d'autres projets, accompagnés dans des guichets autres que ceux des Smart Grids spécifiquement, ont été accompagnés par l'ADEME dans le cadre du PIA et d'appel à projet R&D. En voici un court descriptif :

<u>CROME</u> 2011-2013	est une expérimentation franco-allemande qui a permis de créer une plateforme européenne interopérable sur l'électromobilité. Elle a permis de tester les véhicules rechargeables de différentes catégories et provenant de différents constructeurs automobiles français.	
<u>Eco2charge</u> 2013-2016	a permis d'accélérer le déploiement des infrastructures de recharge de véhicules électriques, en intégrant des infrastructures de recharge dans un système global de pilotage des énergies du bâtiment, sur des sites tertiaires.	
<u>EGUISE</u> 2012-2015	a permis l'expérimentation d'une solution d'infrastructures de charge multi-technologies, associée à un système de gestion prédictive et intelligente de services et de l'énergie des véhicules électriques.	
<u>Infini Drive</u> 2012-2014	a permis de concevoir un modèle standard de pilotage des infrastructures de recharge pour flottes captives de véhicules électriques. Un livre blanc sur le bon usage d'une flotte de véhicules électriques et de ses ressources par les entreprises et collectivités est accessible.	
<u>MOV'EO TREVE</u> 2012-2016	a permis de mettre en place des moyens matériels et réglementaires pour tester, comparer, et évaluer des systèmes de recharge pour véhicule électrique et véhicule hybride rechargeable ; et proposer des référentiels techniques s'appuyant sur les normes et réglementations existantes.	
<u>TELEWATT</u> 2014-2016	a permis de proposer une solution intégrée de recharge des véhicules électriques à partir du réseau existant d'éclairage public des villes.	
<u>VELCRI</u> 2011-2014	a permis de travailler sur la charge rapide (80 kW) et décharge intelligente en développant un système qui fait dialoguer la voiture électrique avec l'installation du domicile.	



Zoom sur les projets de mobilité électrique suivis par le Service Transports et Mobilité de l'ADEME

Projets traitant de l'interaction de la recharge des VE et de la production EnR locale

FLOVESOL
2015-2018

a permis de modéliser l'impact sur le réseau d'une flotte de véhicules électriques branchés à l'énergie solaire.



SMAC
2019-2021

permet d'inciter la recharge des véhicules électriques en fonction des prévisions de la production éolienne et de l'état du réseau.



Modeste
2019-2021

fait suite au projet Catimini, et permet d'estimer la propension des territoires à accueillir des mobilités électriques, hydrogène, ou gaz. Ce potentiel est évalué en caractérisant finement le territoire (notamment la production d'EnR), et les besoins locaux de mobilité.



Pour aller plus loin sur la thématique des IRVE, une brique centrale entre le véhicule et le système électrique et nécessaire au développement de la mobilité :

ADEME, DGE, DGEC, [Infrastructures de recharge pour véhicule électrique](#), 2019.
CRE, [Les réseaux électriques au service des véhicules électriques](#), 2018.



Zoom sur la mobilité électrique durable en zones non interconnectées

Le modèle de déploiement métropolitain des infrastructures de recharge s'appuie sur des dispositifs complémentaires incluant des recharges normales et rapides. Les **bornes de recharge accélérées et rapides** développées sur le modèle de déploiement métropolitain et sans prendre en compte les spécificités des territoires insulaires **ont tendance à se multiplier dans les ZNI** (Zones Non Interconnectées) depuis 2016.

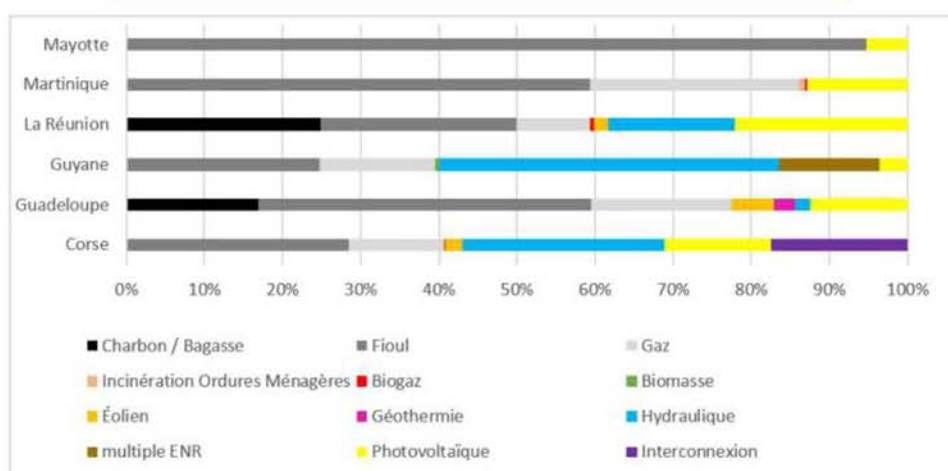
En effet, pour des raisons de péréquation territoriale, il existe une volonté de proposer un même niveau de service dans les ZNI pour la recharge des véhicules électriques. Il apparaît essentiel de favoriser l'égalité entre les collectivités territoriales dans la politique de déploiement des Infrastructures de Recharge pour Véhicule Électrique (IRVE) tout en tenant compte des spécificités des ZNI.

L'isolement et la faible taille de leur système énergétique font des régions ultramarines des territoires spécifiques en matière d'énergie :

- Forte dépendance aux importations de produits pétroliers
- **Production d'électricité encore fortement carbonée**
- Coûts de production élevés, compensés par la collectivité
- Fragilité du système électrique liée au manque d'interconnexion continentale
- Avec l'augmentation de la part des Energies Renouvelables (EnR) variables des problématiques de gestion des réseaux électriques et des besoins de dispositifs de stockage apparaissent

Bien que le Véhicule Électrique (VE) n'émette aucun polluant à l'échappement, des émissions importantes peuvent avoir lieu pendant la fabrication du véhicule et la production de l'électricité. Pour comparer différents types de motorisations, le mix énergétique et la technologie utilisée pour la production d'électricité de la région ou du pays considéré doivent être pris en compte.

La composition des mix électriques en ZNI



Source : EDF, Bilan prévisionnel de l'équilibre offre/demande d'électricité, 2017.

Avec l'augmentation de la part des énergies renouvelables variables dans les ZNI, des problématiques de gestion des réseaux électriques et des besoins de dispositifs de stockage apparaissent.

L'ADEME a lancé en 2019 un **Appel à Projets (AAP) « Infrastructures de Recharge pour Véhicules Electriques dans les Zones Non Interconnectées »**. L'AAP visait à financer des projets de solutions de recharge pour véhicules électriques alimentés en électricité d'origine renouvelable **et impactant très faiblement le réseau électrique local**.

Cet AAP s'inscrivait dans la continuité des dispositifs de « **Déploiement d'infrastructures de recharge pour les véhicules hybrides et électriques** » du programme des Investissements d'Avenir qui a permis d'initier un maillage national en Métropole. Il a permis de poursuivre l'implantation à une échelle locale en contribuant notamment à rassurer les usagers quant à la disponibilité de stations. Il s'inscrivait également dans la complémentarité du **programme CEE Advenir**, qui contribue au financement de bornes publiques et privées (parking d'entreprises ou de résidences).

13 dossiers ont été retenus sur la liste principale pour un financement en 2019, représentant un montant d'investissement de près de 3,3 M€.



Cette seconde vague de projets sur le sujet de la MDE et du pilotage de la demande a entériné les résultats suivants déjà énoncés dans le rapport de 2016 :

- **Il est nécessaire d'allier accompagnement numérique et accompagnement humain**, le premier n'ayant que peu de rentabilité sans le second, en termes de réduction des consommations énergétiques sur le moyen et long terme.
- **Le caractère automatisé (« Plug & Play »)** d'une solution est attractive pour les consommateurs tertiaires.
- **Les consommateurs privilégient l'affichage déporté**, notamment via smartphone.

MDE et pilotage de la demande pour les consommateurs industriels et tertiaires

- Les projets ont permis de montrer que **certaines solutions logicielles de MDE et/ou de pilotage de la demande sont matures d'un point de vue technique et sont commercialisables** - en France et à l'étranger -, donnant ainsi des perspectives à la filière française dans la fourniture de produits et de services. Par exemple, pour les secteurs tertiaires et industriels :
 - o Un moteur d'alertes comparatives des consommations électriques à partir des courbes de charge de compteurs communicants, pour le secteur de l'hébergement et de la restauration (MDE seulement).
 - o Une solution de pilotage des équipements de chauffage et de climatisation et d'équipements à potentiel de stockage pour réaliser des économies d'énergie tout en préservant le confort thermique de l'utilisateur.
- **L'envoi d'ordres de pilotage des usages via des réseaux radio longue portée (type Sigfox ou LoRa) a pu être validé techniquement.** Un moteur d'effacement diffus a pu être mis au point et utilisé sur des systèmes réels –bâtiments publics - dans le cadre d'un projet. L'utilisation de ce type de réseau et les capteurs ou actionneurs associés pourrait permettre d'adresser le domaine de l'effacement diffus en le rendant économiquement viable.

Industrie

- Les projets ont montré que **le pilotage de la demande dans l'industrie est un levier pour engager une démarche d'automatisation des processus** et représente également une nouvelle source de revenus, pour les industries électro-intensives particulièrement.
- **La valorisation des flexibilités de consommation est envisageable**, via les mécanismes de valorisation existants, pour des acteurs industriels n'ayant pas de processus électro-intensifs, par exemple dans le secteur agricole et le secteur agroalimentaire.

Tertiaire

- Les projets ont permis de montrer que **la valorisation des flexibilités de consommation est envisageable pour des acteurs tertiaires sous certaines conditions** :
 - o Les bâtiments considérés doivent disposer d'une puissance flexible suffisamment importante pour représenter une valeur après agrégation – notamment dans le cadre d'une valorisation pour lever des contraintes sur le réseau localement.
 - o La combinaison de services associant flexibilités et MDE.
 - o La baisse ou la mutualisation des coûts d'instrumentation et de pilotage.
- **L'ensemble de la chaîne d'acteurs du secteur tertiaire a besoin d'être sensibilisée aux questions énergétiques** et à leurs consommations : responsables de sites, responsable énergie dans les collectivités, employés occupants.
- **La diversité des acteurs impliqués dans la gestion de l'énergie sur les sites professionnels** (propriétaire, entreprise locatrice, employés occupants) **et leur rôle** (décideur différent de l'utilisateur final par exemple) **rend complexe la mise en place de mesures d'efficacité énergétique et de pilotage de la demande.** Une bonne coordination entre ces différents acteurs est nécessaire, et ce tout au long du cycle de vie des systèmes de MDE et de pilotage de la demande.
- Les trois principaux critères de sélection de bâtiments publics dans le cadre d'une offre de flexibilité locale sont :

le type d'activité hébergée (et la sensibilité thermique des occupants), **le taux d'occupation**, **l'isolation du bâtiment**.

- **L'éclairage public ne semble pas constituer un gisement de flexibilité significatif :**

- o Un projet a démontré qu'il était possible d'effacer 75% de la puissance installée en éclairage entre 18h et 20h en hiver. Cependant, ce résultat suppose une forte acceptabilité des usagers.
- o Le gisement est diminué lorsque l'acceptabilité est plus faible pour des raisons de besoin de sécurité.
- o Enfin, la plage horaire sur laquelle ces flexibilités sont disponibles (la nuit) correspond souvent à des périodes de faibles contraintes réseaux.

MDE et pilotage de la demande pour les consommateurs résidentiels

Les attentes des consommateurs particuliers quant à leur appropriation des questions énergétiques et de leur consommation

- Grâce à un projet, deux bénéfices majeurs de la flexibilité du point de vue du client particulier ont été identifiés :
 - o **Réduction des factures énergétiques** : le bénéfice du point de vue du consommateur ne résulte pas d'un simple calcul économique et rationnel. En effet, une faible part des ménages du projet (10 à 15%) fait son choix à partir du calcul explicite de l'impact de chaque tarif proposé sur sa facture.
 - o **Services perçus liés aux équipements de pilotage fournis avec l'offre** : meilleure programmation du chauffage, confort, image sociale... 24% des ménages interrogés sont intéressés par ces services et la moitié d'entre eux sont disposés à payer moins de 2,80 euros/mois pour le service proposé.
- **Les données de confort dans le bâtiment et de météo** (température, taux d'humidité) **constituent un élément motivateur** qui enclenche ensuite l'action de consulter les informations de consommation énergétique.
- Concernant la perception des outils de suivi de consommation par les utilisateurs, un projet a montré que la synthèse hebdomadaire de la consommation électrique est la fonction la plus utilisée. Contrairement aux idées reçues, **les utilisateurs semblent préférer les affichages en kWh plutôt qu'en euros**.
- Pour un foyer donné appartenant à un échantillon de ménages ayant des profils de consommation similaires, **l'effet « comparaison » implique une baisse de consommation** pour ce foyer.
- **Le caractère « automatisé » des solutions** (i.e. la commandabilité des usages sans action de la part de l'utilisateur) est apprécié et **donne de meilleurs résultats en termes de baisse de la consommation et de valorisation des flexibilités**.

Les enseignements pour les concepteurs de solutions

- Les projets ont permis de montrer que les solutions et les outils développés doivent être :
 - o **Faciles d'accès et d'utilisation.**
 - o **Personnalisables.**
 - o **Evolutifs** pour pouvoir s'adapter aux besoins et possibilités des utilisateurs cibles.
 - o **Coconstruits** (i) avec les futurs utilisateurs concernés, afin de mieux répondre à leurs motivations intrinsèques (sentiment d'efficacité personnelle, d'autonomie, de relation à autrui), et (ii), en ce qui concerne l'animation du territoire sur le thème de l'énergie et la transition écologique, avec les pionniers locaux que sont les associations et les habitants bénévoles, pour toucher plus efficacement le reste de la population et donc massifier.
- **Certains logements ne sont pas éligibles** et le tableau électrique a ses limites (place, sécurité).

L'autoconsommation implique des démarches de MDE et de pilotage de la demande

- L'un des projets a permis d'expérimenter des solutions permettant la **maximisation de l'autoproduction¹** à partir d'électricité d'origine photovoltaïque installée sur site et **ce grâce à des démarches de MDE et de pilotage de la demande**.

Les offres tarifaires pour le pilotage de la demande

- **Des offres tarifaires de pilotage de la demande ont été développées et testées** ; il est à noter cependant que très peu d'offres associées au compteur Linky existent aujourd'hui commercialement.

- L'expérience recueillie dans un projet a montré **l'efficacité supérieure des tarifs avec pilotage** (21% de baisse des consommations sur 44 heures d'effacement) **par rapport aux tarifs à incitation sans équipements de pilotage automatisé** (5% sur 60 heures d'effacement).

Des problèmes d'inclusion numérique pour les foyers en situation de précarité énergétique²

- Un projet a montré **que les personnes en situation de précarité énergétique ont des difficultés à s'approprier les informations et le matériel** mis à disposition, bien qu'elles déclarent y trouver un intérêt.
- Dans l'un des projets, qui a expérimenté un type de projet énergie appelé « modération contrainte » concernant des foyers en précarité énergétique avec des compétences limitées en énergie, il a été montré que **ces foyers ont adopté des modes de consommation frugaux** et optent pour des modes de gestion empirique centrés sur l'intervention manuelle.
- Il est à noter qu'un projet a montré que chez ces foyers, la moitié d'entre eux déclarent se servir de la tablette également pour d'autres usages que ceux liés aux économies d'énergie.

L'intégration de l'électromobilité au système électrique

- Les projets ont permis de démontrer que **l'interopérabilité entre les solutions développées est nécessaire** car elle participe à rendre le service de recharge de véhicule électrique compris par l'utilisateur, rentable pour les opérateurs, et non contraignant pour le réseau de distribution.
- **L'installation des IRVE en logements collectifs dans les bâtiments existants est complexe.** Ceci est principalement dû à un processus de prise de décision collectif et long.
- **Les offres commerciales doivent prendre en compte le déploiement des pré-équipements³ IRVE**, partie souvent négligée par les copropriétés et bailleurs qui ne prennent en considération que le point de charge.
- **Le fonctionnement de l'auto-partage en résidentiel collectif a été validé** dans le cadre d'une expérimentation. Sa pertinence purement économique n'a, en fin de projet, pas été démontrée, mais ce service peut apporter, au-delà des bénéfices économiques directs pour l'utilisateur :
 - o Des bénéfices économiques indirects (e.g. valorisation foncière, économies de dépenses liées au transport pour les usagers).
 - o Des bénéfices non-économiques (e.g. accès à une offre supplémentaire et accessible de mobilité, réduction des émissions de CO₂).
- **La valorisation des opportunités offertes par les véhicules électriques pour la résolution des congestions reste à étudier**, peu de projets ont jusqu'ici pleinement adressé cette thématique.
- **Le Vehicle-to-Building raccordé à un réseau privé est plus simple à mettre en œuvre** d'un point de vue organisationnel et juridique **que le Vehicle-to-Grid.**

¹L'autoproduction désigne le fait de produire sa propre consommation d'électricité (Source : Ministère de la Transition écologique et solidaire).

²Pour quantifier la précarité énergétique, il est d'usage de comptabiliser les ménages qui consacrent plus de 10 % de leurs revenus aux dépenses d'énergie dans le logement.

³Plusieurs configurations sont possibles pour le pré-équipement collectif pouvant inclure la pose du câble d'alimentation. Se référer au livre blanc issu du projet BienVEnu. Le pré-équipement collectif peut être réalisé sur tout ou partie des places de parking.

Les principaux défis structurants restant à traiter sont d'ordre économique, organisationnel et réglementaire :

Défis d'ordre technique

- Dans le secteur tertiaire, l'ancienneté de certaines gestions techniques de bâtiments (GTB) et le manque de normalisation des protocoles de communication rendent parfois difficiles le pilotage des usages.
- L'intervention dans le tableau électrique des particuliers est parfois impossible pour cause de non-conformité ou manque de place.
- L'arrivée des véhicules électriques et le développement des infrastructures de recharge soulèvent de nombreuses questions quant à la nécessité de la normalisation de la prise et des bornes de recharge.
 - o L'interopérabilité de la prise de recharge est en phase d'être validée (standard au niveau européen). Les travaux d'interopérabilité doivent se poursuivre sur les moyens d'accès aux services de recharge et l'opération même des bornes en lien avec ces services.

