



HAL
open science

Lignes de tensions : reconfigurations autour d'un démonstrateur Smart grid d'insertion de l'énergie éolienne au réseau électrique

Claire Le Renard

► To cite this version:

Claire Le Renard. Lignes de tensions : reconfigurations autour d'un démonstrateur Smart grid d'insertion de l'énergie éolienne au réseau électrique. Colloque Sciences sociales et transition énergétique, Laboratoire PACTE; Laboratoire CIREN, May 2015, Grenoble, France. halshs-04101856

HAL Id: halshs-04101856

<https://shs.hal.science/halshs-04101856v1>

Submitted on 21 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Lignes de tensions : reconfigurations autour d'un démonstrateur *Smart grid* d'insertion de l'énergie éolienne au réseau électrique

Claire LE RENARD,

EDF R&D GRETS,

claire.le-renard@edf.fr

[Colloque Sciences sociales et transition énergétique](#) organisé par les laboratoires PACTE et CIREN, Grenoble, 28-29 mai 2015

Résumé

La politique de projets de démonstrateurs *Smart grids* constitue une modalité de l'innovation dans le secteur de l'énergie. Cet article repose sur une enquête permise par la participation à un tel projet de démonstrateur. On analyse la promesse technoscientifique des *Smart grids* et la manière dont elle constitue un horizon partagé au sein du consortium. Cependant, la mise en démonstration a ses effets propres, une fois matérialisée et territorialisée. La forme des *Smart grids*, qui pourrait entraîner une recomposition des rôles des acteurs professionnels, suscite une controverse experte, objet d'analyse sociologique. Cet article travaille ainsi la résistance du réseau existant. En outre, le démonstrateur *Smart grid* rend visible certaines entités transportées par le réseau électrique : les qualités des électrons deviennent les enjeux d'une possible redistribution des rôles professionnels et des compétences entre les acteurs. La conclusion propose des pistes d'analyse et d'approfondissements sur le rôle d'un projet permettant aux acteurs de collaborer tout en élaborant des visions stratégiques divergentes.

Introduction

Les politiques de transition énergétique visent à augmenter la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité, cependant le déploiement massif de ces énergies se heurte à la configuration des réseaux électriques existants. Ces réseaux ont été conçus au siècle dernier pour transporter et distribuer une électricité issue d'installations centralisées et pilotables (Hughes, 1979), et non pour acheminer de l'électricité générée en des lieux dispersés, avec une puissance variant en fonction du vent et de l'ensoleillement. Dans les années 2000, la réponse à ce problème de l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques a pris la forme du développement de *Smart grids* ou réseaux électriques intelligents. Ils ont été problématisés comme

un « point de passage obligé » (Callon, 1986) pour la transition énergétique, à même de supprimer les obstacles techniques dus à la conception historique des réseaux, tout en ajustant la consommation électrique. Dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA) « Réseaux Intelligents », l'ADEME a choisi de concentrer les financements sur le stade du développement technologique considéré comme le plus vulnérable, celui du : « pilote, prototype, développement, test sur le terrain, pré-industrialisation ». ¹ En effet, le stade du prototype situé entre la recherche et l'industrialisation est sujet à d'inévitables soucis et ajustements techniques, dépassements de coûts et de délais, qui questionnent les évaluations économiques des technologies prometteuses (Le Renard 2015). Des expérimentations de Smart grids ont ainsi été développées au tournant des années 2010 dans un régime d'économie des promesses technoscientifiques (Joly, 2010) : l'objectif de transition énergétique donne à la promesse sa légitimité, alors que la crédibilité est construite par des projets s'inscrivant dans un modèle particulier de politique d'innovation, celui du « démonstrateur » soutenu par le PIA « Réseaux Intelligents ». Le démonstrateur est alors conçu comme une étape nécessaire d'une politique d'innovation fortement cadrée.

L'analyse de ces projets de *Smart grids* soulève des questions importantes pour la sociologie des transitions énergétiques : comment mettre en démonstration une promesse technoscientifique qui reste discrète et spécialisée, cachée dans la régulation des réseaux ? Comment ajuster l'inscription d'un nouveau *Smart grid* dans le réseau historique existant, avec quels points de rencontre entre ces infrastructures conçues pour durer des décennies ? Que transportent ces infrastructures, quelles qualités les réseaux assignent-ils aux éléments qui y circulent, et comment ces qualités sont-elles modifiées par un *Smart grid* ; avec quelles conséquences pour les communautés professionnelles investies dans ces activités ?