Défis d'ordre économique et organisationnel

- Le coût d'instrumentation et de pilotage reste trop élevé pour permettre un retour sur investissement attractif notamment dans les secteurs résidentiel et tertiaire.
 - o Dans le résidentiel, des mesures doivent être prises concernant la relance et le soutien au développement des offres d'effacement indissociables de la fourniture (« tarifaires »).
 - o Dans le tertiaire, plusieurs initiatives sont en cours de construction ou test pour mieux évaluer ou labeliser des projets ou bâtiments tertiaires et leur flexibilité (on peut citer l'indicateur GoFlex, le référentiel 4Grids ou encore la démarche Smart Grid Ready de la CCI06).
- Il est nécessaire de généraliser la sensibilisation des consommateurs et des décideurs : de nombreuses catégories de consommateurs (e.g. dans le secteur tertiaire, dans le secteur résidentiel) et de décideurs (e.g. élus) ne sont pas sensibilisés aux problématiques de MDE et de pilotage de la demande et les mécanismes de valorisation sont difficiles à appréhender.
- Il n'existe pas toujours de gestionnaire unique de l'énergie sur un site regroupant plusieurs acteurs (représentant potentiellement plusieurs types de consommateurs – industriels, tertiaires, résidentiels).
- Des packs de services agréant l'électricité à d'autres types d'énergie ou de produits ne sont pas en place, bien que jugés attractifs pour les consommateurs en particulier dans le secteur résidentiel.
- Bien qu'un effort soit fait en termes de représentativité et cohérence d'hypothèses sociologiques, les consommateurs participant in fine aux expérimentations ne sont pas toujours représentatifs de l'ensemble de la population, ainsi les conclusions issues de ces expérimentations ne sont pas nécessairement valables pour la totalité des consommateurs.

Défis d'ordre réglementaire

- Les mécanismes de mobilisation et de valorisation des solutions de flexibilité à l'échelle locale n'existent pas encore.
 - o Enedis a lancé un [appel à contribution](#) sur les flexibilités locales et poursuit la co-construction du processus de contractualisation et d'activation de la flexibilité locale.
 - o De manière plus générale, la DGEC a piloté un groupe de travail CRE-RTE-ADEME-Enedis (2019-2020) et mené une consultation auprès des acteurs afin d'établir une liste de propositions pour accompagner le développement de la filière effacement. La mise en œuvre de ces différentes propositions devrait commencer dès 2020.



La PME Homepulse a conçu la solution ABIILE comme un **moteur d'alertes comparatives des consommations électriques** à partir des courbes de charge de compteurs communicants. Pour ce faire, la solution combine l'effet de la température, du passé du consommateur et la moyenne statistique de ménages comparables, afin de donner l'alerte à partir d'une variation de la consommation du consommateur, atypique par rapport aux variations de consommation de ménages comparables.

La solution, développée dans le projet EFFIGINI, a été testée au sein de projets pilotes dans plusieurs pays : France, Royaume-Uni, Norvège, Danemark, Pays-Bas, Suisse, Australie, Singapour. Elle a été commercialisée en Allemagne, en Autriche et au Sénégal, et Homepulse compte aujourd'hui entre 10 000 et 20 000 utilisateurs.

*« La solution développée dans le projet s'exporte à 80%, dans le secteur résidentiel et tertiaire »
- Luc Terral, co-fondateur de Homepulse.*



Le projet BienVEnu a testé **l'offre technique et commerciale de recharge intelligente de VE** sur différents sites. Dans ce projet, la PME Clem' a proposé une plateforme aux usagers en logements résidentiels collectifs. Cette plateforme « Plug&Play » propose les services suivants : partage d'un véhicule électrique (« autopartage »), partage de la borne de charge, et partage de trajets. Le partage de trajets sur base d'un véhicule partagé à l'échelle de la communauté viendra, mais n'a pas pu être testé à l'échelle de temps du projet BienVEnu.

Le **retour d'expérience** issu de BienVEnu **sur le volet usagers** diffère selon la cible commerciale :



Cible : bailleurs

- o Les informations sur les services d'autopartage et de recharge intelligente de VE peuvent être diffusées facilement aux habitants car le bailleur dispose des contacts de tous les occupants.
- o Le service d'autopartage doit être proposé à un large public afin de trouver un modèle économique pérenne. Ce modèle est basé sur quelques usagers fréquents ainsi que de nombreux usagers qui prennent le véhicule électrique moins fréquemment.
- o Le service d'autopartage trouve toute sa pertinence dans l'habitat collectif d'un bailleur : les habitants ayant accès à un loyer modéré sont naturellement intéressés par une mobilité à coût modéré. Le poids de la possession individuelle d'un véhicule (première ou deuxième voiture) est impactant pour eux.
- o Pour la même raison, le service de partage d'une borne de charge a son intérêt. Cependant, peu d'habitants de HLM sont propriétaires d'un véhicule électrique. Les économies réalisables grâce à une borne de recharge mutualisée sont également intéressantes pour le bailleur qui apporte une solution à un tarif accessible.
- o Pour que l'autopartage de VE soit rentable, il faut que le besoin des usagers soit réel. Pour atteindre



une population d'utilisateurs intéressée suffisamment importante, il convient d'ouvrir les services et les VE stationnés dans le parking à la population autour (en « hyperlocalité », c'est-à-dire habitant ou travaillant dans un rayon de +/- 300m).

Cible : copropriétés

- o La diffusion d'informations sur les services proposés aux habitants en copropriété est plus complexe car la liste des contacts des occupants des logements n'est souvent pas à jour et Les habitants en copropriété ont moins d'intérêt pour le service d'autopartage car ils sont plus susceptibles de posséder un véhicule individuel. Or, pour être rentable, un véhicule électrique en autopartage doit trouver plus d'un usager et tourner au moins 2h par jour.
- o Les nouveaux services de mobilité demandent un temps long pour arriver à maturité, et la gouvernance actuelle des copropriétés, telle que rencontrée pendant le projet BienVEnu, est apparue comme difficilement adaptée aux nouveaux services.
- o Un autre modèle trouve sa pertinence dans les copropriétés : le partage de la borne de charge privée et/ou du véhicule privé. Cela permet au propriétaire d'optimiser son investissement dans la borne de charge et/ou le véhicule électrique.



Zoom sur les investissements du Fonds Ecotechnologies



L'investissement du Fonds Ecotechnologies dans la société Ijenko est intervenu en décembre 2012 pour un montant de 2 M€ à l'occasion d'une opération de 5 M€.

Grâce à cette opération, le Fonds Ecotechnologies ambitionnait d'accompagner le développement d'un acteur de l'efficacité énergétique résidentiel avec pour perspective de pouvoir accéder aux capacités d'effacement résidentiel alors évalué à 20 % du gisement total disponible.

La solution développée par Ijenko reposait sur l'utilisation d'une box aval compteur, chargée de collecter et de traiter des informations à l'aide d'une plateforme commercialisée auprès de grands acteurs de l'énergie et des télécommunications.

Grace à son intervention, le Fonds Ecotechnologies a permis trois levées de fonds successives auprès de fonds d'investissement de manière à faire mûrir son offre commerciale.

Malheureusement, en dépit de la qualité reconnue du système développé par Ijenko ainsi que la signature de contrats de commercialisation auprès de grands industriels, la traction commerciale n'a jamais été au rendez-vous, ce qui a conduit à un arrêt des activités de la société en 2017.





Le fonds Ecotechnologies a réalisé son premier investissement dans la société Actility, en date du 27 juillet 2012, pour un montant de 3 M€ à l'occasion d'un tour de financements d'un montant de 6,7 M€.

La thèse d'investissement reposait alors sur l'émergence d'un acteur de premier plan sur la thématique de l'efficacité énergétique industrielle. Pour ce faire, la société avait développé un système reposant sur l'analyse de données collectées sur un réseau d'objets communicants et proposait d'accompagner ses clients dans la définition de stratégie d'optimisation de consommation énergétique.

Les étapes ultérieures de développement reposaient sur la capacité d'Actility à se positionner comme un acteur d'équilibrage de réseau en temps réel.

L'entrée du fonds Ecotechnologie a permis d'aider à la structuration des tours de financements ultérieurs (22,5 M€ en juin 2015 puis 70 M€ en 2017). L'équipe de gestion du fonds Ecotechnologies a contribué activement à la recherche de co-investisseurs français et internationaux et à la redéfinition de la stratégie de la société afin d'exploiter sa technologie de communication M2M, devenue maintenant le socle technologique du réseau LoRa.





**Vers de nouvelles dynamiques
territoriales ?**

De par la volonté des citoyens ou entreprises de reprendre en main les questions d'approvisionnement énergétique, ou encore du fait d'un contexte législatif (lois NOTRe - Nouvelle organisation territoriale de la République et MAPTAM - Modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles notamment) rappelant le rôle majeur des collectivités dans la mise en place de la transition énergétique, de nouveaux modèles voient le jour. Plus ancrés dans leur territoire, ils peuvent prendre diverses formes. L'ADEME, dans une logique d'exploration des possibles et d'aide à la consolidation de modèles économiques et réglementaires pérennes, soutient des projets relevant des champs suivants : **autoconsommation collective, micro-réseaux, interactions multi-vecteurs et plateformes de données territoriales.**

La plupart de ces projets sont encore en cours ou viennent tout juste de se clôturer.

Introduction aux concepts

Le **partage de l'énergie à l'échelle locale** correspond à des échanges d'énergie entre au moins un producteur et différents consommateurs, géographiquement proches les uns des autres. Ces échanges permettent de mutualiser des moyens de production et de valoriser les surplus d'énergie en évitant de les transporter sur de longues distances.

Proposition de définition de l'ADEME.

L'**autoconsommation collective** est une forme de partage de l'énergie à l'échelle locale permettant à un ou plusieurs producteurs et un ou plusieurs consommateurs liés entre eux par une « personne morale organisatrice » (e.g. association, coopérative, copropriété), de consommer tout ou partie de l'électricité produite localement.

Source : Code de l'énergie, Art. L-315-2.



Les **micro-réseaux** (ou micro-grids) sont des réseaux de petite taille, contenant des sources de production dont la capacité installée totale varie entre quelques dizaines de kW et ~10 MW, caractérisé par une optimisation locale du couple énergie-réseau : l'équilibrage production/consommation se fait prioritairement à la maille locale. Ils peuvent concerner des sites isolés (zones insulaires, sites industriels isolés tels que des mines, bases militaires en opération ou électrification rurale dans des pays en voie de développement par exemple) ou être par ailleurs connectés à un réseau de distribution régional/national (sites isolés avec défauts fréquents, sites critiques comme hôpitaux, etc.). Dans les zones connectées, un micro-réseau est caractérisé par sa capacité à s'isoler du réseau et à fonctionner en autonomie (en « îlotage ») pendant au moins plusieurs heures.

Source : CRE, Étude sur les perspectives stratégiques de l'énergie, Note sur les micro-grids, 2018.



Les **interactions multi-vecteurs** font référence à des connexions entre les différents réseaux et vecteurs énergétiques (e.g. électricité, gaz, chaleur). Ces connexions sont permises par une ou plusieurs briques technologiques permettant de transformer et valoriser des vecteurs énergétiques de nature différente. Un **système multi-énergies** peut se définir comme l'optimisation coordonnée des usages et des vecteurs associés sur un périmètre bien défini (territoire par exemple). Il peut se baser sur des interactions multi-vecteurs.

Proposition de définition de l'ADEME.



Les plateformes de données territoriales sont des supports à des services digitaux, gratuits ou payants pour les utilisateurs, avec chacune un mode de gouvernance spécifique. Elles permettent aux administrations, acteurs privés et citoyens d'accéder à un ensemble de données (économiques, énergétiques, sociales, environnementales) de manière mutualisée. Plus particulièrement dans le domaine de l'énergie, leur développement s'inscrit dans une logique d'utilisation optimale de données du territoire pour changer les pratiques de consommation ou d'investissements réseaux.



Proposition de définition ADEME.

Synoptique des projets accompagnés par l'ADEME en lien avec l'autoconsommation collective, les micro-réseaux, les interactions multi-vecteurs et les plateformes de données territoriales

Le partage d'énergie à l'échelle locale		Les interactions multi-vecteurs	Les plateformes de données territoriales
L'autoconsommation collective	Les micro-réseaux		
AtAC	I-Grid	MSE	
DIGISOL	m2M	FUSINI	
FLEXBAT	PRISM	VERTPOM	
Rennes Grid	SMART-EMS		PRIDE
	Smart ZAE		syNergies
	RETHINE		
	So Mel So Connected		



L'autoconsommation collective¹

• Les bénéfices attendus de l'autoconsommation collective

Plusieurs bénéfices peuvent être attendus de l'autoconsommation collective :

Pour les citoyens

- Une plus grande implication du consommateur final dans l'écosystème énergétique local.
- Une connaissance et une maîtrise de l'origine (au moins d'une partie) de la consommation énergétique dans le cadre d'une opération d'autoconsommation collective.
- Une sensibilisation aux enjeux de MDE et de gestion de sa consommation.

Pour un territoire

- Une utilisation optimale des gisements locaux d'énergies renouvelables distribuées.
- Une connaissance et une maîtrise de l'origine (au moins d'une partie) de la consommation énergétique dans le cadre d'un approvisionnement local, ce qui est un besoin émergent en particulier auprès des collectivités qui étudient des offres « 60% EnR en temps réel » plus vertueuses que des offres « 100% EnR » qui s'appuient sur des garanties d'origine.
- Une réduction de la facture énergétique.
- L'atténuation des pointes d'injection dans le réseau de distribution grâce à l'adaptation des profils de consommation aux périodes de production.

¹Sources : Comité de prospective de la CRE, La transition énergétique dans les territoires, 2019.
ADEME, L'autoconsommation d'électricité d'origine photovoltaïque, 2018 ; Energy Cities, Blockchain et transition énergétique, 2018.

Zoom

Expérimentation de l'autoconsommation collective et la rédaction d'une note de recommandations juridiques pour son développement au sein du projet FLEXBAT

Le projet FLEXBAT a permis d'expérimenter le concept de l'autoconsommation collective sur le bâtiment Kergrid, siège de Morbihan Energies dès 2016. Le site regroupe de la production EnR, du stockage par batterie, de la recharge de véhicules électriques et un outil de gestion technique du bâtiment (pour la supervision et le contrôle de l'éclairage, du chauffage, de la climatisation et de la ventilation).

Au cours du projet, une [étude juridique sur l'autoconsommation collective](#) a été rédigée. Cette étude traite notamment :

- De la complexité des nouvelles relations contractuelles créées dans le cadre des opérations d'autoconsommation collective.
- De l'absence de protection juridique du consommateur dans sa relation avec le producteur.
- De l'insécurité juridique du statut de producteur.
- Des incertitudes fiscales des opérations.



Les éléments de cette étude ont pu être repris dans le cadre de discussions avec le législateur (DGEC) et le régulateur (CRE) autour de l'évolution du cadre réglementaire de l'autoconsommation collective et également du stockage.

Les **évolutions en 2019 du cadre législatif et réglementaire** relatif à l'autoconsommation collective ont permis de donner plus de visibilité aux acteurs :

- En 2019, trois lois ont fait l'objet d'amendements sur ce sujet : loi ELAN, loi PACTE, loi Énergie et Climat.
- La CRE a publié le 1er août 2019 le TURPE 5 bis incorporant le TURPE spécifique autoconsommation collective.
- L'adoption en parallèle des derniers textes du Paquet Énergie Propre européen (directives de décembre 2018 et de juin 2019 en particulier) et le début du travail de transposition associé, s'ajoutent à la dynamique de transition en cours.
- À noter aussi l'introduction dans le droit positif du concept de communautés d'énergie renouvelable et l'éventualité d'un régime d'exonération de frais et taxes pour les autoconsommateurs concernés par des installations de production de puissance inférieure ou égale à 30 kW.



Zoom

Développement d'une solution blockchain¹ pour optimiser la consommation collective d'électricité photovoltaïque au sein du projet DIGISOL

Les porteurs du projet DIGISOL développent une solution de répartition dynamique de la production d'électricité photovoltaïque entre les consommateurs, basée sur la technologie blockchain¹. Ils proposent de certifier les échanges d'énergie entre les participants (« échanges de pair à pair ») d'une opération d'autoconsommation collective.

Les objectifs du projet sont notamment :

- D'accélérer le développement de la solution technologique de certification des échanges d'énergie photovoltaïque sur le réseau public de distribution d'électricité, à travers des démonstrateurs en milieux résidentiels et tertiaires.
- De développer des outils juridiques et organisationnels, ainsi qu'une méthodologie sociologique, pour accompagner le déploiement de l'autoconsommation collective, respectivement autour du concept de personne morale organisatrice (PMO) et du comportement des consommateurs, les incitant par exemple à consommer lorsque la production photovoltaïque est élevée.
- De délivrer une étude de marché et des modèles d'affaires de nature à permettre l'export de la solution développée.

Note sur les applications de la blockchain à l'énergie

Selon une étude² réalisée par Energy Cities, l'association européenne des villes en transition énergétique, les applications de la blockchain à l'énergie sont multiples :

- Gestion des transactions.
- Renseigner la possession et la gestion d'actifs.
- **Certification et vérification de l'énergie [Projet DIGISOL].**
- Suivi et diagnostic en temps réel de la consommation énergétique.
- **Processus de facturation et répartition [Projet DIGISOL].**
- Rémunération à travers une monnaie réelle ou virtuelle.
- Création d'un marché de l'énergie local ou régional en ligne.
- Echange de pair à pair d'énergie renouvelable dans un système décentralisé.
- Compenser les émissions CO₂.
- Faciliter le développement de la mobilité électrique en tant que service.

¹La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle. Par extension, une blockchain ("chaînes de blocs" ou registre de transactions) constitue une base de données qui contient l'historique de tous les échanges effectués entre ses utilisateurs depuis sa création. Cette base de données est sécurisée et distribuée : elle est partagée par ses utilisateurs, sans intermédiaire, ce qui permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne. (Source : Energy Cities, Blockchain et transition énergétique : quelles opportunités pour les villes, 2018)

²Energy Cities, Blockchain et transition énergétique : quelles opportunités pour les villes, 2018. (étude co-financée par l'ADEME).



• Les enjeux identifiés

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques	• Créer un effet de foisonnement assez important entre différents profils de consommation pour assurer l'efficacité d'une opération de partage à échelle locale. • Se doter des moyens qui permettront de gérer efficacement le fonctionnement courant de ces projets, notamment en termes de systèmes d'information. • S'aligner avec les régimes de sécurité applicables (e.g. RGPD, informations commercialement sensibles).
Enjeux économiques	• Identifier les modèles porteurs de valeur pour l'ensemble des parties prenantes. • Faire évoluer la tarification du réseau pour assurer une répartition équilibrée de son financement. • Amorcer les réflexions sur les grands principes tarifaires (e.g. péréquation) et leurs évolutions possibles dans l'hypothèse d'une généralisation du partage d'énergie à l'échelle locale sur l'ensemble du territoire français.
Enjeux de gouvernance	• Simplifier la mise en place de la personne morale organisatrice (PMO) d'opération d'autoconsommation collective, en particulier pour les collectivités locales qui souhaitent porter ces projets sur leur territoire. • Articuler les interactions avec le réseau de distribution centralisé (gouvernance, valorisation des données).

Les micro-réseaux¹

• Les bénéfices attendu des micro-réseaux

Plusieurs bénéfices peuvent être attendus des micro-réseaux intégrant des énergies renouvelables, avec une priorité à donner aux micro-grids dans des sites isolés ou dans des zones non interconnectées (où ils trouveront davantage de valeur) :

- Pour les zones isolées, une réduction de la dépendance à des carburants polluants et coûteux.
- Une plus grande résilience du système énergétique et une plus grande autonomie énergétique en faisant appel à la capacité d'ilotage des micro-réseaux.