L'enquête repose sur le suivi d'un projet de démonstrateur soutenu par l'ADEME dans le cadre du PIA « Réseaux Intelligents ». Le cahier des charges du projet de démonstrateur incluait un « bilan sociétal », de manière comparable à un bilan environnemental : peut-on mesurer ce que le projet de Smart grid change pour le territoire ? La méthode retenue pour ce livrable a consisté en une revue de littérature et une double enquête par entretiens, réalisées la première et la dernière année du projet (soit 2013 et 2015), auprès d'acteurs et de parties-prenantes du projet. Finalement, la dernière année ne correspond pas à la fin du projet, soumis au calendrier, nécessairement glissant, d'une innovation technologique : les expérimentations ayant comporté leur lot d'aléas, la batterie à tester a été installée en 2015, et le projet est prolongé de six mois (jusqu'à mi-2016) afin que les essais durent une année complète. De ce fait, l'analyse sociologique porte sur la technologie « en train de se faire » (Latour, 1989) et au-delà du livrable du projet, cette opportunité de participer à un projet de démonstrateur nourrit une réflexion plus vaste autour des politiques d'innovation destinées à accomplir une transition énergétique, objet de cet article.

¹ Source : « *Green Investment Policy, A French Case Study* ». Présentation de J.-G. Péladan lors de la journée de l'Observatoire pour l'Innovation Responsable, Mines-ParisTech, 16/11/2012.

Le projet VENTEEA (Voir l'Energie Naturelle Transformer l'Exploitation de l'Électricité dans l'Aube) se distingue au sein du PIA « Réseaux Intelligents », en ce qu'il n'intègre pas de clients finaux. Il est centré sur le réseau de distribution d'électricité de moyenne tension, et doit répondre à la question de l'intégration des énergies intermittentes et décentralisées à ce réseau : en effet, depuis la loi du 10 février 2000 et ses décrets d'application instituant les obligations d'achat de l'électricité de source renouvelable, le distributeur d'électricité est tenu de l'acheminer de manière prioritaire. Le projet répond à une déclinaison locale exacerbée de la problématique de l'intégration des énergies renouvelables par des *Smart grids* pour la transition énergétique : la production d'énergie éolienne a connu un développement très rapide dans la région Champagne-Ardenne et les éoliennes sont raccordées à 95 % sur le réseau de distribution d'électricité (par opposition au réseau de transport, de plus forte puissance).

Dans un premier temps, l'article s'attache à ce projet comme mise en démonstration de la promesse technoscientifique des *Smart grids* – un horizon partagé au sein du consortium. Cependant, la forme des *Smart grids*, qui pourraient entraîner une recomposition des rôles des acteurs professionnels, suscite une controverse experte, objet d'analyse sociologique. Une deuxième section est ainsi dédiée à la résistance du réseau existant, avec l'articulation des échelles géographiques : si ce démonstrateur *Smart grid* devait préfigurer un nouveau modèle de réseau, quelle redistribution des responsabilités serait acceptable pour les différents acteurs ? on aborde ici la problématique de l'innovation hybride au sein d'un système électrique fortement intégré. Enfin, la troisième section analyse à quel point ce nouveau projet rend visible ce qui est transporté par le réseau, et comment les qualités des électrons deviennent alors des enjeux d'une redistribution des rôles professionnels et des compétences entre les acteurs. La conclusion proposera des pistes d'analyse et d'approfondissements sur le rôle d'un projet permettant aux acteurs de collaborer tout en élaborant des visions stratégiques divergentes. Ainsi, on analyse l'agencement du projet de démonstrateur comme objet en soi, produisant des effets propres.

Mettre en démonstration la promesse technoscientifique des Smart grids

Un démonstrateur d'une forte technicité, aux installations peu visibles, fortement soutenu par les acteurs territoriaux

Retenu par l'ADEME en mars 2012, le projet de démonstrateur Smart grid VENTEEA a été lancé en décembre 2012 pour une durée de 3 ans. Il est tourné vers la problématique de l'intégration des énergies renouvelables (EnR), intermittentes et décentralisées au réseau de distribution d'électricité « HTA » exploité par ERDF, devenu en fin de projet Enedis. Ce réseau HTA constitue une infrastructure technique de distribution d'électricité à la tension de

20 000 volts. Le réseau HTA est relié à un poste-source, lieu de la jonction avec RTE² (le réseau de transport d'électricité, à haute et très haute tension), et distribue l'électricité vers des transformateurs alimentant directement des groupes de clients.

Au moment du projet, le cadre réglementaire entourant l'électricité éolienne et plus largement la régulation du secteur électrique ont connu une forte évolution, avec une dé-intégration d'acteurs autrefois intégrés, une ouverture du marché procédant parfois par allers-retours (Reverdy 2014) et des possibilités nouvelles, pour les collectivités locales, de jouer un rôle accru dans la production et distribution d'énergie (Gabillet 2015). Les questions d'éolien, de territoire et de réseau, étroitement liées, convergent à travers la structure des dispositifs de politiques publiques³. L'énergie éolienne a connu un développement rapide dans le territoire de Champagne-Ardenne. Les règles prévoient qu'un producteur éolien souhaitant s'implanter sur une section de réseau déjà saturée doit prendre à sa charge le renforcement du réseau. Le nouveau modèle de gestion du réseau HTA testé dans le projet VENTEEA doit permettre d'éviter ce renforcement, grâce à d'une part des outils de suivi de tension plus performants, destinés à prévenir la saturation en « temps réel », et d'autre part une pilotabilité accrue des parcs éoliens, éventuellement à travers des écrêtements de production⁴, afin d'éviter la saturation occasionnelle. Le mode de gestion doit se substituer à l'ancienne pratique de dimensionnement de l'infrastructure avec des marges pour prévoir le pire cas de saturation du réseau. ERDF, coordonnant le projet, le présente en ces termes :

Le projet VENTEEA se propose de répondre à l'enjeu de l'insertion massive des EnR dans les réseaux, notamment de manière relativement décentralisée dans les réseaux de distribution. À ce titre, le consortium développera et testera des équipements et des outils de gestion innovants sur le réseau de distribution HTA en milieu rural et situation de fortes productions d'énergie éolienne. Le projet aura aussi pour objectif de développer des systèmes d'observation, de prévision et de régulation de la tension et du réactif, afin de minimiser les coûts d'investissement, de réduire les perturbations causées par le raccordement de sources d'énergie renouvelable, d'améliorer la qualité de la fourniture d'énergie et de réduire les pertes techniques. (source : page VENTEEA sur le site internet du PIA Réseaux Intelligents)⁵

Cette citation donne à voir ce qui est transporté par le réseau de distribution : une tension qu'il s'agit de prévoir et réguler, mais aussi le « réactif », un raccourci désignant la puissance réactive dont la régulation sur le réseau est cruciale⁶, enfin, une bonne « qualité de la fourniture

² RTE, Réseau de Transport d'Électricité, exploite, maintient et développe le réseau haute et très haute tension (63 000 à 400 000 volts).

³ Nadaï et Labussière (2014) soulignent la signification d'une définition de la ZDE qui détermine l'accès à un contrat de vente d'électricité plutôt qu'un permis de construire : « la ZDE à la française n'est pas un document d'urbanisme mais un contrat électrique conditionnant le bénéfice du tarif à l'implantation des éoliennes dans ces zones. »

⁴ dont la contractualisation et la mise en œuvre ne sont pas testées dans Venteea

⁵ Source : site internet du PIA Réseaux Intelligents, présentation du projet VENTEEA, 17 octobre 2014, sur <http://recherche-fichslaureats.ademe.fr/ademe/index/file/type/fichier/id/82> (consulté le 29/4/15)

⁶ Nécessaire à certains usages, la puissance réactive endommage les infrastructures réseaux ; il s'agit donc d'en transporter le moins possible.

d'énergie ». Le projet inclut aussi une réflexion sur les changements dans la régulation et l'évaluation économique, nécessaires dans un nouveau modèle de gestion du réseau.

Le consortium du projet est caractéristique des montages de démonstrateurs issus de ces modes de financement de la recherche : il inclut un développeur et exploitant éolien (*ENEL Green Power* racheté par Boralex en cours de projet), le réseau de transport RTE, des équipementiers (Siemens, SAFT, General Electric, made), enfin des universités et instituts de recherche (université de technologie de Troyes UTT, Laboratoire d'électrotechnique et électronique de puissance L2EP). Ce projet s'origine dans le souhait des acteurs d'acquérir de la compétence et se positionner sur les problématiques nouvelles de l'insertion de l'énergie éolienne dans les réseaux. Le lieu du démonstrateur est une section de réseau HTA où est raccordé le parc éolien de la Vallée de l'Arce, d'une puissance de 30 MW (15 mâts), exploité par Boralex⁷, partenaire de VENTEEA. Un autre lieu crucial du projet est le poste-source situé à Vendevre-sur-Barse, à une dizaine de kilomètres du parc éolien, et toutes ces infrastructures sont situées dans l'Aube, le département qui donne son A final à l'acronyme du projet. Les collectivités chargées des politiques énergétiques régionales ont soutenu ce projet qu'elles voyaient comme un moyen de contribuer à un développement du territoire, en pérennisant le développement de l'éolien et attirant des acteurs industriels et de l'innovation. Elles ont largement communiqué sur le développement régional à travers ce projet.

Le contenu final du démonstrateur VENTEEA, dans sa version approuvée de 2012, résulte de modifications au cours de son montage : par exemple, à la demande de l'ADEME, une batterie de stockage lithium-ion d'une capacité de 2 MW / 30mn fabriquée par une PME française a été ajoutée – elle était absente de la première version soumise en 2010. Alors que cette batterie de stockage n'était pas l'objet premier du projet, c'en est pourtant le plus visible dans le paysage, à travers quatre containers et préfabriqués situés près des éoliennes de la Vallée de l'Arce. Les autres dispositifs du projet ne sont pas visibles de l'extérieur : ils sont installés au sein d'infrastructures existantes du réseau électrique, tels qu'un poste-source et un transformateur situés à Vendevre-sur-Barse, à une dizaine de kilomètres du parc éolien. Ce démonstrateur, qui cadre le travail de développement technologique comme travail d'innovation principal, intègre les réflexions sur les aspects économiques, environnementaux et sociétaux à travers des lots connexes, répondant au cahier des charges du PIA. Contrairement aux autres démonstrateurs du PIA « réseaux intelligents » (Escoffier et al., 2015), le projet VENTEEA présente la spécificité de ne pas comporter de clients finaux.