Et plus généralement :

- Une gestion optimisée de la production d'électricité d'origine renouvelable à l'échelle locale.
- Une réduction des transits et donc de certains coûts réseaux, à court terme (pertes électriques du réseau) et à plus long terme (investissements sur les réseaux) dans le cas d'un micro-grid connecté au réseau de distribution.

¹ CRE, Site Internet Smart Grids - Les Microgrids; CRE, Etude sur les perspectives stratégiques de l'énergie - thèse sur les microgrids, 2018.

La définition de micro-réseau est une définition assez large qui s'applique à des réalités diverses. Ainsi, on aura tendance à favoriser les projets de micro-grid dans des zones isolées avec une sécurité d'alimentation électrique moindre que celles de sites connectés à un réseau maillé. De même dans le cadre des zones insulaires, les technologies et méthodes de dimensionnement et d'optimisation des micro-grids seront très utiles pour permettre de développer des systèmes à forte part en énergie renouvelable qui soient résilients et compétitifs.

Zoom

Le développement d'un "micro-réseau commercial" au sein du projet m2M

Les porteurs du projet m2M, notamment les membres suédois et néerlandais du consortium, développent le concept de « micro-réseau commercial », un micro-réseau qui n'est pas physique mais qui **rassemble des actifs distribués et des gisements de flexibilité sur le réseau basse tension** au sein d'un même portefeuille. Ce concept s'apparenterait à un agrégateur localisé puisqu'il permet d'agréger les puissances sur la basse tension pour apporter des services au niveau supérieur (réseau moyenne tension) afin de lever des congestions locales. L'optimisation marché/flexibilité est réalisée via un algorithme innovant « multi-agents » qui permet d'optimiser les micro-réseaux commerciaux selon les intérêts de chaque acteur :

- Pour les utilisateurs, minimiser le coût et maximiser le revenu des opérations.
- Pour les agrégateurs/opérateurs de micro-réseaux commerciaux eux mêmes, réduire le coût des flexibilités.
- Pour les gestionnaires de réseaux de distribution, résoudre les problèmes de congestion.

Ainsi, le projet m2M anticipe l'évolution du rôle du gestionnaire de réseau de distribution vers un rôle plus actif dans l'activation de flexibilités locales pour répondre aux contraintes réseau.



• Les enjeux identifiés

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques	• Identifier les impacts du développement de micro-réseaux sur le fonctionnement du système électrique et sur les stratégies d'investissement ou d'extension des infrastructures de transport et de distribution d'électricité. • En mode îlotage, maintenir la stabilité du réseau (tension et fréquence) au sein du micro-réseau et maintenir la stabilité du réseau public de distribution lors de la resynchronisation du micro-réseau avec le réseau public de distribution¹.
Enjeux économiques	• Identifier les modèles porteurs de valeur pour l'ensemble des parties prenantes. • Identifier les services qu'un micro-réseau peut offrir au système électrique.
Enjeux de gouvernance	• Définir le rôle des collectivités territoriales dans ce type de projet (e.g. financeur, autorité concédante, (co-)opérateur)

Les interactions multi-vecteurs et systèmes multi-énergies¹



• Les bénéfices attendus des interactions multi-vecteurs

- L'exploitation de la complémentarité des vecteurs électriques, gaz, chaleur et froid, et ainsi fournir des services énergétiques optimisés aux utilisateurs finaux territoriaux.
- De nouvelles sources de flexibilité pour accompagner l'intégration des EnR.
- Une limitation des émissions de gaz à effet de serre du secteur énergétique par la décarbonation de certains usages via un vecteur énergétique moins carboné (par exemple la production de méthane de synthèse via de l'électricité).
- Décarbonation des secteurs du transport et de l'industrie.

¹Rappelons ici un résultat remarquable obtenu dans le cadre du projet NICE GRID achevé en 2016 : l'îlotage a été testé avec succès, selon des modes programmés (sans coupure du réseau) et inopinés (avec coupure initiale du réseau de 3 minutes), avec une durée jusqu'à 5 heures dans le projet.

²Sources : ADEME, Systèmes énergétiques territoriaux : interactions multivecteurs, 2019 ; Comité de prospective de la CRE, Le verdissement du gaz, 2019.

Zoom

Un Smart Grid multi-énergies mis en place dans l'écoquartier de Nice Méridia dans le cadre du projet MSE

Les porteurs du projet MSE mettent en place un **Smart Grid multi-énergies adossé à un réseau de chaleur et de froid par géothermie à l'échelle de l'écoquartier** de Nice Méridia.

Le développement de l'écoquartier vise, à horizon 2029, la construction de 537 000 m² (logements, commerce, université, crèche, services), la construction d'un réseau de chaleur et de froid à ressource géothermique, l'équipement de l'ensemble des bâtiments d'installations solaires photovoltaïques, et la possibilité de réaliser du stockage thermique, frigorifique et électrique.

Dans ce contexte, les objectifs suivants ont été fixés par la collectivité et l'aménageur :

- L'implication des citoyens et usagers du territoire dans une économie ou une dynamique locale énergétique.
- La valorisation des énergies du territoire : la part des énergies renouvelables et de récupération locales doit dépasser 70% dans le mix énergétique global.
- La mise en valeur d'un écosystème de solutions technologiques et économiques innovantes à échelle industrielle.

Les porteurs de projet souhaitent démontrer la faisabilité technique et économique de plusieurs solutions (stockage thermique innovant par matériaux à changement de phase, dispositif Smart Grid multi-énergies) pour répliquer et industrialiser cette gamme de services sur d'autres projets.



• Les enjeux identifiés

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques

- Disposer de procédés de transformation *Power-to-Gas* (production d'hydrogène à partir d'électricité) industrialisables.
- Développer des solutions de stockage d'hydrogène.

Enjeux économiques

- Savoir identifier les optimums technico-économiques en termes de recours au multi-vecteurs à l'échelle d'un territoire donné, en fonction des ressources énergétiques EnR, de l'état des réseaux existants d'électricité et de gaz, et des typologies d'usages (actuels et à venir).
- Disposer de procédés de transformation *Power-to-Gas* rentables économiquement.
- Adapter les infrastructures énergétiques existantes aux nouvelles technologies multi-vecteurs à coût maîtrisé.

Enjeux de gouvernance

- Définir le rôle des collectivités territoriales dans ce type de projet (e.g. financeur, autorité concédante, (co-)opérateur).
- Identifier les échelles pertinentes pour un système multi-vecteurs (e.g. collectivité locale, zones industrielles et commerciales, coopératives d'habitants) et les modèles de gestion associés (e.g. Délégation de Service Public, Société d'Economie Mixte).
- Mettre en place des moyens de financement de ce type de projets au niveau des collectivités territoriales, à même d'envisager des horizons d'investissement supérieurs à 10 ans.
- Mettre en place une fiscalité incitative pour ce type de projet.

Données et plateformes de données territoriales¹



Préambule sur les données et leur gestion

Selon l'analyse de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) dans son dossier sur la [gestion des données](#), « les systèmes électriques intelligents sont à l'origine de la multiplication et de l'augmentation exponentielle des données dans le domaine de l'énergie. En effet, de nombreuses technologies déployées sur les réseaux et en aval du compteur produisent des données : capteurs sur les réseaux, compteurs évolués de gaz naturel et d'électricité chez les clients finals pour mesurer la consommation et la production et également la qualité sur les réseaux, objets connectés chez les consommateurs.

Ces différentes données apporteront de nouvelles opportunités aux différents acteurs du monde de l'énergie dans les domaines de la gestion de l'énergie, de l'exploitation des réseaux ou de l'évolution de la relation avec le client seulement dans la mesure où ces acteurs sauront analyser ces données et en tirer parti.

Dans ce cadre, la gestion des données fait référence à la transformation de données en connaissance utilisable, afin d'en extraire une valeur économique. La gestion des données comprend tous les aspects de collecte, de filtrage, d'analyse, de stockage et de mise à disposition des données à d'autres acteurs, d'autres applications et d'autres utilisateurs, incluant les problématiques d'identification des données, de validation, d'exactitude, de mise à jour, d'horodatation, de synchronisation des équipements, d'homogénéité des bases de données, de sécurité et de confidentialité, consentement client, etc.

¹Sources : Collectif, Recommandations pour des collectivités Smart Grids Ready, 2018 ; EU Smart Cities Information System, Urban Data Platforms, Projet E-TIC, non connu, Données d'un territoire – usages et gouvernance ; Comité de prospective de la CRE, Donner du sens aux données du consommateur, 2020.

La gestion des données apporte des réponses sur les différentes questions que se posent les acteurs du monde de l'énergie, sur les équipements de réseau, leur état et leur besoin de mise à niveau, sur la façon d'exploiter le réseau et d'améliorer cette exploitation, sur les besoins et les préférences des clients. »

Exemple du projet STASE²

Dans le cadre du projet STASE² (2018-2020), l'entreprise Deepki développe une **solution de management énergétique pour les gestionnaires de parcs immobiliers**. Le porteur de projet témoigne :

« Enedis a mis en place une API pour mettre à disposition des opérateurs les données de comptage d'électricité. Deepki a fait partie des tous premiers acteurs en mesure d'accéder à l'API.

Avant la création de cette l'API, la transmission des données s'effectuait par courriel. Désormais, suite à l'obtention des mandats d'autorisation appropriée, les données sont transmises de manière automatique. Ce nouveau dispositif permet à des sociétés comme Deepki d'accélérer le déploiement de leur solution et d'offrir à leurs clients un service plus rapide, systématique et avec un meilleur niveau de qualité. »

Données, usages et plateformes

De nombreux acteurs cherchent aujourd'hui à identifier les cas d'usage les plus prometteurs pour offrir de nouveaux services numériques en utilisant les données (énergétiques et au-delà) à la maille territoriale. Les plateformes, en tant que supports à ces services numériques, permettent de collecter, stocker, traiter et visualiser les données. Ainsi, plusieurs consortiums se sont montés en France pour développer des plateformes de données territoriales, et travaillent aujourd'hui à la définition des cas d'usage envisageables. Ces consortiums profitent également de la mise à disposition d'un nombre important de données issues des compteurs communicants, mise à disposition facilitée par l'article 179 de la Loi pour la Transition Énergétique pour une Croissance Verte.

• Les bénéfices attendus des interactions multi-vecteurs

Plusieurs bénéfices peuvent être attendus des plateformes de données territoriales :

- Une collaboration renforcée entre acteurs publics et privés pour accompagner le développement et l'innovation sur le territoire.
- La valorisation des données agrégées de production et de consommation énergétique mises à disposition des collectivités via des plateformes d'open data pour : des diagnostics énergie-climat et plans d'actions, le repérage de ménages en précarité énergétique, le développement des énergies renouvelables et des réseaux de chaleur, la planification territoriale, les schémas régionaux climat-air-énergie ou d'aménagement et de développement durable du territoire, etc.
- Le pilotage optimal des services proposés par les collectivités, notamment via la capacité de modélisation, de simulation et de supervision des ressources énergétiques locales.

Zoom

Le développement d'une "Banque de l'Energie" au sein du projet VERTPOM

Le projet VERTPOM (Véritable éNERgie du Territoire POSitif et Modulaire) a pour finalité la création de richesse tant sur le plan environnemental que sociétal grâce à la **création de la Banque de l'Energie : VERTPOM BANK®**.

Ce service a les caractéristiques suivantes :

- Il est basé, dans son développement, sur une approche globale de l'énergie d'un territoire (multi-fluides, multi-énergies) et sur un outil logiciel composé d'algorithmes d'Intelligence Artificielle.
- Il proposera notamment des box multi-fluides (électricité, gaz, eau, thermique), la recharge intelligente pour les véhicules électriques, des capteurs non-intrusifs pour mieux prévoir et optimiser la maintenance des réseaux d'énergie, des solutions d'efficacité énergétique pour les bâtiments et les infrastructures publiques.
- Il sera de type « clé en main » et aura vocation à être commercialisé auprès d'Entreprises Locales de Distribution (ELD) et d'opérateurs nationaux et internationaux.



• Les enjeux identifiés

L'ADEME identifie les enjeux ci-dessous pour favoriser le développement de ce type de projet. Ces enjeux seront à prendre en compte dans les futurs appels à projets.

Enjeux techniques

- Identifier et implémenter des plateformes adaptées à l'ensemble des utilisateurs et contributeurs afin d'en favoriser l'usage.
- Sélectionner des technologies permettant l'interopérabilité et la mise à l'échelle afin de faciliter les échanges entre plateformes aux différents échelons territoriaux (commune, EPCI, département, région).
- Choisir entre une logique d'*Open Data* et un modèle propriétaire.
- Introduire la sécurité dans la conception de la plateforme (« *security by design* »).
- Assurer la qualité et la standardisation des données quantitatives et qualitatives, en garantissant l'engagement de l'ensemble des contributeurs sur la qualité et l'application des standards associés.
- S'aligner avec les régimes de sécurité applicables (e.g. RGPD, informations commercialement sensibles).

Enjeux économiques

- Valoriser les données agrégées de production et de consommation mises à disposition gratuitement par les gestionnaires de réseau (Art. 179 LTECV) pour proposer un service ayant une valeur ajoutée par rapport aux autres acteurs de la donnée notamment territoriaux (OREGES, AASQA, etc.).
- Identifier des cas d'usage porteurs de valeur pour un écosystème territorial, liés à l'énergie, la mobilité durable et au-delà (e.g. santé) et en évaluer les bénéfices économiques pour la collectivité.
- Trouver un modèle économique pérenne et qui permette de maximiser la valeur ajoutée pour la collectivité.
- Ouvrir les données collectées par les véhicules électriques équipés de puces GSM à des tiers (e.g. en créant une obligation pour les constructeurs automobiles) pour exploiter le pilotage de la batterie au profit du système électrique tout en faisant bénéficier économiquement les ménages¹.

Enjeux de gouvernance

- Mettre en place un schéma de gouvernance adapté à l'ensemble des parties prenantes.
- Développer des ressources et des compétences au sein des collectivités ; en particulier, mutualiser des compétences en *Data Science* et analyses des données entre les acteurs.
- Faciliter le recueil du consentement pour le traitement des données de consommations énergétiques, notamment horaires, e.g. par un droit de refus (*opt out*) pour leur enregistrement dans le compteur ou dans le SI du distributeur pour favoriser le développement de solutions de MDE.
- Etablir un organisme tiers de confiance pour réceptionner les données individuelles de consommation d'énergie et administrer une plateforme de stockage multi-fluides et multi-opérateurs, en accroissant le rôle des collectivités territoriales et/ou en créant une agence nationale.

¹Cf Loi d'Orientation des Mobilités.



Pour en savoir plus : les ressources de l'ADEME autour de l'utilisation de la donnée dans la planification énergétique territoriale

- Données énergétiques territoriales pour la planification et l'action Energie-Climat :
 - o ADEME, ATMO France, RARE, SOeS, [Les dispositifs pour accompagner les collectivités territoriales dans la transition énergétique](#), 2018.
 - o ADEME, ATMO France, RARE, AMORCE, FLAME, [Enseignements et sources d'inspiration pour les collectivités dans l'usage de données énergétiques locales](#), 2018.
 - o ADEME, RARE, ATMO France, CEREMA, [Etude des potentiels, un atout pour bâtir une stratégie territoriale](#), 2019.
 - ADEME, ATMO France, [Indicateurs territoriaux climat-air-énergie : lesquels choisir et comment les utiliser ?](#), 2020.
 - ADEME, [Approche intégrée et multicritères dans les outils d'aide à la décision à vocation territoriale, éléments de cadrage pour la gestion des données territoriales](#), 2016.
 - ADEME, [Données pour la planification énergétique territoriale](#), 2016.
-



Un enjeu crucial pour le réseau électrique et les Smart Grids

Depuis plusieurs années, l'actualité nous fournit des exemples de cyberattaques qui touchent les infrastructures énergétiques, souvent dans les zones de conflit (Ukraine), mais pas uniquement (États-Unis par exemple).

Les systèmes énergétiques sont en effet des actifs stratégiques majeurs, et le nombre d'actions cybernétiques malveillantes va croissant : une vingtaine de cyberattaques de grande ampleur ont concerné des systèmes énergétiques dans le monde depuis 1982, avec une accélération du rythme depuis 2010¹.

Dans le cadre du déploiement des Smart Grids, le développement des applications numériques et des objets connectés génère de nouveaux flux d'informations. Cette instrumentation et ces flux de communication représentent des enjeux supplémentaires en termes de sécurisation et de résilience des systèmes électriques.

Les cibles

L'événement le plus redouté est l'écroulement du réseau, qui peut être atteint par l'attaque massive de moyens de production ou d'éléments réseaux pilotés à distance (tels que des disjoncteurs aux postes de transformation ou interrupteurs divers en réseau, compteurs électriques notamment).

Mais bien d'autres menaces existent, par exemple sur la confidentialité des données individuelles, ou encore sur la sécurité des biens et des personnes.

Le cadre réglementaire

La cybersécurité des infrastructures énergétiques relève désormais de la compétence militaire dans plusieurs pays. Ainsi, aux États-Unis, la cyber résilience de l'industrie électrique relève de la compétence du *Secretary of Defense* (et non de l'Énergie), tandis qu'en France la protection des installations électriques est régie par la Loi de Programmation Militaire de 2013.



En France, L'ANSSI, l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information, remplace depuis 2009 la Direction centrale de la sécurité des systèmes d'information.

Elle assure la mission d'autorité nationale en matière de sécurité des systèmes d'information. À ce titre, elle est chargée de proposer les règles à appliquer pour la protection des systèmes d'information de l'État et de vérifier l'application des mesures adoptées.

L'ANSSI apporte son expertise et son assistance technique aux administrations et aux entreprises avec une mission renforcée au profit des opérateurs d'importance vitale (OIV). Le domaine de l'énergie, notamment électrique, est considéré comme l'un des 12 secteurs d'activités d'importance vitale (SAIV).

«Maîtrise du risque numérique L'atout confiance»

L'ANSSI et l'AMRAE² ont publié ce document³ le 18 novembre 2019, un guide en 15 étapes pour accompagner les dirigeants des organisations publiques et privées de toutes tailles dans la construction d'une politique de gestion du risque numérique.



L'analyse de risques

Il faut savoir qu'aucun système n'est infaillible, tout dépend des moyens de l'attaquant. Afin de sécuriser un système il s'agit d'identifier ses failles, pour mieux les sécuriser. Pour ce faire, il faut mener une analyse de risques, afin de classer ceux-ci en matière de gravité et de probabilité pour déterminer les actions à mener.

¹IFRI. Cyberattaques et systèmes énergétiques : faire face au risque, 2017.

²Association pour le management des risques et des assurances de l'entreprise

³AMRAE, ANSSI, Maîtrise du risque numérique : l'atout confiance, 2019.



C'est la première étape à réaliser impérativement pour la sécurisation d'un système.