Le terme de démonstration a plusieurs facettes : la démonstration inclut certes la dimension technique et scientifique – au sens mathématique – mais aussi le fait de montrer l'expérience à un public (Rosental, 2013) ; de plus, en anglais, le terme de *demonstration* a aussi une signification politique, en ce qu'il traduit le français « manifestation » (Barry, 1999). La tâche dévolue au lot sociologique consistait à effectuer un « bilan sociétal » du projet VENTEEA : un « démonstrateur » paradoxalement fait pour ne pas être visible car c'est une alternative à la

⁷ Cf. <http://www.boralex.com/projets/valleedelarce>, consulté le 25 mai 2015

réponse classique par le renforcement de l'infrastructure des réseaux. Cette absence de nouvelle infrastructure va avec une absence de conflit d'aménagement. Si l'enquête sociologique était au départ cadrée vers le public du territoire, vu comme « grand public », le « bilan sociétal » a été reformulé comme une occasion de comprendre les liens du projet avec les acteurs du territoire et d'explicitier les représentations de ce que devrait être le « réseau du futur » pour un public intéressé d'un point de vue sectoriel au sens de Cobb & Elder (1983). L'invisibilité du *Smart grid* en lui-même s'insère dans des relations existantes et des dispositifs bien visibles : le parc éolien installé récemment, ainsi que le poste-source ou un transformateur présents de longue date. Les photos ci-dessous donnent à voir le parc éolien, situé sur une crête, et les installations du démonstrateur *Smart grid* VENTEEA telles qu'elles sont (-in) visibles de l'extérieur.



Photo 1 : Le parc éolien de la Vallée de l'Arce



Photo 2 : Le bâtiment du transformateur innovant « Booster » de Siemens, situé à Vendeuvre sur Barse



Photo3 : le poste-source de Vendeuvre sur Barse où sont situés les dispositifs numériques.

Photos 1 à 4 prises par l'auteure le 16 avril 2015



Photo 4 : la batterie de stockage

Selon sa définition, l'enjeu premier du démonstrateur VENTEEA est l'intégration des énergies intermittentes et décentralisées au réseau de distribution d'électricité. Mais au-delà de la finalité prévue du démonstrateur, les interviewé.e.s ont souvent évoqué le développement rapide de

l'éolien dans le territoire de la Champagne-Ardenne, les potentialités du stockage d'électricité, ou des problématiques plus vastes liées à la transition énergétique. Le démonstrateur constitue ainsi un projet à la jonction de plusieurs problématiques, qui se sont constamment entremêlées dans l'enquête. Alors que le projet séparait dans son organisation le travail de développement technique, la mise au point d'un nouveau modèle économique et le volet sociétal d'intégration sur le territoire, nous montrons ici, à la suite d'autres travaux en sciences sociales sur les EnR, que ces dimensions sont liées.

La forme de ce démonstrateur *Smart grid* a été déterminée à l'échelle nationale à travers les interactions avec l'ADEME. Dans le cadre de la politique des démonstrateurs, le territoire est-il juste une scène, un réceptacle (*container*) pour démontrer une technologie déployable au niveau national, ou pour lancer des expériences avec en ligne de mire leur potentielle réplique et déplacement, comme le proposent Nadaï et al. (2015) ? La courte durée initialement prévue va dans le sens de cette interprétation : avec les tests nécessaires de matériels innovants, la durée de trois ans laisse à peine le temps d'installer localement ces matériels, dont le PIA prévoit le démontage à l'issue du projet. Cependant ce démonstrateur lié à une perspective de développement territorial a fait l'objet d'une forte appropriation par ses parties prenantes.

Un démonstrateur objet de fierté en lien avec la promesse technoscientifique des *Smart grids*

Les technologies *Smart grids* ont été développées dans le régime de l'économie des promesses technoscientifiques : présentées comme « point de passage obligé » permettant l'intégration massive des énergies renouvelables dans le réseau électrique, elles ont déjà connu un succès sur le « champ de bataille des attentes », dans le cadre d'une compétition sur les financements de projets de recherche et développement (Borup *et al.* 2006, Bakker *et al.* 2011). Elles sont attendues pour régler les tensions pressenties et inéluctables dans le domaine de l'énergie, et les acteurs s'accordent tous sur la promesse des technologies *Smart grids*. Leur émergence peut aussi être présentée comme une hybridation de développements dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) avec le secteur de l'énergie, dans le but d'améliorer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité du réseau électrique, ce que Slayton (2013) qualifie de *digital utopianism*.