Critères de sécurité

On dénombre 4 critères de sécurité, pour s'assurer que les ressources matérielles ou logicielles d'une organisation sont uniquement utilisées dans le cadre prévu :

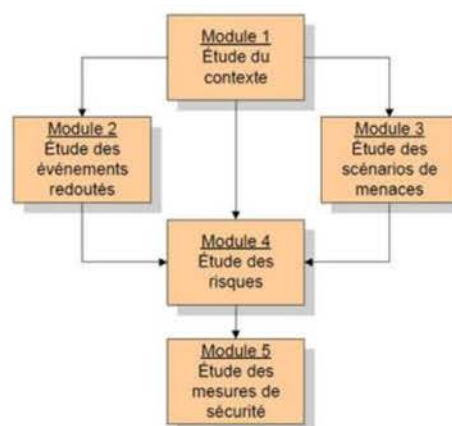
- La confidentialité : les données ne doivent être accessibles qu'à ceux qui sont autorisés ;
- L'intégrité : les données ne doivent pas être altérées de façon fortuite, illicite ou malveillante : les éléments considérés doivent être exacts et complets ;
- La disponibilité : les données doivent être accessibles et utilisables par leur destinataire autorisé à l'endroit et à l'heure prévue ;
- La traçabilité : les traces de l'état et des mouvements de l'information doivent être conservées.

Méthodologies

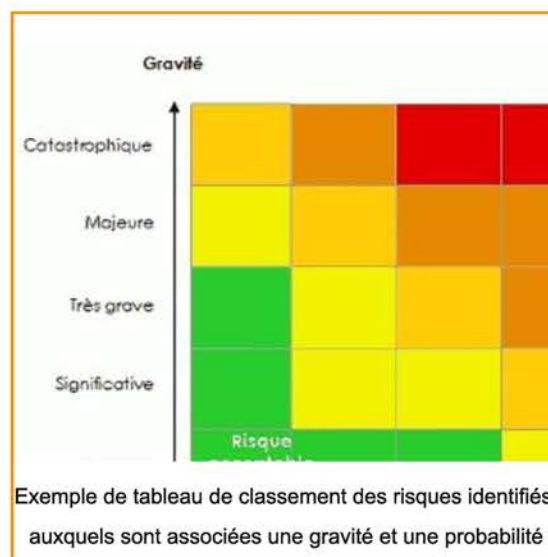
Diverses méthodologies d'analyses de risques existent. La méthode EBIOS (Expression des Besoins et Identification des Objectifs de Sécurité), créée en 1995 par l'ANSSI et régulièrement mise à jour par celle-ci, permet d'apprécier et de traiter les risques relatifs à la sécurité des systèmes d'information (SSI). Elle permet aussi de communiquer à leur sujet au sein de l'organisme et vis-à-vis de ses partenaires, constituant ainsi un outil complet de gestion des risques SSI.

La méthode EBIOS se déroule en 5 étapes. Elle commence par une étude du contexte : identification des éléments à protéger et des éléments d'infrastructure sur lesquels ils reposent. On détermine alors les événements redoutés, à savoir la compromission des éléments à protéger, auxquels on attribue une gravité ; puis les scénarios de menaces, c'est-à-dire les biais d'attaque de l'infrastructure, et leur probabilité en fonction des caractéristiques de l'infrastructure et des attaquants potentiels. Ces aspects sont évalués selon les 4 critères de sécurité énoncés plus haut. Fina-

lement, en recroisant les éléments à protéger avec les infrastructures sur lesquels ils transitent, on peut ainsi déterminer des risques, auxquels sont associés une gravité et une probabilité.



Étapes de l'analyse de risques EBIOS



Exemple de tableau de classement des risques identifiés, auxquels sont associées une gravité et une probabilité

Il s'agit ensuite de traiter ces risques. On peut tout d'abord les accepter, si leur gravité et/ou leur probabilité sont suffisamment faibles, ou suffisamment faibles par rapport aux coûts des mesures suivantes pour les traiter. Pour réduire la probabilité et/ou la gravité d'un risque jusqu'à ce qu'il devienne acceptable, on peut choisir de le transférer (à une assurance, par exemple), le



réduire (en mettant en place des mesures techniques, organisationnelles, etc.), voire l'éviter (en modifiant ou arrêtant l'activité concernée).

L'analyse de risques doit être tenue à jour périodiquement, ou lors d'évolutions du système ou des mesures de sécurité.

La sécurisation des systèmes

Lorsque l'on entend cybersécurité, il est commun de penser en premier lieu au chiffrement des données. Or l'ensemble des mesures à mettre en œuvre est bien plus vaste.

Sécurité humaine/organisationnelle

La menace peut provenir d'un espion au sein de l'organisation ou d'anciens collaborateurs. Mais la probabilité la plus élevée repose sur des erreurs d'inattention ou de non-respect des consignes organisationnelles de sécurité de la part des employés : mots de passe faibles ou notés sur des post-it, clés USB externes ou utilisées en dehors de l'entreprise, autorisations d'accès données avec trop de largesse, etc.

Authentification

L'authentification permet de gérer les droits d'accès aux ressources concernées et maintenir la confiance dans les relations d'échange. Ce sujet est à la croisée des mesures organisationnelles, telles que le renouvellement régulier des mots de passe, leur non-divulgateion, et de mesures techniques qui peuvent être mises en place, telles que la double authentification (2FA).

Sécurité des communications

La sécurisation des communications peut concerner un ou plusieurs des critères de sécurité (confidentialité, intégrité, disponibilité, traçabilité), en fonction de leur criticité selon ceux-ci. On retrouve ici par exemple la mise en place de chiffrement (confidentialité), signature (intégrité), ou encore de pare-feux pour surveiller les flux de données voire créer des « zones démilitarisées » (DMZ).

La cryptographie « par l'obscurité », qui repose sur l'espoir que les attaquants n'arrivent pas à percer une solution propriétaire, a été complètement désavouée. La mise en place de cybersécurité fiable repose sur des systèmes de

chiffrement connus : lorsque ceux-ci sont largement étudiés et qu'aucune attaque significative n'est connue, ils sont considérés d'autant plus sûrs.

Sécurité physique

La sécurité des communications ne serait rien sans la sécurisation physique des équipements eux-mêmes, permettant d'assurer la sécurisation du système de bout en bout. L'accès aux équipements doit être protégé, que ce soit l'accès aux salles serveurs ou aux équipements dans des locaux et la connexion locale à ceux-ci, ou le durcissement physique des équipements déployés sur le terrain. Cette sécurité physique peut aller jusqu'à l'utilisation d'un « *secure element* » (comme les cartes bancaires), qui permet de stocker physiquement les clés et certificats et sert de boîte à outil pour réaliser les opérations cryptographiques, le tout de manière très sécurisée.

Sécurité des logiciels

La sécurisation concerne aussi les logiciels utilisés, que ce soit les systèmes d'exploitation ou encore les applicatifs. Les premiers doivent pouvoir être mis à jour pour suivre la découverte inéluctable de failles. Le développement des seconds et de leurs mises à jour doit s'inspirer des bonnes pratiques en la matière, et leur traçabilité doit être assurée.

Détection d'intrusions

Aucun système n'étant infaillible, et certaines mesures de sécurité potentiellement trop coûteuses, il est recommandé de mettre en place des systèmes de supervision qui permettent de détecter et réagir à des attaques.

Sécurisation des SI

Les SI métiers utilisés pour les opérations doivent également être sécurisés. Cela passe notamment par une bonne gestion de l'authentification, la sécurité physique des serveurs, la mise en place de DMZ, etc.

SI sécurité

Toutes ces mesures nécessitent la mise en place de systèmes d'information capables de gérer les



ressources dont elles ont besoin : génération et distribution des clés et des certificats, suivi de versions et déploiement de mises à jour, supervision des installations, etc.



La cybersécurité dans les projets de recherche accompagnés par l'ADEME

Plusieurs projets accompagnés par l'ADEME dans le domaine des Systèmes Électriques Intelligents ont permis d'appliquer ou de développer des solutions pour sécuriser la communication et les données, par exemple :

Le projet VAF-IA

Le porteur de projet a développé une solution spécifique et unique, l'API METRON-DR permettant de communiquer avec les agrégateurs. L'API est hébergée derrière un pare-feu avec un accès strictement contrôlé. Chaque demande de communication est doublement sécurisée, d'une part via une API à clé chiffrée et d'autre part via une authentification de l'utilisateur à l'aide d'un nom et d'un mot de passe. La communication entre l'API METRON-DR et la METRONLab (collecteur de données placé sur le site industriel) est gouvernée par un serveur OPC dont la connexion se fait à l'aide d'un réseau VPN SSL privé et l'accès via une authentification à l'aide d'un nom et d'un mot de passe.

Le projet BienVEnu

Au sein du projet, un lien de communication a été mis en place entre un équipement du gestionnaire de réseau de distribution, placé dans un poste HTA/BT, et le superviseur de grappe de recharge d'un immeuble accueillant la solution BienVEnu et raccordé à ce poste HTA/BT. Cette expérimentation a permis de valider la faisabilité technique de faire communiquer ces équipements en CPL G3 FCC avec une qualité de service suffisante pour transmettre les consignes de puissance entre le gestionnaire de réseau de distribution et le superviseur de l'infrastructure. La sécurisation de ce lien est faite par l'isolation du sous-réseau et le chiffrement des communications au niveau de la couche 2 (en référence au modèle OSI). Des études ultérieures sont à prévoir sur les aspects de cybersécurité si ce lien vient à être exploité de manière industrielle.

Le projet SOGRID

Le système développé dans le projet s'intègre dans un outil industriel existant qui possède déjà ses propres processus et mécanismes de sécurité. Dans le cadre de SOGRID, l'enjeu était de proposer un système efficace et pratique s'intégrant dans l'écosystème existant. Ainsi, les mesures de cybersécurité proposées par Trialog et Enedis, et mises en œuvre dans le cadre du démonstrateur SOGRID, visent à protéger l'accès au médium de communication, et à sécuriser les flux. L'accès aux médiums de communication est protégé par la sécurisation physique (l'environnement où le lien est présent est à accès restreint, par exemple un poste source ou un poste HTA/BT), et par une sécurisation protocolaire : le CPL G3 offre un mécanisme d'authentification des participants du réseau et de protection des communications par chiffrement. Les flux sont quant à eux sécurisés en point-à-point soit au niveau applicatif, par exemple via l'utilisation des mécanismes de sécurité offerts par DLMS/COSEM, soit au niveau réseau, par l'utilisation de tunnels IPSec.

Le projet Postes Intelligents

Concernant les aspects cybersécurité du projet, l'ensemble des moyens de communication et l'ensemble des signaux transmis (hors réseaux LORA) ont fait l'objet d'une analyse de risque et de propositions techniques selon la méthodologie EBIOS version 2010 préconisée par l'ANSSI. Ces documents ont été présentés à titre informatif à l'ANSSI et les solutions techniques proposées ont été déployées dans le cadre du démonstrateur. Les travaux concernent l'ensemble des réseaux et technologies de communication du poste : réseau fibre optique du poste, passerelle de télécommunication entre le gestionnaire de réseau de transport et le gestionnaire de réseau de distribution, échanges inter-postes... Un des axes de travail fort du projet a porté sur la redondance des équipements.



Le projet SMART SUN

La passerelle WebdynSUN PM est interfacée en continu avec un système d'information distant à travers un lien Ethernet ou 4G. Le concentrateur WebdynSUN PM accepte jusqu'à 2 serveurs, chaque serveur pouvant avoir son propre protocole de communication. Les protocoles supportés pour établir un lien avec le SI sont : ftp, ftps, http, https, mqtt, mqtts. Toutes les données échangées sont sécurisées (chiffrement). La passerelle WebdynSUN PM dispose, si nécessaire, d'un « *secure element* » (« coffre-fort ») pour conserver les clés de chiffrement.

Le projet ABIILE

Les flux de données sont sécurisés (https) et les accès à la plateforme contrôlés (login/mdp et détection d'intrusion). Enfin, les indicateurs et livrables produits sont mis à disposition des clients (des fournisseurs) via API sécurisés, sans information nominative, et via des accès contrôlés (liste blanche IP, chiffrement).

Le projet SEE PROJECT

L'utilisation d'une base de données *Big Data* conçus pour fonctionner de manière répartie sur plusieurs serveurs, permet d'opérer un service sécurisé (données redondées sur plusieurs serveurs et plusieurs centres d'hébergement), hautement disponible et apte à gérer de gros volumes d'informations (plusieurs dizaines de milliards de points de mesure soit plusieurs Teraoctets).

Le projet SOLENN

Dans le cadre du projet SOLENN, les données de consommation individuelles ont été transmises via un canal SI dédié entre Enedis et Niji, au travers de flux webservices REST sécurisés par un mécanisme *SSL two-way*. La sécurité lors du transit des données était également assurée par une authentification (OAuth2). Les jetons d'accès utilisés ont une durée de vie très limitée, ce qui participe à la bonne sécurité des données. Côté publication des données aux partenaires du consortium, les échanges se font via des flux spécifiques dédiés et sécurisés (tunnel VPN).

Le consentement d'un expérimentateur auprès d'Enedis, acquis lors d'un parcours de consentement sécurisé tentant de rester le plus simple possible pour le particulier, donnait lieu au partage d'un « *Access Token* » unique pour qu'il accède à ses données.

Pour plus d'informations

IFRI, [Cybersécurité des infrastructures énergétiques – Regards croisés Europe/États-Unis](#), 2018.

IFRI, [Cyberattaques et systèmes énergétiques – Faire face au risque](#), 2017.



Zoom sur le projet VERTPOM

La cybersécurité : un enjeu majeur !

VERTPOM® (la Véritable EnERgie du Territoire POSitif et Modulaire), constitue une approche holistique de la gestion énergétique d'un territoire lui permettant de devenir un territoire à Energie Positive. Avec VERTPOM-BANK®, ou banque de l'Energie, VERTPOM analyse, supervise, gère les énergies disponibles (électricité, EnR, gaz, eau, chaleur, autres)¹.



La cybersécurité de bout en bout est native à la solution VERTPOM® à tous les niveaux :

- 1/ **Au niveau terrain** : Chaque IBox®² dispose d'une clé d'activation unique générée aléatoirement, renouvelée régulièrement et révocable à tout instant. Les iBox® et les concentrateurs échangent des paquets de données cryptées (128 AES PSK³). Ce cryptage est généré dynamiquement pour chaque échange. Ce réseau terrain est muni de mécanismes de détection d'intrusions et de prévention.
- 2/ **Au niveau réseaux** entre les concentrateurs et le SI, les communications sont sécurisées par un VPN⁴ unique rendant les communications invisibles et sécurisées.
- 3/ **Au niveau du SI**⁵, en soi sécurisé par un système de pare-feux, l'intégrité des données est assurée par la redondance et le monitoring du système informatique. Le plan de reprise d'activité permet la bascule des serveurs vers un datacenter distant répliqué à l'identique et synchronisé en permanence. Des tests de reprise d'activité sont réalisés avec régularité. Une surveillance permanente de chaque service permet d'identifier la moindre anomalie, déclencher l'alerte et neutraliser la menace.
- 4/ **Au niveau Utilisateur** : Afin d'être en conformité avec la CNIL et de garantir la confidentialité des données utilisateurs, elles sont chiffrées avant transfert et stockées chiffrées de manière distribuée et redondante dans le SI. Ainsi, seul le propriétaire des données peut y accéder ou décider de les partager avec les différents acteurs par des mécanismes novateurs de proxy de « rechiffrement ».

Une grande importance est accordée à la prévention des risques liés au facteur humain. La mise en place d'une matrice des rôles et des responsabilités (RACI⁶) est effectuée et mise à jour conjointement entre les DRH et les architectes système. Ces derniers créent une grille sur laquelle se basent ensuite les contrôles d'accès et authentifications pour une bonne prise de conscience des équipes. Elle est suivie d'une formation et d'audits de sécurité pour la mise en place des bonnes pratiques par chaque membre de l'équipe. Elle est ensuite complétée par des contrôles d'accès et de gestion d'identités stricts afin de fragmenter les données pour augmenter leur niveau de sécurité.

¹Voir : https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/vertpom_-_fiche_laureat_vf.pdf;

²iBox® : compteur communicant multi fluides ; ³PSK: Pre-Shared Key ;

⁴VPN : réseau privé virtuel ; ⁵SI : Système d'Information;

⁶RACI : Responsible, Accountable, Consulted, Informed.



Focus thématique

Interopérabilité



Les évolutions de l'instrumentation du réseau électrique

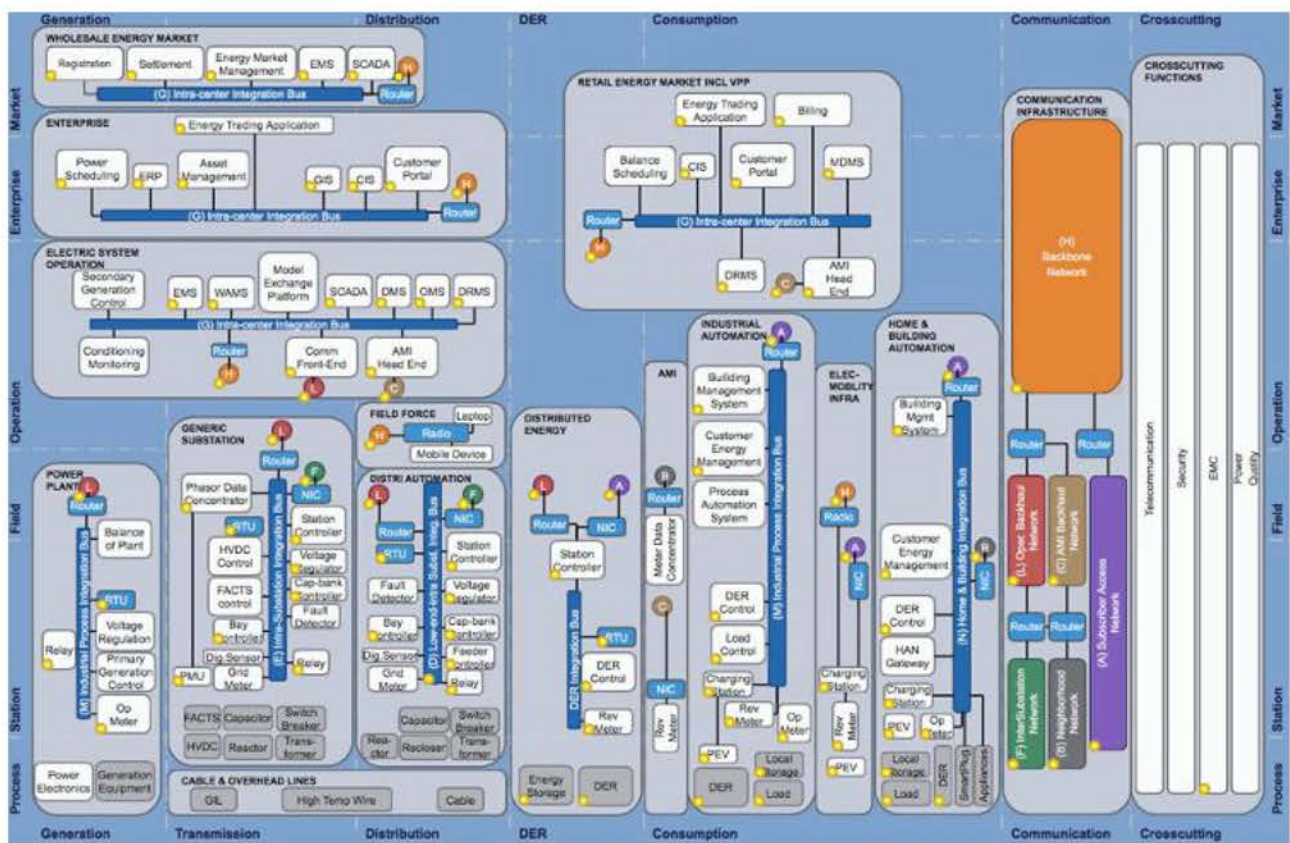
Afin d'accueillir un nombre croissant de sites de production variable, permettant de répondre aux besoins de la transition énergétique, le réseau électrique se doit de s'instrumenter pour les raccorder dans les meilleures conditions et permettre de gérer les contraintes induites. Cette instrumentation implique notamment le pilotage :

- De ces moyens de production,
- Des équipements du réseau électrique : contrôle commande des postes de transformation, régulation de tension sur le réseau (capteurs, automates),
- De moyens de stockage,
- Ainsi que de la charge, en s'appuyant sur le système de comptage intelligent et tous les

systèmes dits aval compteur associés : energy box, infrastructure de recharge de véhicules électriques, objets connectés, etc.

Tous ces systèmes et équipements doivent pouvoir communiquer avec un ou plusieurs systèmes centralisés (GRD, opérateurs de flexibilité, producteurs, etc.), voire entre eux (automatisme décentralisés, autoconsommation collective, etc.). L'utilisation de normes de communication est ainsi souhaitable pour permettre à ces équipements d'interagir de manière interopérable.

Le schéma ci-dessous dresse un tableau des applications et systèmes communicants pour le Smart Grid.



Panorama des systèmes du réseau électrique : Roadmap Smart Grids de la CEI¹

¹ IEC, Smart Grids Standards Map.





Historique

Historiquement, sur le réseau de distribution, les équipements communicants déployés se trouvent principalement au poste source, ainsi que des automates aux fonctions simples répartis sur le réseau. Ces équipements sont télégérés par le SCADA du GRD, par des protocoles propriétaires. Leur maintenance s'effectue localement, grâce à des logiciels propriétaires des constructeurs. Les compteurs ne communiquaient pas à distance avec les SI du GRD.

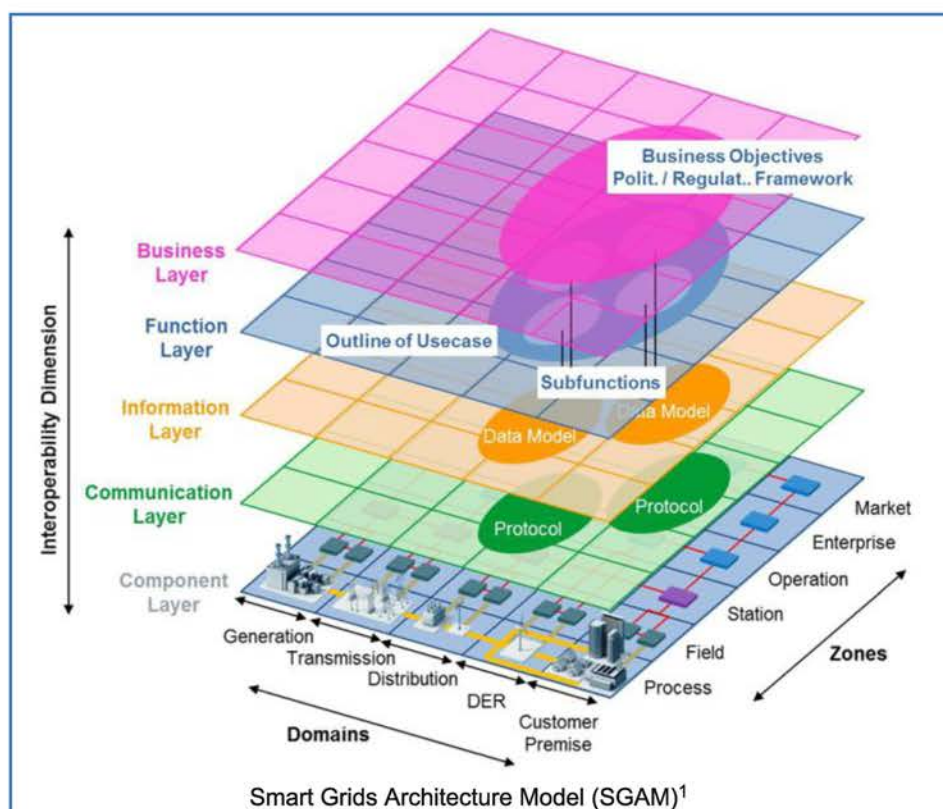
Un réseau beaucoup plus complexe

Du fait de la démultiplication des fonctions à mettre en place sur les réseaux électriques dits « intelligents » et donc des données à échanger, les protocoles historiques, lorsqu'ils existent, sont loin d'être suffisants. En matière de types de flux, mais également concernant leur adéquation aux nouveaux médias IP.

Surtout, le nombre d'acteurs a explosé du fait de la libéralisation du marché de l'énergie et du déploiement de nouvelles fonctionnalités. Il s'agit donc de faire parler entre eux des équipements d'entités différentes : l'utilisation de standards de communication est fortement indiquée, dans un but d'interopérabilité.

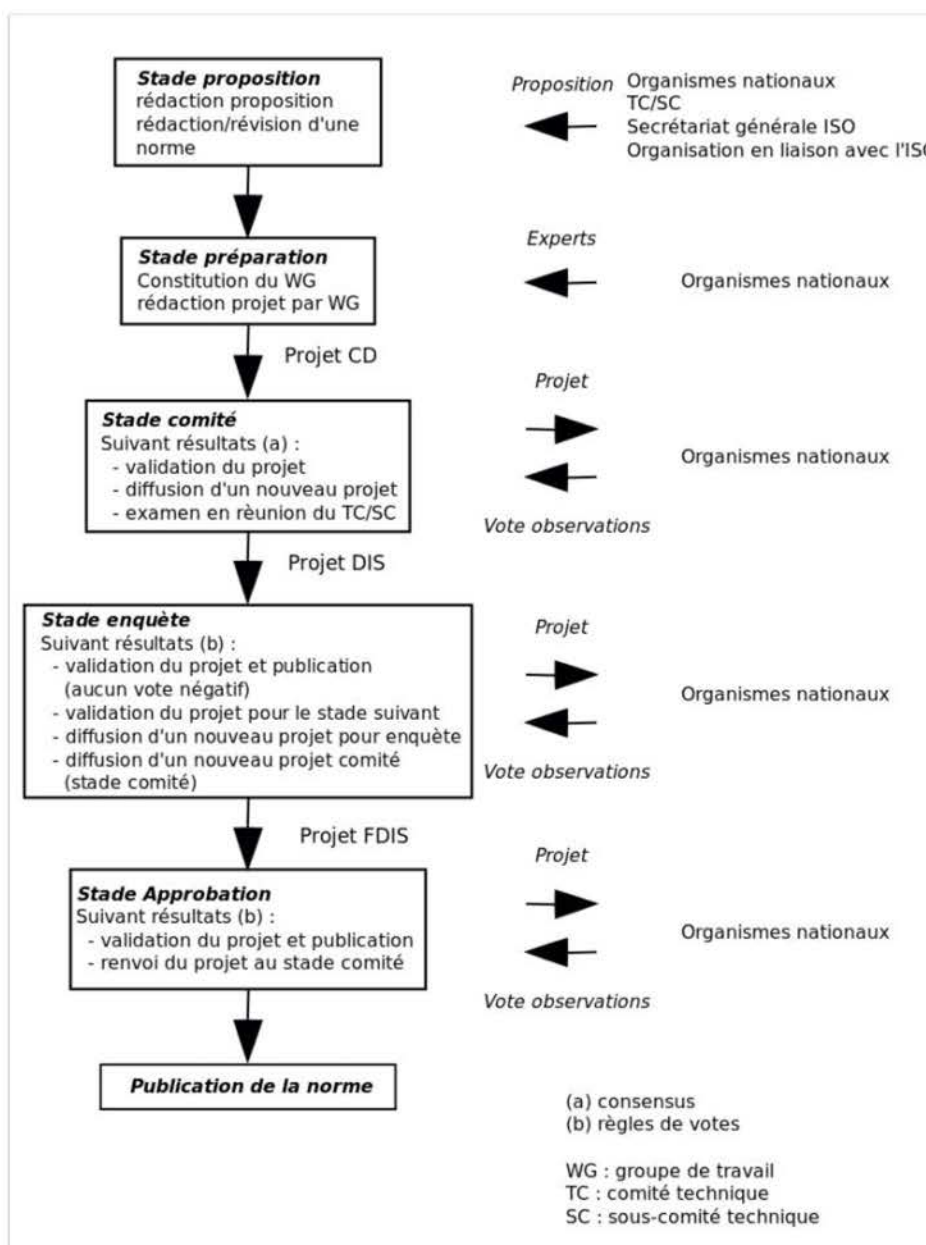
L'interopérabilité, c'est-à-dire la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont connues, à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs, est ainsi un enjeu majeur pour l'instrumentation des réseaux électriques.

Le schéma suivant illustre la segmentation des métiers, des zones et des couches de service à considérer dans les exigences d'interopérabilité.



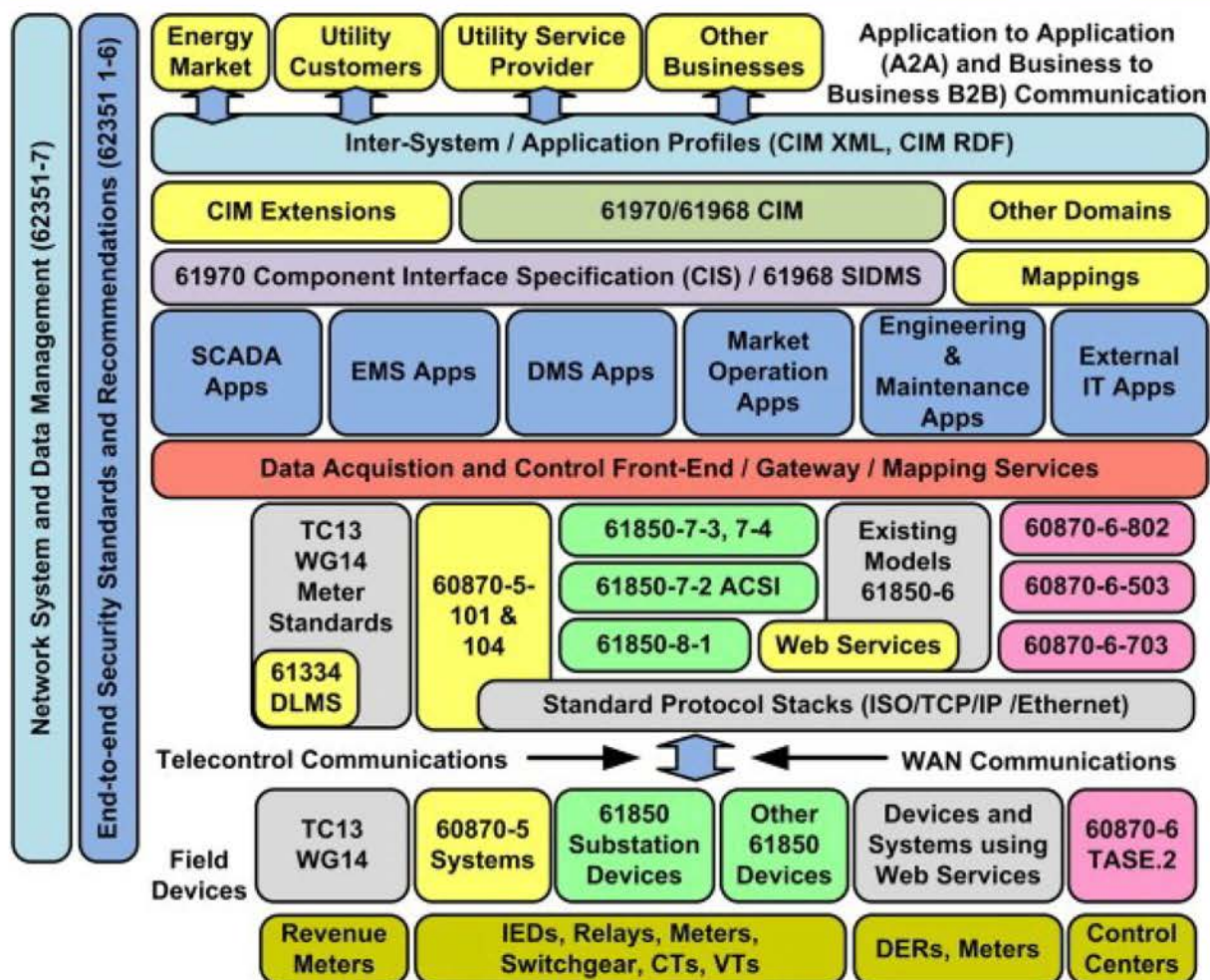
Pour atteindre cet objectif, des normes ont été et sont développées notamment par la CEI pour répondre aux différents usages. Les grandes étapes de l'élaboration d'une norme sont illustrées dans la figure ci-après.

¹CEN, CENELEC, ETSI, Smart Grid Coordination Group. Smart Grid Reference Architecture, 2012.



Processus d'élaboration d'une norme ISO suivant la Directive ISO/CEI

Les normes de communication CEI sont principalement utilisées en Europe et en Asie, tandis qu'en Amérique les systèmes utilisent plutôt des normes IEEE, même s'ils se tournent progressivement vers les nouveaux standards CEI. Par exemple, la famille de normes CEI 61850, qui se veut très complète (états détaillés, configuration, etc.), a tendance à s'imposer sur les couches applicatives pour le contrôle commande du réseau. Le schéma suivant indique les normes CEI prévues pour les différentes applications métiers.



Architecture de référence CEI pour les smart grids¹

Des projets accompagnés par l'ADEME mettent en œuvre ces normes, permettant de mieux les maîtriser et d'uniformiser leur implémentation, voire d'en proposer des améliorations lorsque des problèmes sont identifiés. Le projet BienVEnu notamment a travaillé sur ces problématiques et porté ces enjeux :

« Pour assurer l'interopérabilité des équipements, la résilience et la maintenabilité des installations, une attention particulière a été portée sur les standards de communication. C'est ainsi que OCPP, OCPI et la CEI 61850 ont été adoptés par le projet. Un certain nombre d'éléments ont été identifiés par les partenaires pour être proposés aux instances de standardisation, notamment la norme CEI 63110 et la CEI 63119, et aux instances de spécifications des protocoles OCPI et OCPP. »

Source : Questionnaire de capitalisation du projet BienVEnu.

Les enjeux de politique industrielle

Aujourd'hui le marché des constructeurs d'équipements s'est mondialisé, et les fournisseurs ne peuvent plus se permettre de développer des protocoles spécifiques pour l'industrie électrique française. Utiliser les normes permet donc d'avoir accès à un marché de constructeurs beaucoup plus large.

De plus, cela permet aux opérateurs de ne plus être enchaînés à un fournisseur une fois ses équipements déployés, car les interfaces normalisées permettent l'interchangeabilité des produits.

¹IEC TC57, Power system management and associated information exchange.



Zoom sur l'importance de l'interopérabilité pour le passage à l'échelle du déploiement des solutions Mobilité Electrique

Remerciements : Trialog

La mobilité électrique impacte profondément les acteurs de l'écosystème de la mobilité. Pour le véhicule thermique, on observe des filières disjointes pour :

- La construction et la maintenance des véhicules ;
- La production, le transport et la distribution des carburants ;
- Et les offres de mobilités.

Le véhicule électrique modifie cette donne dans le sens où tous les métiers de la mobilité se trouvent impactés. Au-delà des défis techniques nouveaux (autonomie, temps de recharge, gestion des batteries, maintenance, infrastructure de recharge, réseau de distribution d'énergie, adoption par le client...) de nouvelles opportunités se présentent et plusieurs acteurs nouveaux se positionnent.

Cependant, et au-delà des promesses que présente le véhicule électrique, le déploiement massif tarde à venir. Cela est dû, entre autres, à la compréhension par les usagers d'une offre complexe, à la faiblesse des modèles d'affaires des infrastructures de charge et la présence de freins à l'installation d'IRVE. Une transition est nécessaire, et cette transition ne se fera pas sans interopérabilité des solutions apportées au marché.

L'interopérabilité participe à rendre le service de recharge de véhicule électrique compris par l'utilisateur, rentable pour les opérateurs, non contraignant pour le réseau de distribution, intégré dans les offres de mobilité et vecteur pour le déploiement de masse du véhicule électrique (VE).

La première interopérabilité est celle de la prise de recharge. Cette interopérabilité est en phase d'être validée : l'Europe a standardisé la prise type 2 pour la charge AC pour le VE et s'impose de fait pour l'infrastructure et la prise type 4 Combo pour la charge DC. Les autres types de prises perdent du terrain en Europe et tendront à leur disparition.

La deuxième interopérabilité attendue par le client est celle du moyen d'accès au service de recharge. Cette interopérabilité rassurera l'utilisateur dans ses déplacements de grandes distances. Des opérateurs, comme Gireve, accompagnent cette interopérabilité.

La troisième interopérabilité est celle attendue par les professionnels pour l'opération des parcs de bornes de charge et des services en lien avec la recharge, que cela soit sur les informations statiques ou dynamiques concernant l'IRVE. Des protocoles existent, mais l'interopérabilité n'est pas complète.



Conclusion

Les Systèmes Électriques Intelligents (SEI) recouvrent l'ensemble des services et technologies apportés au réseau (en amont et en aval du compteur électrique) pour favoriser l'intégration des énergies renouvelables, des actions de maîtrise et de gestion de l'énergie et une meilleure pilotabilité du réseau. **La filière française des Systèmes Électriques Intelligents est une filière très dynamique** qui allie des grands énergéticiens, des équipementiers français parmi les leaders internationaux, de nombreuses petites et moyennes entreprises, des organismes de recherche reconnus et des nouveaux arrivants provenant du monde des télécoms ou des réseaux de chaleur. Le secteur présente de **nombreuses opportunités industrielles** (en France comme à l'export) **et de créations d'emplois**.

Depuis 2010, l'ADEME a su **adapter l'accompagnement à l'innovation à la diversité des acteurs et des défis à relever** via le lancement d'appels à projets à géométrie variable. Ceux-ci ont permis de financer, d'une part, des projets structurants en termes d'enjeux, de périmètre et d'acteurs, pilotés par des consortiums composés d'entreprises, de laboratoires et d'associations. D'autre part, des projets mono-partenaires pilotés par des PME ont également été accompagnés sur des périmètres plus limités.

Les 64 projets accompagnés par l'ADEME depuis 2010 couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur des Systèmes Électriques Intelligents. Via ces projets, plusieurs entreprises ont pu développer des solutions innovantes : **véritable catalyseur de l'innovation, l'accompagnement de l'ADEME, en particulier en tant qu'opérateur du Programme d'investissements d'avenir (PIA), a été globalement très bénéfique à la filière française des Systèmes Électriques Intelligents**. Cet accompagnement a apporté des bénéfices significatifs aux acteurs d'un point de vue technique, organisationnel, et économique : expérimentation de solutions et méthodologies innovantes, préparation à l'industrialisation, collaborations inédites, aide à la généralisation de solutions. Aussi, des projets tels que SEE PROJECT, SMART SUN, Postes Intelligents, Smart Grid Vendée, IVOCI, POST, DREAMS ou PRISM ont abouti à **l'industrialisation de solutions répondant à un besoin du marché**. L'ensemble des projets a par ailleurs permis des **avancées notables en matière réglementaire et réglementaire**.