Même si la technicité et la quasi-invisibilité du démonstrateur VENTEEA empêchent les acteurs du territoire de le décrire en détail lors des entretiens, ils et elles investissent le projet comme vecteur de fierté, à travers la dimension d'innovation technologique dont il est porteur :

Une innovation en territoire rural... (interview)

C'est le territoire qui va tirer le national... (interview)

On a la plus grosse batterie de France... (interview)

Certain.e.s envisagent même de mettre en place du tourisme industriel. Ceci s'inscrit dans une région devenue la première région éolienne de France, du fait de la conjonction des stratégies des

entreprises et d'une politique volontariste des acteurs locaux de la planification. Les régions s'approprient, chacune avec leurs spécificités, les possibilités de planifier le développement de l'énergie éolienne (Nadaï 2012). En Champagne-Ardenne, les projets de parcs éoliens ont été promus en tant que projets de territoire (Burger, 2014). Le parc de la Vallée de l'Arce a été adopté au point de devenir un marqueur paysager :

Quand j'arrive par l'autoroute et que je vois pointer au loin ces éoliennes, je me dis que j'arrive chez moi. (interview)

Comment, alors, rendre visible un démonstrateur objet de fierté, dont les installations et dispositifs sont bien cachés au sein des infrastructures du réseau de distribution électrique ? Dans le département de l'Aube, les acteurs politiques territoriaux ont participé à la mise en visibilité d'un démonstrateur VENTEEA aux dispositifs techniques peu visibles. Ainsi, le 25 avril 2014, la première manifestation qui a pris place dans le palais des congrès flambant neuf du conseil départemental de l'Aube était un colloque sur « Les réseaux intelligents à l'Aube du futur ». Cette journée de conférences et tables rondes organisée par ERDF et l'ADEME a donné à voir les différentes problématiques articulées autour de ce démonstrateur : les enjeux futurs des *Smart grids* ont été présentés par les partenaires du projet dont des directeurs de rang national se sont déplacés ; a suivi un aperçu des différents démonstrateurs du PIA « Réseaux intelligents », là aussi à l'échelle nationale ; puis les acteurs du territoire champardennais l'ont présenté comme lieu d'innovation, et enfin le démonstrateur VENTEEA a été représenté par des films et par une maquette animée. Les responsables du projet ont fait réaliser cette maquette par des étudiants aubois, dans le cadre d'un partenariat avec Supinfo Troyes et l'Ecole Supérieure de Design de Troyes. La maquette permet d'effectuer des démonstrations face à un public, et ainsi d'ancrer dans le territoire une innovation peu visible, en lui donnant une réalité visualisable. L'innovation sur le réseau électrique est, physiquement, reliée à la terre, en ce que l'animation est projetée sur un écran 3D qui traduit le relief du territoire, sans être une cartographie exacte pour autant. L'animation projetée sur la maquette est proche de celle disponible sur internet sur le site du projet (<http://www.venteea.fr>, consulté le 29 avril 2015).



Photo 5 : la maquette permettant une « démonstration » de VENTEEA

Cette journée au palais des congrès du conseil départemental permettait de réaliser la démonstration promise par le projet, en manifestant l'engagement volontariste du département et de la région envers une transition énergétique prenant la forme d'énergie éolienne et de *Smart grids*. L'expérience du démonstrateur permet de créer à la fois une coalition forte et un agenda partagé au niveau territorial. Cette journée a mis en scène à la fois la manière dont ce projet participe à une série de démonstrateurs *Smart grids* soutenus dans le cadre du PIA répondant à des enjeux du secteur de l'énergie, et la volonté de soutenir des politiques d'innovation technologique autour de l'énergie dans ce territoire. Enfin, cette première manifestation tenue au nouveau palais des congrès convoquait aussi le savoir-faire d'excellence du département de l'Aube dans le domaine de la viticulture avec le champagne Drappier, servi aux nombreux invités venus participer à une journée de démonstration d'un projet de *Smart grid* de haute technicité, consistant justement à ne pas être visible.

Les échelles territoriales et temporelles : la résistance du réseau existant

Qu'est-ce qu'un *Smart grid*, au-delà de la promesse ? Dans leurs expressions publiques, les acteurs du territoire présentent le démonstrateur en lien avec les enjeux des *Smart grids* en général, suscitant l'unanimité. Cependant, lorsqu'on rentre dans le détail de la mise en œuvre, les désaccords ne portent pas sur les dispositifs installés dans le cadre du projet de démonstrateur, mais bien sur ce qu'un réseau de distribution électrique devrait être. Dans un contexte d'incertitudes sur les modalités de la transition « en action », le démonstrateur leur permet de se positionner sur des modèles plus précis. En particulier, le constat d'incapacité des réseaux existants qui a donné lieu au projet de *Smart grid* n'est pas complètement partagé : en découlent des visions différentes de la nécessaire transformation des réseaux électriques.