Ces appels à projets ont pu contribuer à **une démarche nationale plus large d'industrialisation et de déploiement des solutions Smart Grids**. On peut citer par exemple le **plan Réseaux de la « Nouvelle France Industrielle »**, lancé en 2017, avec lequel il y a eu plusieurs interactions. Ce plan, a d'une part, pu confirmer la **pertinence économique du déploiement de solutions Smart Grids** en France du point de vue de la collectivité à court et moyen terme, et d'autre part, d'**enclencher les premiers déploiements à grande échelle** (au-delà de Linky) des solutions « réseau » les plus matures sur les régions pilotes, à travers notamment les programmes SMILE et FLEXGRID. Par ailleurs, il est à noter que le PIA a contribué à rendre visible la filière française des Systèmes Électriques Intelligents à

l'international, en collaboration avec ses partenaires historiques, Think Smartgrids et Business France. Entre 2016 et 2019, des délégations étrangères (Brésil, Inde, Corée du Sud, Afrique du Sud, Tunisie, Japon) d'acteurs publics et privés ont tenu, lors de leur visite, à échanger avec l'ADEME sur les avancées françaises en termes de Systèmes Électriques Intelligents.

En parallèle des missions de **conseil aux politiques publiques** et d'**animation de la filière** que porte l'ADEME, la mission de **soutien à l'innovation** dans le domaine des systèmes électriques doit se poursuivre. Outre le développement de fonctionnalités pour une meilleure intégration des EnR et une adaptation des modes de consommation, il est important de considérer certaines thématiques transverses primordiales pour le déploiement d'un système performant. L'exploration de ces thématiques devra être poursuivie dans les futurs projets SEI.

Les Smart Grids reposant par nature sur les technologies de l'information et de la communication (TIC), il est nécessaire d'**intégrer l'interopérabilité et la cybersécurité à la conception des systèmes**. Il s'agit pour la première de travailler à une bonne compréhension et implémentation des normes internationales et d'identifier et fournir aux instances de normalisation les nouvelles fonctionnalités nécessaires aux évolutions du système électrique. S'appuyer sur des normes et leur adoption par les acteurs permet de faciliter les développements des systèmes d'informations, d'homogénéiser les opérations d'exploitation et de maintenance, et constitue **un enjeu de politique industrielle** via la limitation des coûts de développement, tant pour les prescripteurs que pour l'accès à différents marchés pour les fournisseurs. La cybersécurité quant à elle doit être intégrée aux projets dès leur conception, en menant une analyse de risque et en déclinant des mesures nécessaires pour permettre de **réduire les risques** significatifs portés par ces systèmes à un niveau acceptable.

Par ailleurs, il est important d'**évaluer plus précisément les impacts et bénéfices environnementaux de ces systèmes**. Cette démarche reste rare et les méthodes et hypothèses en termes d'évaluation environnementale sont multiples. Il conviendrait de mettre en commun les méthodes d'évaluation et de les partager au sein de la filière pour améliorer l'analyse fine des bénéfices nets des solutions Smart Grids. Les **gains** viennent notamment de leur participation à l'augmentation de la capacité d'accueil d'énergies renouvelables, à la maîtrise de la demande en énergie, à une sollicitation moindre de moyens de production carbonés dans la fourniture des services au réseau, etc. Du côté des coûts, on note particulièrement l'impact du numérique aussi bien en termes de consommation énergétique que de consommation de matières.

Présentation des projets accompagnés depuis 2010

En soutien à la filière des Systèmes Électriques Intelligents, l'ADEME a accompagné 66 projets depuis 2010 à travers cinq instruments de financement et un fonds d'investissement.

I. Les projets peu ou pas détaillés dans le présent rapport

Les projets ci-dessous ont fait l'objet d'une analyse détaillée dans le rapport « Systèmes Électriques Intelligents : premiers résultats des démonstrateurs » publié en octobre 2016. Ils ne sont donc pas (ou peu) détaillés dans le corps du présent rapport. Ils apparaissent uniquement sur les schémas de type cartographie.

EVA

Qualisteo



2016-2017



Alpes-Maritimes



Initiative PME

Le projet **EVA** avait pour but de pouvoir proposer aux entreprises de toutes tailles une solution technique de Maîtrise de la Demande d'Énergie (MDE), embarquant une capacité de pilotage, et un modèle d'affaires innovant.

Flex-Adapt

ECO-ADAPT



2016-2017



Vannes



Initiative PME

Le projet **Flex-Adapt** avait pour objectif de mettre en œuvre un démonstrateur de système de pilotage optimisé et automatisé des consommations électriques de sites tertiaires en fonction de signaux tarifaires.

GDB SSG

Gridbee



2016-2017



Alpes-Maritimes



Initiative PME

Le projet **GDB SSG** avait pour objectif de développer une solution de sécurisation combinée sur différentes couches logicielles, afin de rendre communicant tout objet industriel générant des données et/ou devant être piloté à distance, au sein d'un réseau maillé « Plug & Play ».

GreenLys

Enedis en partenariat avec GEG, GFD Suez, Grenoble INP, Schneider Electric



2012-2016



Lyon et Grenoble



AAP

Le projet **GreenLys** avait pour objectif de tester des solutions de Maîtrise de l'Énergie (MDE) auprès de 1.000 résidentiels et 40 sites tertiaires. Il a expérimenté une approche globale du système électrique intégrant des solutions de gestion et de pilotage de l'électricité à l'amont et à l'aval du compteur sur deux territoires urbains.

Ijenko

Ijenko



2017-2018



Boulogne-Billancourt



Fonds EcoTech

Le projet **Ijenko** avait pour objectif de développer une plateforme B2B de services de gestion de la demande énergétique résidentielle et de l'habitat intelligent permettant aux particuliers de disposer de services de pilotage et d'efficacité énergétique.

IPERD

Séché Environnement en partenariat avec Ines et SRD



2012-2015



Le Vigean et l'Isle et Jourdain



AAP

Le projet **IPERD** avait pour objectif d'expérimenter plusieurs solutions de gestion de l'énergie (stockage et écrêtage, seuls ou en combinaison) en vue de faciliter l'insertion d'électricité d'origine renouvelable dans le réseau de distribution en configuration isolée (zone rurale).

LORATIC

Ixel



2016-2017



Yvelines



Initiative PME

Le projet **LORATIC** avait pour objectif de développer un outil de pilotage fin de la performance électrique et communiquant via le réseau LoRa. L'outil doit permettre aux industriels d'avoir accès à une plateforme de gestion des consommations énergétiques.

MILLENER

EDF en partenariat avec bpl, Delat Dore, edelia, Saft, Schneider Electric, Sunzil



2011-2015



Guadeloupe/Réunion/Corse



AAP

Le projet **MILLENER** avait pour objectif d'expérimenter l'effacement chez les particuliers au moment de la pointe de consommation électrique en milieu insulaire ainsi que de soutenir la stabilité du réseau via des installations photovoltaïques couplées à une batterie de stockage domestique.

MODELEC

Direct energie en partenariat avec Centre d'Etudes sur l'Actuel et le Quotidien, G.E.S, IJENKO



2011-2015



France



AMI 2 - PIA

Le projet **MODELEC** avait pour objectif d'analyser le gisement d'effacements résidentiels ainsi que ses leviers d'acceptation par les clients. L'expérimentation d'outils de Maîtrise de l'Énergie (MDE) ont complété les travaux.

NICE GRID

Enedis en partenariat avec ALSTOM, ARMINES, Daikin, EDF, NetSeenergy, nke, Wateco, SOCOMEC



2011-2015



Carros



AAP

Le projet **NICE GRID** avait pour objectif d'optimiser, à l'échelle d'un quartier, la production, la consommation et le stockage d'électricité avec une insertion importante d'électricité photovoltaïque sur le réseau de distribution.

RéFlexE

Veolia en partenariat avec **Alstom, SAGEMCOM, CEA-INES, SUPELEC**



2011-2015



PACA



AAP

Le projet de recherche **RéFlexE** avait pour objectif d'évaluer les solutions de pilotage intelligent de l'énergie à l'échelle d'un parc immobilier, en optimisant les équilibres entre production, stockage et consommation. Pour ce faire, il a expérimenté des fonctions d'agrégation par la gestion en temps réel de sites consommateurs et producteurs d'électricité.

Smart RESERVE

ARMINES en partenariat avec **CSTB, Mines ParisTech, Solaïs**



2012-2015



France



APR ED

Le projet **Smart RESERVE** avait pour objectif d'étudier la prédictibilité et la variabilité intra-horaire des sources d'électricité météo-dépendantes. Ces travaux ont servi pour évaluer les besoins de réserves secondaire et tertiaire et du suivi de charge nécessaires pour la gestion des fluctuations dans un futur système électrique incluant un fort taux d'éolien et de solaire photovoltaïque.

SoEcoMDE

Alphéeis



01/2014-11/2014



Valbonne



APRED

Le projet de recherche **SoEcoMDE** avait pour objectif d'analyser les facteurs socio-économiques qui entrent en jeu dans l'utilisation et l'adoption par les ménages des solutions de Maîtrise de la Demande d'Énergie (MDE) dynamique, notamment l'information sur les consommations d'énergie, la tarification dynamique et le contrôle des équipements.

SOGRID

ST en partenariat avec **Capgemini, Ecole Polytechnique, ERDF, Grenoble INP, LAN, Landis Gyr, LIX, Nexans, SAGEMCOM, Trialog**



2011-2015



Haute Garonne et Toulouse



AAP

Le projet **SOGRID** a testé en conditions réelles une chaîne complète en Courant Porteur en Ligne (CPL) de troisième génération pour rendre le réseau de distribution d'électricité pilotable en temps réel.

VENTEEA

Enedis en partenariat avec **Boralex, EDF, GE, L2EP, made, RTE, Saft, Schneider Electric, Université Technologique de Troyes**



2012-2015



Aube



APP

Le projet **VENTEEA** avait pour objectif de développer et tester des équipements et des outils de gestion innovants (des systèmes d'observation, de prévision et de régulation de la tension et du réactif) sur le réseau de distribution HTA en milieu rural et en situation de forte production d'énergie éolienne.

II. Les projets détaillés dans le présent rapport

Les projets ci-dessous ont été clôturés entre 2016 et 2019 et font l'objet d'une analyse détaillée dans le présent rapport.

ABIILE

Homepulse



2016-2017



Bouches-du-Rhône



Initiative PME

Le projet **ABIILE** avait pour objectif de concevoir un moteur d'alertes comparatives des consommations électriques à partir de courbes de charge Linky afin de pouvoir détecter des anomalies dans la consommation par rapport à des ménages comparables.

AIR-RESPONSE

Air-Adapt



2017-2018



Bas-Rhin, Gironde, Paris



Initiative PME

Le projet **AIR-RESPONSE** avait pour objectif de développer un système de pilotage des équipements de chauffage, ventilation et climatisation des bâtiments tertiaires, permettant de créer une flexibilité de consommation électrique tout en conservant la maîtrise du confort thermique.

BeeBryte

BeeBryte



2016-2017



Lyon



Initiative PME

Dans le projet **BeeBryte**, le porteur de projet a travaillé sur un pilotage intelligent des systèmes de stockage électrique derrière le compteur électrique de clients industriels et tertiaires afin de réduire leur facture électrique via une analyse prédictive et des algorithmes avancés d'optimisation.

BienVEnu

Enedis en partenariat avec **Centrale Supélec, G2Mobility, Clem, Nexans, park'n plug, Tetra, Gora, Trialog**



2015-2018



Île-de-France



AAP

Le projet **BienVEnu** avait pour objectif de développer une solution technique et commerciale de recharge intelligente de véhicules électriques en logements collectifs, permettant des raccordements progressifs, rapides et à un coût maîtrisé.

DREAMS

Eqinov



2016-2017



Hauts-de-Seine



Initiative PME

Le projet **DREAMS** avait pour objectif de développer une plateforme permettant d'identifier, d'agréger et d'activer la capacité de flexibilité d'une série de clients industriels. En cela, la plateforme a constitué une centrale virtuelle de production ou de consommation électrique.

EFFIGINI

Fludia



2018-2020



Suresnes



Initiative PME

Le projet **EFFIGINI** avait pour objectif de développer une solution de supervision des consommations électriques permettant d'inciter les établissements du secteur de l'hébergement et de la restauration à réaliser des économies d'énergie.

EnR POOL

Energy Pool en partenariat avec CEA, Ines, Schneider Electric



2012-2015



France



AAP

Le projet **EnR POOL** avait pour objectif d'étudier les moyens de maintenir l'équilibre du système électrique tout en intégrant des énergies renouvelables via la modulation de consommation de sites industriels et tertiaires.

FHyCIB

Energy Pool



2017-2018



Savoie



Initiative GreenTech Verte

A travers le projet **FHyCIB**, le porteur de projet souhaitait développer une solution clé en main aux industriels pour une valorisation de leurs flexibilités et l'intégration d'un système de stockage sur leur site. Via cette approche hybride, un nombre accru de consommateurs pourraient participer à l'équilibrage du système électrique.

FLEXBAT

Syndicat Départemental d'Energies du Morbihan en partenariat avec IRDL, IREA, Keynergie, Schneider Electric



2015-2018



Bretagne, Morbihan, Vannes



APR ED

Le projet **FLEXBAT** avait pour objectif de tester la flexibilité des bâtiments et la recharge des véhicules électriques. Il a visé l'étude et la création d'outils permettant de concevoir, suivre, prédire et piloter la production et les usages à la maille locale, notamment grâce au stockage d'électricité (stationnaire ou mobile avec les véhicules notamment).

I-Grid

Edison Ways



2015-2016



Tarn et Garonne



Initiative PME

Le projet **I-Grid** avait pour objectif de réaliser une organisation innovante d'un réseau électrique sous forme de grappes et basée sur un micro-grid qui permettrait aux différents opérateurs d'envoyer des consignes élaborées à des nano-grids.

IVOCI

DCbrain



2017-2018



Paris, Côtes-d'Armor



Initiative GreenTech Verte

Le projet **IVOCI** avait pour objectif de créer une brique technologique de détection d'anomalies appliquée aux séries temporelles de mesure issues des capteurs de réseaux physiques pour détecter les dérives de capteurs.

MUST PLAN

E-sims



2016-2017



Martinique



Initiative PME

Le projet **MUST PLAN** avait pour objectif de développer un outil permettant de dimensionner, simuler et optimiser la planification de moyens de stockage distribués au niveau des départs HTA en territoires insulaires.

OAA

Comwatt



2016-2017



Hérault



Initiative PME

Le projet **OAA** avait pour objectif de développer un outil d'optimisation auto-apprenant pour la gestion intelligente et personnalisée des flux électriques d'une maison avec production solaire.

POST

Artelys en partenariat avec inria



2013-2017



France



AAP

Le projet **POST** avait pour objectif de modéliser un système électrique de grande taille, à l'échelle nationale et européenne, pour optimiser le dimensionnement de grands systèmes électriques, et notamment les interconnexions européennes.

Postes Intelligents

RTE en partenariat avec Alcatel Lucent, Alstom, Enedis, neelogy, Schneider Electric



2013-2017



Picardie



AAP

Le projet **Postes Intelligents** avait pour objectif d'avoir une connaissance plus fine de l'état du réseau électrique ainsi que d'améliorer l'exploitation et la maintenance (téléconduite et téléopérabilité) via la numérisation de deux postes démonstrateurs composés d'équipements HT et BT de nouvelle génération.

POWER

Kapteos



2016-2017



Savoie



Initiative PME

Le projet **POWER** avait pour objectif de concevoir, développer et caractériser une pince watt-métrique multiconducteurs sans contact et donc non intrusive pour faciliter la pose de capteurs dans le cadre d'audits énergétiques, mais également des opérations de contrôle et diagnostic dans la maintenance industrielle.

PRISM

eLum



2017-2018



Paris, Maroc



Initiative GreenTech Verte

Le projet **PRISM** avait pour objectif de développer le socle technologique de deux produits permettant de contrôler un micro-grid et d'économiser du combustible. Ces deux briques s'insèrent dans une solution de pilotage clé-en-main et intelligente de batteries, interopérable et résiliente. La solution de contrôle est adaptée aux systèmes hybrides sur sites isolés, équipés de centrales solaires et groupes électrogènes.

Rescompte

CNRS Télécom Paris, Institut Polytechnique de Paris en partenariat avec **Università degli Studi di Padova, CSTB**



2017-2020



Paris, Padova



APR TEES

Rescompte est un projet de recherche qui a pour objectif d'étudier la réception sociale des compteurs électriques communicants dans une perspective comparative entre la France et l'Italie. Les études ont pour objectif d'analyser plus particulièrement les controverses autour des aspects techniques des compteurs communicants, des conditions de déploiement et de leur dimension écologique.

REstable

ARMINES en partenariat avec **Maïa Eolis, Hydro NEXT, Fraunhofer IWES, SOLARWORLD, Artelys, INESC TEC, MINES ParisTech, HESPUL, ENERCON**



2016-2019



France et Allemagne



AAP

REstable était un projet collaboratif ERAnet i.e. à dimension européenne qui avait pour objectif de démontrer la faisabilité de la fourniture de services système par des centrales photovoltaïques et éoliennes, agrégées dans une centrale virtuelle.

SEE Project

S4E



2017-2018



Morbihan, La Réunion



Initiative GreenTech Verte

Le projet **SEE Project** a visé l'amélioration des prévisions de production court-terme pour les installations photovoltaïques en incluant des données issues du voisinage, avec l'objectif de rendre les réseaux plus résilients vis-à-vis de variations météorologiques.

SMART-CONTROLLER

OSMOSE



2017-2018



Alpes Maritimes



Initiative GreenTech Verte

Le projet **SMART-CONTROLLER** avait pour objectif de faire évoluer des briques technologiques de pilotage des équipements de chauffage et climatisation de bâtiments tertiaires pour pouvoir répondre à des sollicitations du réseau en proposant l'effacement de la pointe électrique.

Smart Electric Lyon

EDF en partenariat avec **Agro Campus, ARMINES, CSTB, Delta Dore, dombox, edelia, Enedis, etics, Groupe Atlantic, hager, legrand, Mines ParisTech, Noirot, orange, Panasonic, Philips, Schneider Electric, SFR, somfy, Université de Lyon, Université de Tours, Université de technologie de Troyes**



2012-2017



Grand Lyon



AAP

Le projet **Smart Electric Lyon** avait pour objectif de faire tester par 25 000 foyers et 40 sites tertiaires des solutions techniques (systèmes de gestion d'énergie, afficheurs, pilotage du chauffage électrique, ...) couplées à des offres tarifaires innovantes pour favoriser la maîtrise des consommations électriques.