Dynamiques de l'innovation réseau selon les échelles territoriales : une reconfiguration au niveau local ?

Un tel projet de démonstrateur, soutenu par un programme d'investissement national, mais rendu possible par la spécificité d'un territoire dont les acteurs ont su combiner différentes ressources pour le faire émerger, nous amène à questionner l'articulation des multiples échelles des innovations dans le secteur des réseaux électriques. La capacité de gérer des flux bidirectionnels devient un nouveau *script* à inscrire dans les infrastructures de gestion du réseau de distribution, ce qui nécessite un passage à des dispositifs numériques (Slayton 2013).

Le *Smart grid*, cette innovation objet de fierté pour les acteurs, doit trouver sa place dans un système électrique existant, « caractérisé par la stabilité », indiquent Verbong & Geels (2010) en se référant à des travaux qui tentent d'articuler les échelles du changement technologique pour aller vers plus de soutenabilité (Geels 2002). Dans l'expérimentation menée dans le projet VENTEEA, la pérennité des infrastructures du réseau est un facteur déterminant : l'immense majorité des

quelque mille postes-sources exploités par ERDF sur le territoire national reposent sur un « palier technologique » de 1986 avec des systèmes de régulation analogique. Vu leur grande fiabilité et longévité, le taux de renouvellement en numérique est lent. Le démonstrateur situé autour du poste-source de Vendevre sur Barse doit préfigurer l'accueil d'éoliennes sur un réseau HTA aux installations matérialisant la conception centralisée des réseaux.

Verbong & Geels (2010) proposent une typologie des changements dédiée au cas du système électrique : une *transformation* vers des réseaux *hybrides*, avec une augmentation des flux bidirectionnels au niveau du transport et de la distribution, ou une *reconfiguration* plus profonde, en réponse à des incapacités du réseau actuel. Cette grille de lecture nous a permis d'ordonner le matériau recueilli en entretiens et observations : les acteurs posent sur les changements en cours des diagnostics qui présentent une grande variété d'interprétations, entre une dynamique globale de *transformation* du système électrique et pour certains une dynamique de *reconfiguration* au niveau local.

Les acteurs du territoire voient l'innovation dans l'énergie comme un levier du développement territorial. Quel rôle joue la spécificité locale dans un tel projet de démonstrateur ? D'après certains, le projet a émergé d'une nécessaire *reconfiguration* du système électrique au niveau local : dans la région Champagne-Ardenne, le développement de l'énergie éolienne a connu une croissance soutenue, et selon eux, l'incapacité du réseau électrique classique à accueillir de nouvelles éoliennes est désormais le facteur limitant ce développement. Ce diagnostic cherche à favoriser l'émergence rapide d'un réseau innovant en mesure d'intégrer des EnR, en même temps qu'il plaide pour un développement de l'énergie éolienne. Il est porté par des acteurs innovateurs qui cherchent à faire de ce démonstrateur un point de départ pour adapter la gestion du réseau ; ils se voient précurseurs dans un modèle *bottom-up* d'innovation à partir de niches technologiques, qui suppose ensuite une réplique du projet.

Controverses et lignes de tension autour du réseau du futur

Cependant, l'interprétation en termes de *reconfiguration* n'est pas partagée par tous les acteurs. À l'échelle nationale, l'évolution permise par le projet peut aussi être décrite en termes de *transformation* vers des réseaux *hybrides*, avec une augmentation des flux bidirectionnels qui ne remettent pas fondamentalement en cause la distribution des responsabilités dans l'ancien modèle (Verbong & Geels 2010).

Une des expérimentations menées dans VENTEEA consiste à hybrider les technologies analogiques existantes avec des modules numériques ajoutés afin de gérer les flux bidirectionnels : c'est une manière d'accélérer le passage d'une génération technologique à l'autre pour les besoins spécifiques de l'injection de l'énergie éolienne dans le réseau. Les photos 6 à 9 ci-dessous donnent à voir une innovation par hybridation avec l'existant, au sein du poste-source de Vendevre sur Barse.



Photo 6 : Les modules numériques au dessus des départs de lignes classiques

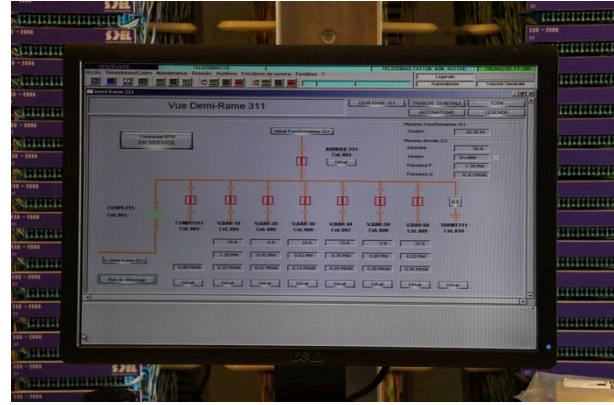


Photo 7 : La représentation sur écran de ces départs de ligne avec l'indication des flux en temps réel ; en arrière-plan, des relais analogiques