Smart-EMS

Sirea group



2016-2017



Castres



Initiative PME

Le projet **Smart EMS** a travaillé sur le pilotage et la supervision des installations hybrides de production et du stockage d'énergie électrique, pour optimiser les centrales d'énergies reposant sur les mini-réseaux. Le projet a intégré sur une base matérielle dédiée et modulaire, différentes configurations logicielles spécifiques combinant des énergies renouvelables et conventionnelles.

Smart Grid Monitoring

Enedis en partenariat avec WIN MS



2016-2019



France



Initiative GreenTech Verte

Le projet **Smart Grid Monitoring** avait pour objectif de développer des capteurs permettant d'accéder à la signature des câbles sur des segments de plusieurs kilomètres. L'analyse de la signature permet de détecter et de localiser des défauts permanents ou fugitifs, qui sont souvent précurseurs d'une rupture de ligne électrique.

Smart Grid Vendée

SyDEV en partenariat avec Actility, ALSTOM, COFELY INEO, ERDF, le cnam, legrand, Rte



2013-2018



Vendée



AAP

Le projet **Smart Grid Vendée** avait pour objectif de tester à l'échelle du département des matériels développés par les partenaires du projet. Une chaîne technique complète d'activations des flexibilités a également été testée en conditions réelles, mais avec des contraintes simulées, avec l'ensemble des parties prenantes : autorité concédante, gestionnaires de réseaux, agrégateurs et offreurs de capacité, fournisseurs de solutions.

SMART SUN

WEBDYN



2017-2018



Yvelines



Initiative GreenTech Verte

Le projet **SMART SUN** avait pour objectif de développer une passerelle de communication pour ajouter de nouvelles fonctions d'asservissement de la production photovoltaïque aux fonctions déjà existantes de collecte de données sur une installation. L'adaptation de la puissance produite en temps réel et du coefficient tangente phi doit permettre la modulation de l'injection dans le réseau.

Smart ZAE

SCLE SFE en partenariat avec Cirtem, Laplace, Levisys



2012-2016



Toulouse



AAP

Le projet **Smart ZAE** avait pour objectif de développer une solution pour prévoir, suivre et optimiser la consommation énergétique en la mutualisant entre les acteurs de la zone d'activité économique (ZAE). Il a également expérimenté le pilotage des installations pour valoriser la flexibilité, ainsi que le stockage de l'énergie renouvelable produite sur site.

SOLENN

Enedis en partenariat avec **ALOEN, Delta Dore, la CSF, Lorient Région Bretagne, Niji, PEB, Rte, UFC 56, Université Bretagne Sud, Vity Technology**



2014-2018



Lorient Agglomération



AMI 4 - PIA

Le projet **SOLENN** avait pour objectif de tester des dispositifs d'information et d'accompagnement à la maîtrise de la demande en électricité, déployés auprès de 900 foyers participants pendant 4 ans. Le deuxième volet du projet a expérimenté l'écrêtement de puissance solidaire pour réduire le recours au délestage et sécuriser ainsi l'alimentation électrique en cas d'incident.

SIMPADE

NovEner



2016-2017



Drôme



Initiative PME

Le projet **SIMPADE** avait pour objectif de développer des logiciels de modélisation, simulation, monitoring et pilotage pour gérer et optimiser des écosystèmes d'énergie avec une approche globale incluant les usages, réseaux et sources de production ainsi que de stockage.

syNergies

Solunergie en partenariat avec **Agro Campus, ALSTOM**



2016-2017



Paris



Initiative PME

Le projet **syNergies** avait pour objectif de simuler l'optimisation des portefeuilles de contrats d'électricité (consommation, production, flexibilités) de 5 collectivités pour générer des économies d'énergie et favoriser le développement local de la production d'électricité d'origine renouvelable.

TBH Alliance

ecoCO2 en partenariat avec **Archos, CGI Business Consulting, Fludia, Lutin, Userlab**



2014-2017



France



AAP

Le projet **TBH Alliance** avait pour objectif de mener une large étude sur un panel représentatif de 3.200 consommateurs permettant de mesurer les économies réalisées par différents systèmes d'affichage d'indicateurs relatifs à leur consommation électrique.

VAF-IA

METRON



2017-2018



Loiret, Paris, Nord



Initiative GreenTech Verte

Le projet **VAF-IA** avait pour objectif de développer un système automatisant la prise de décision et la réalisation des effacements de sites agricoles et agroalimentaires pour valoriser leur flexibilité de consommation.

III. Les projets seulement évoqués dans le présent rapport

Les projets ci-dessous sont toujours en cours. Si leurs résultats ne sont pas encore connus, le présent rapport analyse les grandes tendances dans lesquelles ces projets s'inscrivent.

Actility

Actility



Depuis 2012



Bretagne



Fonds Ecotechnologies

Actility est spécialisé dans les réseaux mobiles pour l'Internet des objets. L'entreprise fournit une plateforme pour objets connectés basée sur une technologie à bas débit.

AtAC

Energies Demain



2018-2020



Paris



Concours d'innovation

Le projet **AtAC** a pour objectif de développer une solution web permettant l'identification territoriale de sites propices à l'autoconsommation collective et économiquement pertinents. Le repérage des sites, ainsi que l'assemblage des consommateurs variés et des zones de production photovoltaïques diverses vise à maximiser la quantité d'énergie autoconsommée.

aVEnir

Enedis en partenariat avec **56, Aix-Marseille Université, dreev, Gireve, izivia, PSA, Renault, Schneider Electric, Trialog, Université Grenoble-Alpes**



2019-2022



Alpes-de-Haute Provence, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes, Bouches-du-Rhône, Rhône, Var, Vaucluse



AAP

Le projet **aVEnir** a pour objectif de faciliter le développement à grande échelle de la mobilité électrique en s'assurant de l'intégration des véhicules électriques sur le réseau à moindre coût. Le projet s'articule autour de la compréhension des impacts techniques de l'intégration des véhicules électriques (VE) sur le réseau, la co-construction et la validation expérimentale de solutions de recharge intelligente, et l'évaluation des opportunités liées à l'utilisation potentielle des flexibilités des VE à différentes mailles locales du réseau.

DIGISOL

TECSOL en partenariat avec **Roussillon Aménagement, SUNCHAIN**



2017-2020



Perpignan et Région Occitane



AAP

Le projet **DIGISOL** a pour objectif d'accélérer le développement de la solution technique de certification d'échanges d'énergie photovoltaïque basée sur la technologie blockchain dans le cadre d'opérations d'autoconsommation collective (ACC). Au cours du projet, des outils juridiques et organisationnels ainsi qu'une méthodologie sociologique pour accompagner le déploiement de l'ACC sont développés.

FUSINI

Fludia



2018-2020



Suresnes



Concours d'innovation

Le projet **FUSINI** a pour objectif de développer un système embarqué de fusion de données énergétiques multi-fluides, générant des contenus interprétés à forte valeur et directement exploitables par des solutions de Smart Monitoring afin de comprendre et réduire les consommations de petits et moyens bâtiments.

INTERMITTENCE PLUS

Degetel en partenariat avec **Armines, cotherm, eqinov, Energylink, Sciences Po Grenoble, SCLE SFE, SIGFOX, Viessman**



2016-2019



Toulouse



AAP

Le projet **INTERMITTENCE PLUS** a pour objectif de développer des solutions innovantes de pilotage en temps réel de charges diffuses comprenant en amont du compteur électrique des télécommandes appropriées et en aval, un gestionnaire de modulation et des charges de puissance intelligentes appelées « *Smart Loads* ».

m2M : From Microgrid to Megagrid

CEA en partenariat avec **Chalmers, Energi, G2E Lab, Göteborg, RI.SE, SOREA, TU/e**



2017-2020



Savoie



AAP

Le projet **m2M** a pour objectif de développer des algorithmes innovants de gestion de micro-réseaux, définis comme un ensemble de producteurs et de consommateurs connectés sur le réseau, ainsi qu'une expérimentation dans le cadre de trois démonstrateurs, deux en Suède et un en France. Les partenaires visent à maximiser la coordination entre les micro-réseaux et à optimiser l'interaction avec le réseau de distribution tout en minimisant les échanges d'information entre micro-réseaux.

MSE

Idex en partenariat avec **Armines, CEA, Métropole Nice Côte d'Azur**



2019-2023



Alpes Maritimes, Nice



AAP

Le projet **MSE** a pour objectif de développer un portefeuille d'outils et de services associés au pilotage d'un Smart Grid multi-énergies (réseau de chaleur et de froid à ressource géothermique, installations de solaire PV, stockage thermique, frigorifique et électrique) à l'échelle de l'écoquartier Nice Méridia.

NEXT

Artelys en partenariat avec **GEG, inria, L2EP**



2017-2020



Grenoble



AAP

Le projet **NEXT** a pour objectif de concevoir et développer un logiciel européen pour la simulation et le dimensionnement des réseaux électriques, y compris de leurs flexibilités, avec pour cibles les gestionnaires de réseaux, collectivités territoriales, gouvernements ou industriels. La solution permet d'adresser (i) des études décisionnelles permettant de déterminer le programme d'investissement réseau, (ii) des schémas directeurs des réseaux électriques selon les scénarios possibles, et (iii) une étude de l'impact du déploiement de politiques publiques.

PicoWatty

eco CO₂ en partenariat avec **ARCHOS, WEBDYN**



2017-2020



Île de France, PACA



AAP

Le projet **PicoWatty** a pour objectif d'adapter la solution d'affichage des consommations et de conseils aux particuliers développée dans le cadre du projet TBH aux marchés B2B et B2B2C. Les partenaires visent à développer une infrastructure d'IOT et un réseau longue portée bas-débit dédié, permettant de porter différents services principalement liés à l'énergie, mais aussi à la santé.

PRIDE

Images & réseaux en partenariat avec **list cea tech, Enedis, Senx, For City, GRDF, GRTgaz, orange, Rte, Trialog**



2017-2020



Bretagne, Pays de la Loire



AAP

Le projet **PRIDE**, une plateforme logicielle de collecte et de traitement de données, a pour objectif de servir de médiation entre les différents protocoles des projets Smart Grid de SMILE. Elle doit agréger et analyser l'ensemble des données de manière dynamique, sécurisé et interopérable.

REgions

Austrian Institute of Technologies en partenariat avec **Arge Netz, ARMINES, Artelys, Boku-Met, Boralex, Enercon, ENGIE Green, Hespul, Fraunhofer IEE, SDET, SyDev, Ubimet, Wien Energy**



2019-2022



Autriche, Allemagne, France



AAP

Le projet **REgions** a pour objectif de : (i) concevoir et évaluer la pertinence de marchés locaux de services système pour la gestion des congestions et la régulation de tension, (ii) accroître la coordination des moyens de production renouvelable variables pour la provision de services système aux échelles régionale, interrégionale et européenne au travers de leur intégration à des centrales virtuelles (Virtual Power Plant ou VPP), et (iii) étudier l'évolution possible du jeu d'acteurs (gestionnaires de réseaux, producteurs, agrégateurs, collectivités, etc.) au regard de l'évolution des marchés de services système.

Rennes Grid

Schneider Electric en partenariat avec **CNRS, écoorigin, Enedis, Enercoop, Groupe Caisse des Dépôts, Métropole de Rennes, LANGA**



2019- 2021



Bruz



AAP

Le projet **Rennes Grid** a pour objectif de coupler une opération d'autoconsommation collective à une démarche collective de Maîtrise de la Demande d'Énergie (MDE) via le pilotage des consommations, ciblé selon le type de client et son potentiel d'économies d'énergie. Il est implanté au sein d'une zone d'activité fortement tertiaire (nombreuses entreprises et zone universitaire).

RETHINE

LOCIE, G2Elab, PACTE



2019-2021



Grenoble



APR ED

Le projet **RETHINE** a pour objectif de déployer un outil numérique intégré d'aide à la décision basé sur la simulation et l'optimisation multi-acteurs des échanges d'énergie entre les réseaux de chaleur et d'électricité d'un quartier ou d'un territoire. L'outil est à destination de collectivités, d'acteurs de projets urbains (écoquartier, etc.) ou de projets énergétiques (e.g. mini-grid). Il doit permettre de développer des interconnexions entre les réseaux électriques et thermiques pour intégrer les énergies renouvelables et valoriser les énergies fatales.

SMART OCCITANIA

Enedis en partenariat avec **ACTIA, CAHORS, Institut de Recherche en informatique de Toulouse, Région Occitanie, Université Perpignan**



2017-2020



Région Occitanie



AAP

Le projet **SMART OCCITANIA** a pour objectif d'intégrer une logique d'industrialisation, d'aménagement du territoire et d'implication de citoyens autour des réseaux électriques intelligents (REI) en milieu rural. La première campagne d'expérimentation vise à tester et à industrialiser de nouvelles technologies de communication permettant d'améliorer l'observabilité du réseau ainsi que de nouveaux systèmes pour la prédiction et l'anticipation de situations de crise. Ensuite, un écosystème autour des REI ruraux et de la transition énergétique sur le territoire de l'Occitanie est développé. La troisième campagne se focalise sur la valorisation de flexibilités.

So Mel So Connected

MEL en partenariat avec dalkia, EDF, Enedis, intent, LEM, Université Catholique de Lille, yncréa



2017-2021



Métropole Européenne de Lille



AAP

Le projet **So Mel So Connected** a pour objectif d'industrialiser des solutions Smart Grids dans une approche systémique. Sur une zone de grande ampleur, mixte urbaine et rurale, sont déployées des solutions autour de l'autoconsommation collective, de la valorisation du potentiel énergétique local, du déploiement des Infrastructures de Recharge des Véhicules Électriques (IRVE) et des approches combinées de planification énergétique et de cohésion sociale.

STASE²

Deepki



2018-2020



Paris



Concours d'innovation

Le projet **STASE²** a pour objectif de développer de nouvelles techniques d'analyse descriptive, diagnostique, prédictive et prescriptive pour augmenter les performances de la solution Deepki Ready notamment en termes de plans d'action d'efficacité énergétique. La solution s'appuie sur la plateforme Open Data d'Enedis permettant d'accéder aux données collectées par quelques 500.000 compteurs intelligents.

UTILIT-e

Odit-e



2018-2020



Meylan



Concours d'innovation

Le projet **UTILIT-e** a pour objectif de développer un « double numérique » du réseau basse tension à partir de données de compteurs communicants. Ce logiciel fournit aux gestionnaires de réseaux une aide à la décision pour la planification, capable de prédire l'impact exact de l'insertion de production décentralisée ou d'une modification des consommations, ainsi que des outils d'optimisation permettant de maximiser leur insertion et de résoudre des contraintes réseaux.

VERTPOM

CiAC en partenariat avec GAZELEC Energies du Santerre, Université de Picardie Jules Vernes, Villes de Péronne et de Saint Quentin



2017-2020



Péronne



AAP

A travers le projet **VERTPOM**, le consortium développe et déploie un logiciel qui sert de « banque de l'énergie ». Les nouveaux services comportent des IBox multi-fluides (électricité, gaz, eau et thermique), la recharge intelligente pour véhicules électriques, l'optimisation des réseaux avec des capteurs non-intrusifs, l'efficacité énergétique pour les bâtiments et les infrastructures.

Documentation publique sur certains projets

Pour capitaliser sur les résultats de leur expérimentation, quelques porteurs de projet ont publié des livres blancs ou dossiers de presse. Des sites Internet dédiés à la présentation du projet sont également disponibles.

Nom du projet	Livres blancs et bilans	Dossiers de presse
BeeBryte	Stockage électrique , le prix de la révolution	
BienVEnu	Recommandations pour l'installation d'une infrastructure de recharge pour véhicules électriques dans le résidentiel collectif existant	
GreenLys		Greenlys , première expérimentation française d'un système électrique intelligent urbain à Lyon et à Grenoble, dévoile ses conclusions
Infini Drive	Livre blanc sur le bon usage d'une flotte de véhicules électriques et de ses ressources par les entreprises et collectivités	
NICE GRID		Dossier de presse de Nice Grid
Postes Intelligents		Le Projet Postes Electriques Intelligents : une première mondiale dans le domaine des smart grids
Rennes Grid	Site Internet à disposition	
Restable	Site Internet à disposition	
Smart Electric Lyon	Le bilan – Retour vers le futur	Lancement du projet Smart Electric Lyon et inauguration du show-room
Smart Grid Vendée		Smart Grid Vendée : un projet qui expérimente l'optimisation énergétique à l'échelle d'une collectivité territoriale
Smart Occitania	Site Internet à disposition	

SMART ZAE		Smart Grid Expérience : le 1er smart grid testé à l'échelle d'une zone d'activité à Toulouse
SOGRID		SOGRID , en quelques mots Expérimentation SOGRID à Toulouse : promesses tenues pour une première mondiale
Solenn	Plusieurs documents sur le site dédié de Lorient Agglomération : • Foyers expérimentateurs Solenn, grâce à vous, qu'avons-nous appris ? • Bilan global de Smart Grid Solenn : l'utilisateur et la collectivité au cœur du réseau intelligent • Fiche exploitation de données agrégées par la collectivité • Fiche communication et recherche des foyers expérimentateurs Plusieurs documents sur le site de l'Agence locale de l'énergie de Bretagne Sud (ALOEN), notamment : • Retours sur le troisième hiver et la méthodologie d'animation collective globale Plusieurs études sur la socio-ergonomie : Rappel méthodologique et Résultats de l'étude longitudinale qualitative socio-ergonomique • Résultats de l'étude qualitative socio-ergonomique après dispositifs de l'hiver 1 avec focus sur l'utilisabilité des portails internet "smart-grids" • Résultats de l'étude qualitative socio-ergonomique après dispositifs de l'hiver 2 avec focus sur l'utilisabilité des portails internet "smart-grids" • Résultats de l'étude longitudinale qualitative socio-ergonomique avec focus sur le niveau sociétal Plusieurs études sur le marketing : • Résultats de l'étude quantitative avant lancement des dispositifs • Résultat de l'étude marketing qualitative • Résultats de l'étude quantitative après dispositifs de l'hiver 1 • Méthodologie et Résultats de l'étude quantitative après dispositifs de l'hiver 2 • Rappel méthodologique et Résultats de l'étude quantitative après dispositifs de l'hiver 3	

So Mel So Connected		So Mel So Connected : la Métropole Européenne de Lille lance une expérimentation de grande ampleur sur les réseaux intelligents
TBH Alliance	Affichage des consommations d'électricité : comprendre pour économiser	
VENTEEA		Dossier de presse VENTEEA
Vertpom	Site Internet à disposition	