Photo 8 : Le mini-PCCN, Poste Contrôle Commande Numérique, cœur du dispositif d'hybridation

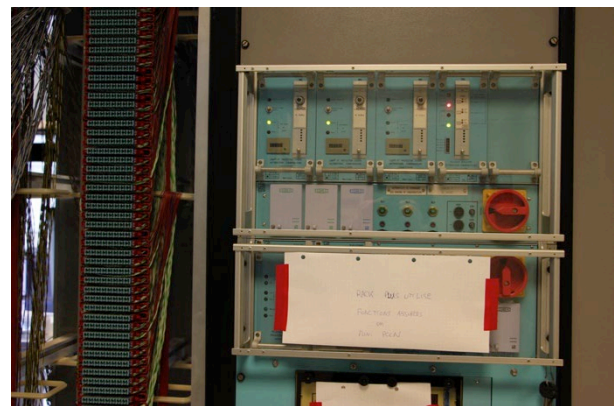


Photo 9 : La coexistence de l'analogique et du numérique traduite par une affiche manuscrite « Rack plus utilisé, fonctions assurées par mini-PCCN »

Dans les installations techniques visitées, certaines installations analogiques devenues inutiles sont simplement « shuntées » par des indications écrites par les exploitants sur les matériels (photo 9 ci-dessus). Cependant, les acteurs historiquement chargés de gérer l'injection de production dans le système électrique entendent bien se faire une place stratégique dans le nouveau système, qu'ils n'imaginent pas totalement foisonnant, numérique, décentralisé, mais plutôt comme une évolution de l'existant. Il est alors utile de reprendre la métaphore de Peter Karnøe (2012) qui transpose au réseau électrique l'évolution d'un premier internet 1.0 top-down, régulé, à un internet 2.0 foisonnant : il décrit un modèle de gestion « 1.0 » hérité de la centralisation, et un modèle « 2.0 », en cours de réalisation au Danemark, qui permet d'accueillir une importante part d'énergie éolienne.

Ce « réseau 2.0 », « réseau hybride », ou plus simplement « réseau du futur » constitue l'objectif du développement des technologies *Smart grids* ; il est diversement imaginé et investi par les acteurs. Leurs futurs imaginés mettent en jeu la multiplicité des échelles territoriales concernées, et questionnent une recomposition de la gestion du réseau de distribution. Les positions se déploient sur un éventail dont les extrêmes seraient :

- d'une part, des aspirations à l'autonomie locale, qui pourrait consister en une « boucle locale » comme nouveau lieu de l'équilibre production-consommation – dont l'échelle reste à déterminer. La batterie de stockage est alors investie par les acteurs comme un moyen de réaliser cette autonomie énergétique locale ;
- d'autre part, une réaffirmation que la conception actuelle des échelles de gestion et périmètres de responsabilité reste pertinente. Un *Smart grid* doit alors offrir une optimisation du maillage dans le réseau national ainsi que des « services système » à destination du gestionnaire de réseau. Les « services système » sont rendus par un producteur au réseau électrique : contribution au réglage de la fréquence, au réglage de la tension, et traitement de la « compensation synchrone ». Dans un système dérégulé, leurs modalités d'échange sont encadrées et ils peuvent être rémunérés. Ainsi, un possible changement de responsabilités attire notre attention sur diverses entités circulant sur le réseau.

S'inscrivant en faux contre la « boucle locale », cette prise de position suggère une logique de transformation par *hybridation*, et pour filer la métaphore informatique, plutôt comparable à un « réseau 1.5 » qu'à un « réseau 2.0 ». À l'extrême, certain.e.s interviewé.e.s minimisent le rôle d'un projet tel que VENTEEA dans la gestion du réseau électrique, assurée au mieux, selon eux, par des méthodes centralisées et éprouvées.

La promesse technoscientifique fait l'unanimité, mais lorsque les acteurs précisent les contours des *Smart grids* à une échelle plus précise, les représentations de la forme que devrait prendre le réseau du futur mettent en tension des répartitions différentes des responsabilités au sein du secteur électrique. Dans cette *transformation par hybridation*, le démonstrateur VENTEEA leur permet d'acquérir une compétence et de préparer de futures positions stratégiques, alors que le contexte réglementaire et la redistribution des responsabilités sont en cours de définition et d'évolution forte.