Liste des acronymes

2FA	Two-factor authentication = double authentification
4G/3G	Quatrième/troisième génération de normes pour la téléphonie mobile
AAC	Appel à candidatures
ACI	Autoconsommation individuelle
AAP	Appel à projet
AAP TEES	Appel à Projet Transitions Écologiques, Économiques et Sociales
AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
ADEeF	Association des Distributeurs d'Électricité en France
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AMRAE	Association pour le Management des Risques et des Assurances de l'Entreprise
ANSSI	Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information
AOE	Appel d'offre effacement
APR ED	Appel à projets de recherche Énergie Durable
APR TEES	Appel à projets de recherche Transitions Écologiques, Économiques et Sociales
AVERE-France	Association nationale pour le développement de la mobilité électrique
B2B	Business to business = commerce interentreprises
B2C	Business to consumer = commerce à destination du grand public
BDEW	Association des Industries de l'Énergie et de l'Eau en Allemagne
BPL	Broadband Power Line = Courant Porteur en Ligne Large Bande
BT	Basse tension
CEI	Commission Électrotechnique Internationale
CNIL	Commission nationale de l'informatique et des libertés
CO2	Dioxyde de carbone
CPL	Courant Porteur en Ligne
CPL G3	Courant Porteur en Ligne de troisième génération
CRE	Commission de régulation de l'énergie
CRPV	Centre de ressources national sur le photovoltaïque
CSF	Comité Stratégique de Filière
CSP	Catégorie socio-professionnelle
CTE	Contrats territoriaux de Transition Écologique
CVC	Chauffage, ventilation et climatisation
DEIE	Dispositif d'Échange d'Informations d'Exploitation
DER	Énergies renouvelables décentralisées
DG	Direction générale
DGEC	Direction générale de l'Énergie et du Climat
DG Trésor	Direction générale du Trésor
DMZ	Demilitarized Zone = zone démilitarisée, sous-réseau coupé du réseau local
DTIGA	Démonstrateurs et territoires d'innovation de grande ambition
EBIOS	Expression des Besoins et Identification des Objectifs de Sécurité
EFSI	Fonds européen pour les investissements stratégiques
ELD	Entreprise Locale de Distribution
END	Énergie non distribuée
EnR	Énergies renouvelables
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
ERL	Émetteur Radio Local
ETI	Entreprise de taille intermédiaire
FASEP	Fonds d'études et d'aide au secteur privé

FCR	Réserve de contrôle de la fréquence
FEDER	Fonds européen de développement régional
FEE	Réserve de restauration de la fréquence
FIEE	France Investissement Énergie Environnement
FRR	France Énergie Éolienne
GES	Gaz à effet de serre
GRD	Gestionnaire de réseau de distribution
GRT	Gestionnaire de réseau de transport
GT	Groupe de travail
GTB	Gestion technique de bâtiment
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattheure
HTA	Haute tension A
HTB	Haute tension B
IoT	Internet of Things = Internet des objets
IPME	Initiatives petites et moyennes entreprises
IRVE	Infrastructures de recharge de véhicules électriques
LIFE	L'Instrument Financier pour l'Environnement
LTECV	Loi de transition énergétique pour la croissance verte
MA	Mécanisme d'ajustement
MCTDR	Multicarrier time domain reflectometry
MDE	Maîtrise de la Demande d'Énergie
MDP	Maîtrise de la Pointe
MEDEE	Maîtrise Énergétique des Entraînements Électriques
MGCD	Mécanisme de gestion des contraintes sur le réseau de distribution
MT	Moyenne tension
NOTRe	Loi portant nouvelle organisation territoriale de la République
OIV	Opérateur d'importance vitale
ORI	Offre de Raccordement Intelligente
OREGES	Observatoire Régional Énergie et Gaz à Effet de Serre
PCAET	Plan Climat Air Énergie Territorial
PCCN	Palier Contrôle Commande Numérique
PDL	Point de livraison
PIA	Programme d'investissements d'avenir
PME	Petite et moyenne entreprise
PMO	Personne morale organisatrice
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
PSK	Pre-shared key = clé prépartagée sécurisée
PV	Photovoltaïque
R&D	Recherche et Développement
RC	Réserves complémentaires
REI	Réseaux électriques intelligents
REX	Retours d'expérience
RGPD	Règlement général sur la protection des données
RPD	Réseau public de distribution d'électricité
RPT	Réseau public de transport d'électricité
RR	Réserve rapide
REI	Réseaux électriques intelligents
SaaS	Software as a Service = logiciel en tant que service
SAIV	Secteurs d'activités d'importance vitale

SCADA	Système de contrôle et d'acquisition de données
SEI	Système électrique intelligent
SER	Syndicat des énergies renouvelables
SI	Système d'information
SIG	Système d'information géographique
SRCAE	Schéma Régional Climat Air Énergie
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires
SSI	Système de sécurité d'information
STEG	Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz
STEP	Station de Transfert d'Énergie par Pompage
T2E	Transition Écologique et Énergétique
TCCFE	Taxe communale sur la consommation finale d'électricité
TDCFE	Taxe départementale sur la consommation finale d'électricité
TEPCV	Territoires à énergie positive pour la croissance verte
TEPOS	Territoires à énergies positives
TIC	Télé Information Client
TICFE	Taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité
TOR	Tout ou Rien
TPE	Très petite entreprise
TRL	Technology readiness level = niveau de maturité technologique
UFE	Union Française de l'Électricité
USB	Universal Serial Bus = bus universel en série
V2B	Vehicle-to-Building = véhicule-bâtiment
V2G	Vehicle-to-Grid = véhicule-réseau
VE	Véhicule électrique
VHR	Véhicule hybride rechargeable
VMC	Ventilation mécanique contrôlée
VPN	Virtual Private Network = réseau privé virtuel
VPP	Virtual Power Plant = centrale électrique virtuelle
ZAE	Zone d'activité économique
ZNI	Zone non interconnectée

Sources citées

- ADEME, 2014. L'effacement diffus. <https://www.ademe.fr/effacement-diffus-l> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2015. Smart Grids : le savoir-faire français. . <https://www.ademe.fr/smart-grids-savoir-faire-francais> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2016. Approche intégrée et multicritères dans les outils d'aide à la décision à vocation territoriale, éléments de cadrage pour la gestion des données territoriales. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/modelisation-territoriales-gestions-donnees-201606.pdf> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2016. Données pour la planification énergétique territoriale, <https://www.ademe.fr/donnees-planification-energetique-territoriale> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2016. La transition énergétique passe par le compteur, ADEME & Vous : le Mag n°94. <https://www.ademe.fr/ademe-mag-ndeg-94> [consulté le 2020/01].
- ADEME, 2016. Les potentiels du véhicule électrique <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avisademe-vehicule-electrique.pdf> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2016. Systèmes Electriques Intelligents : premiers résultats des démonstrateurs. <https://www.ademe.fr/systemes-electriques-intelligents-premiers-resultats-demonstrateurs> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2016. Un mix 100% renouvelable ? Analyses et optimisations. <https://www.ademe.fr/mix-electrique-100-renouvelable-analyses-optimisations> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2017. Effacement de consommation électrique en France : évaluation du potentiel d'effacement par modulation de process dans l'industrie et le tertiaire en France métropolitaine. <https://www.ademe.fr/effacement-consommation-electrique-france> [consulté le 2020/01]
- ADEME, RTE, ADEEF, ENEDIS, 2017. Valorisation socio-économique des réseaux électriques intelligents. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/valorisation-socio-economique-reseaux-electriques-intelligents_synthese.pdf [consulté le 2020/01].
- ADEME, 2018. Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie : à chaque secteur ses solutions. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/integration-enr-recuperation-industrie_2018_synthese.pdf [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2018. L'autoconsommation d'électricité d'origine photovoltaïque. <https://www.ademe.fr/avis-lademe-lautoconsommation-delectricite-dorigine-photovoltaïque> [consulté le 2020/01]
- ADEME 2018. Les compteurs communicants pour l'électricité (Linky). https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis-de-lademe_compteurs_communicants_septembre2018.pdf [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2018. Retours d'expériences sur les îlots et quartiers à énergie positive : analyse critique d'expérimentations intégrant les énergies renouvelables et de récupération à une échelle élargie (îlots /quartiers) https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport_final_embix_fidai.pdf [consulté le 2020/01]
- ADEME, ATMO France, RARE, AMORCE, FLAME, 2018. Enseignements et sources d'inspiration pour les collectivités dans l'usage de données énergétiques locales. <https://www.ademe.fr/donnees-energetiques-territoriales-planification-laction-energie-climat-suite-ndeg2> [consulté le 2020/01]
- ADEME, ATMO France, RARE, SOeS, 2018. Les dispositifs pour accompagner les collectivités territoriales dans la transition énergétique. <https://www.ademe.fr/donnees-energetiques-territoriales-planification-laction-energie-climat-ndeg1-bis> [consulté le 2020/01]



- ADEME, 2018. Trajectoires d'évolution du mix électrique 2020-2060. <https://www.ademe.fr/trajec-toires-devolution-mix-electrique-a-horizon-2020-2060> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2019. Marché et emplois concourant à la transition énergétique et écologique dans le secteur des énergies renouvelables et de récupération : situation 2014-2016 et perspectives à court terme. <https://www.ademe.fr/marches-emplois-concourant-a-transition-energetique-ecologique-secteurs-transport-batiment-residentiel-energies-renouvelables> [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2019. Systèmes énergétiques territoriaux : interactions multi-vecteurs. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/systemes_energetiques_territoriaux_interactions_multi_vecteurs_-_feuille_de_route_strategique.pdf [consulté le 2020/01]
- ADEME, 2019. Vers l'autonomie énergétique des ZNI. <https://www.ademe.fr/vers-lautonomie-energetique-zni-zones-non-interconnectees> [consulté le 2020/01]
- ADEME, DGE, DGEC, 2019. Infrastructures de recharge pour véhicule électrique. <http://www.avere-france.org/Uploads/Documents/15677840289465793da19f7b30dd592a1143a91c67-Etude%20CODA%20IRVE.pdf> [consulté le 2020/01]
- ADEME, RARE, ATMO France, CEREMA, 2019. Etude des potentiels, un atout pour bâtir une stratégie territoriale. <https://www.ademe.fr/donnees-energetiques-territoriales-planification-laction-energie-climat-ndeg3> [consulté le 2020/01]
- ADEME, ATMO France, 2020. Indicateurs territoriaux climat-air-énergie : lesquels choisir et comment les utiliser ? <https://www.ademe.fr/indicateurs-territoriaux-climat-air-energie-lesquels-choisir-comment-utiliser> [consulté le 2020/01]
- AMRAE, ANSSI, 2019, Maîtrise du risque numérique : l'atout confiance. https://www.ssi.gouv.fr/uploads/2019/11/anssi_amrae-guide-maitrise_risque_numerique-atout_confiance.pdf [consulté le 2020/01]
- Artelys. Energie. Etudes prospectives. <https://www.artelys.com/fr/solutions/energie-etudes-prospectives/> [consulté le 2020/01]
- BeeBryte, 2018. Stockage électrique : le prix de la révolution. <https://beebryte.com/wp-content/uploads/2018/10/BeeBryte-white-paper-stockage-electrique-le-prix-de-la-revolution-FR-v6.2.pdf> [consulté le 2020/01]
- Canal, Simon, 2020. Prévion et optimisation de l'offre de services systèmes par des énergies renouvelables, thèse.
- Centre de Ressources Photovoltaïque. Réseaux PV Info, non connu. <https://reseaux.photovoltaique.info/fr/> [consulté le 2020/01]
- CEN, CENELEC, ETSI, Smart Grid Coordination Group, 2012. Smart Grid Reference Architecture. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf [consulté le 2020/01]
- Code de l'énergie - Article L315
2. https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=1EBD851354A807F66F6D5DAFFB1F0D9D.tplgfr1s_1?idArticle=LEGIARTI000034095194&cidTexte=LEGITEXT000023983208&dateTexte=20170226 [consulté le 2020/01]
- Comité de prospective de la CRE, 2019. La transition énergétique dans les territoires : nouveaux rôles, nouveaux modèles. <http://www.eclairerlavenir.fr/wp-content/uploads/2019/10/Rapport-GT2-d%C3%A9finitif.pdf> [consulté le 2020/01]

- Comité de prospective de la CRE, 2019. Le verdissement du gaz. <http://www.eclairerlavenir.fr/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-GT1-BD-INTERACTIF.pdf> [consulté le 2020/01]
- Comité de prospective de la CRE, 2020. Donner du sens aux données du consommateur. <http://www.eclairerlavenir.fr/wp-content/uploads/2019/12/Donner-du-sens-aux-donn%C3%A9es-du-consommateur-rapport-public-GT3-2019-Comit%C3%A9-de-prospective-de-la-CRE.pdf> [consulté le 2020/01]
- Comité stratégique de filière, 2019. Contrat stratégique de filière : industrie des nouveaux systèmes énergétiques. https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/sites/www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files/files/csf/energie/contrat_strategique_de_la_filiere_industries_nvx_syst_energetiques.pdf [consulté le 2020/01]
- Commission européenne, non connu. METIS. <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling/metis> [consulté le 2020/01]
- Consortium TBH Alliance, 2017. Affichage des consommations d'électricité : comprendre pour économiser. <https://www.ecoco2.com/wp-content/uploads/2017/12/livre-blanc-web.pdf> [consulté le 2020/01]
- CRE, 2018. Etude sur les perspectives stratégiques de l'énergie. http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/1SyntheseGenerale/Perspectives_Strategiques_du_secteur_de_l_energie_Synthese_generale_FR.df [consulté le 2020/01]
- CRE, 2018. Etude sur les perspectives stratégiques de l'énergie : thèse sur les microgrids. http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/3Theses/7_These_Microgrids.pdf [consulté le 2020/01]
- CRE, 2018. Les réseaux électriques au service des véhicules électriques. <https://www.cre.fr/Documents/Publications/Rapports-thematiques/Vehicules-electriques> [consulté le 2020/01]
- CRE, 2019. Le stockage d'électricité en France. <https://www.cre.fr/Documents/Publications/Rapports-thematiques/Le-stockage-d-electricite-en-France> [consulté le 2020/01]
- CRE. La gestion des données. <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=gestion-donnees> [consulté le 2020/01]
- CRE. Smart Grids : les microgrids. <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=microgrids> [consulté le 2020/01]
- Draetta, Laura, 2018. The social construction of a health controversy. The case of electricity smart meters in France. *Annals of Telecommunication*. 74, p. 5-15.
- Draetta, Laura, Tavner, Bastien, 2019. De la fronde anti-Linky à la justification écologique du smart metering : retour sur la genèse d'un projet controversé. *Lien social et Politique*. Numéro 82, p. 52-77. <https://www.erudit.org/fr/revues/lsp/2019-n82-lsp04743/1061876ar/> [consulté le 2020/01]
- Enedis, 2019. Rapport sur l'intégration de la mobilité électrique dans le réseau public de distribution d'électricité. https://www.enedis.fr/sites/default/files/Rapport_sur_lintegration_de_la_mobilite_electrique_sur_le_reseau.pdf [consulté le 2020/01]
- Energy Cities, 2018. Blockchain et transition énergétique : quels enjeux pour les villes ? https://energy-cities.eu/wpcontent/uploads/2019/01/energy-cities-etude-blockchain_2018_fr.pdf [consulté le 2020/01]
- EU Smart Cities Information System, non connu. Urban Data Platforms. <https://smartcities-infosystem.eu/urban-data-platforms> [consulté le 2020/01]
- Flexbat. Note juridique sur l'autoconsommation collective

- IEC. Smart Grids Standards Map. <http://smartgridstandardsmap.com/> [consulté le 2020/01] IEC TC57,
- IECTC571. Power system management and associated information exchange. <http://tc57.iec.ch/index-tc57.html> [consulté le 2020/01]
- IFRI, 2017. Cyberattaques et systèmes énergétiques : faire face au risque. https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/desarnaud_cybersecurite_2017_2.pdf [consulté le 2020/01]
- IFRI, 2018. Cybersécurité des infrastructures énergétiques : regards croisés Europe/Etats-Unis. https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/barichella_cybersecurite_infrastructures_energetiques_2018.pdf [consulté le 2020/01]
- Loi de la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), loi n° 2015-992 du 17 août 2015. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385> [consulté le 2020/01]
- Lormeteau, Blanche, Molinero, Laurence, 2018. L'autoconsommation collective et le stockage de l'électricité, étude juridique, projet Flexbat. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/flexbat-etude-juridique_2019.pdf [consulté le 2020/01]
- Loi portant nouvelle organisation territoriale de la République (NOTRe), loi n° 2015-991 du 7 août 2015. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000030985460&dateTexte=&categorieLien=id>
- [consulté le 2020/01]
- Projet E-TIC, non connu. Données d'un territoire : usages & gouvernance. <http://www.fmsh.fr/sites/default/files/files/FMSH-Rapport-ETIC-web.pdf> [consulté le 2020/01]
- Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Volet relatif à la sécurité d'approvisionnement et au développement des infrastructures et de la flexibilité du système énergétique, <https://www.ecologique.solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Volets%20S%C3%A9curit%C3%A9%20d%27approvisionnement%20-%20i nfrastructures.pdf>
- RTE, 2017. Réseaux électriques intelligents : valeur économique, environnementale et déploiement d'ensemble. https://www.rte-france.com/sites/default/files/rei_abrege_2017.pdf [consulté le 2020/01]
- RTE. Qu'est-ce que R#SPACE ? <https://www.rte-france.com/fr/article/rspace> [consulté le 2020/01]
- RTE, AVERE-France, 2019. Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique. <https://www.concerte.fr/system/files/concertation/Electromobilite%CC%81%20%20Synth%C3%A8se%20vFinale.pdf> [consulté le 2020/01]
- Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET). https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?sessionId=EBD28D1DDBEA33E12297046CA593466F.tplgfr31s_3?iSectionTA=LEGISCTA000032973927&cidTexte=LEGITEXT000006070633&dateTexte=20190607 [consulté le 2020/01]
- Territoire d'énergie, FNCCR, Smart Energy French Clusters, ADEME, Think Smart Grids, 2018. Recommandtions pour des collectivités Smart Grids Ready. <https://www.thinksmartgrids.fr/wp-content/ploas/2018/07/LIVRETSMART-GRIDS.pdf> [consulté le 2020/01]
- UFE, RTE, Enedis, Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne, 2019. Valoriser les flexibilités de production pour intégrer les EnR aux réseaux électriques. https://ufe.electricite.fr/IMG/pdf/note_flexibilites_et_s3renr_4_novembre_2019_vf.pdf [consulté le 2020/01]

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



SYSTÈMES ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS

LE SOUTIEN DE L'ADEME À L'INNOVATION DEPUIS 2010

SYNTHÈSE

Depuis 2010, l'ADEME joue un rôle clé dans l'accompagnement à la structuration de la filière des Systèmes Électriques Intelligents. L'Agence participe au financement de projets « Smart Grids » principalement dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir (PIA) piloté par le Secrétariat Général Pour l'Investissement (SGPI) et aussi par l'intermédiaire de ses Appels à Projets Recherche (APR).

Grâce à ces dispositifs d'aide, 64 projets de recherche, développement et innovation ont été accompagnés par l'ADEME depuis 2010 sur le sujet des Systèmes Électriques Intelligents. Les résultats publics issus des 45 projets clôturés à date constituent l'objet principal de ce résumé qui est construit autour de trois questions :

- Quelle évolution des infrastructures pour une meilleure intégration des énergies renouvelables ?
- Comment adapter les modes de consommation ?
- Vers de nouvelles dynamiques territoriales ?

Ce résumé est complété d'un rapport disponible dans la médiathèque du site internet de l'ADEME. Ce rapport poursuit l'exercice de capitalisation amorcé dans le rapport « Systèmes Électriques Intelligents – Premiers résultats des démonstrateurs » publié en octobre 2016.



www.ademe.fr