En filigrane derrière le modèle du démonstrateur se trouve la réplique de l'innovation, souvent évoquée pour justifier la pertinence de ce projet. Le potentiel technique – le nombre d'infrastructures du palier analogique qui pourraient être hybridées avec des dispositifs numériques, par exemple – est alors totalement détaché du contexte local favorable et du travail multiforme des innovateurs qui ont permis, ici, son émergence. Il faut aussi noter un autre type d'innovation partant du territoire, réalisé par et avec la DREAL⁸ de Champagne-Ardenne. En l'absence de rubrique dédiée à une telle batterie de stockage au titre de la législation sur les

8 DREAL : Direction régionale environnement, aménagement, logement

installations classées pour la protection de l'environnement⁹, la DREAL a facilité l'élaboration d'un aménagement rendant possible l'installation de la batterie du démonstrateur VENTEEA. L'innovation technologique va de pair avec l'innovation réglementaire. Cependant, les responsables du démonstrateur ont besoin de faire valoir un potentiel de réplication, et leur discours articulant les échelles locale et nationale pour mettre en avant un certain type de « réseau du futur » préfiguré par leur projet tend à invisibiliser l'important travail accompli par les différents acteurs et parties prenantes du démonstrateur VENTEEA.

Ce que transporte le réseau : les qualités des électrons comme enjeux d'une redistribution des compétences et rôles professionnels

Au fil de l'enquête sur ce démonstrateur *Smart grid*, il apparaît que le réseau électrique transporte, certes des électrons, mais aussi de la puissance active et réactive, une qualité de fourniture électrique ainsi que des « services systèmes » concourant à sa stabilité. Aujourd'hui les responsabilités sont articulées en suivant les contours de communautés professionnelles, qu'une future généralisation du *Smart grid* pourrait bousculer. Les participants au projet ont des représentations différentes des responsabilités futures pour assurer l'équilibre d'un système électrique qui sera devenu hybride, s'échelonnant entre le « réseau 1.0 » et « 2.0 » – la prééminence du national ou du local – avec des nuances parfois entre plusieurs personnes d'une même organisation.

Les électrons, autrefois centralisés et coordonnés dans un modèle 1.0, sont investis de nouvelles qualités questionnées ici quatre points. En premier lieu, les électrons précédemment issus de production décentralisée deviennent « bidirectionnels » : dans la maquette comme dans le film présentant VENTEEA, les électrons circulant dans le réseau sont figurés par des points jaunes allant et venant dans le cadre du *Smart grid*. Le discours pédagogique les charge d'une nouvelle propriété qui est de circuler dans les deux sens sur les réseaux de distribution, ce qui suppose une adaptation de ceux-ci.

Deuxièmement, alors que certains acteurs plaident pour la gestion locale de l'équilibre électrique (la « boucle locale ») voire l'autonomie énergétique, d'autres réaffirment que les électrons circulent bien sur un réseau national, et qu'on ne saurait en différencier certains localement. Ces électrons d'un nouveau genre, « décentralisés » mais dépourvus d'appartenances « locales », soutiennent une argumentation réaffirmant la pertinence d'une *transformation sans reconfiguration* du système de gestion actuel.

⁹ Ce régime institué par la loi du 19 juillet 1976 repose sur une nomenclature des diverses industries et activités potentiellement polluantes, soumises selon leur nature et leur taille à autorisation ou déclaration, validant diverses mesures de protection. Revue régulièrement, elle n'inclut pas les batteries de stockage.

Ensuite, les caractéristiques prioritaires des électrons issus des éoliennes sont en mutation. Depuis l'après-guerre, le centre d'exploitation du réseau électrique « appelait » la mise en route des moyens de production selon leur coût marginal croissant : un « ordre de mérite » ou *merit-order*¹⁰. Depuis l'obligation d'achat de l'électricité issue de sources d'énergie renouvelable adoptée en 2000, le caractère « fatal » de l'énergie éolienne donnait à ses électrons une priorité sur le réseau, un passe-droit bousculant le protocole du *merit-order*. Mais dans le cadre du démonstrateur Smart grid VENTEEA, on envisage un nouveau modèle qui éviterait de renforcer les réseaux, moyennant un effacement ponctuel et contractualisé de la production éolienne via un contrat de raccordement « à puissance variable ». Les électrons d'une production fatale y perdraient leur caractère *prioritaire* pour devenir *pilotables*.

Enfin, les « électrons » (plus exactement le courant, l'ensemble d'électrons) sont porteurs de caractéristiques au niveau de la gestion de la tension et du rapport entre la puissance active et la puissance réactive. Dans un poste-source, il s'agit de réguler des électrons porteurs de qualités incluses, à l'interface entre les gestionnaires respectifs des réseaux de distribution et de transport. D'après les dispositions contractuelles actuelles, selon qu'un producteur éolien se raccorde au réseau de transport ou de distribution, ces caractéristiques associées aux électrons sont garanties et validées sur la base d'un contrôle strict, ou selon un système déclaratif plus souple. Avec un réseau hybride, on aurait une coexistence de plusieurs qualités de courant ou d'électrons, reflétant les caractéristiques organisationnelles de différents modèles, alors même que la différenciation des électrons ne saurait se faire entre les échelles locale et nationale.

La circulation de ces électrons d'un nouveau genre, porteurs d'informations et de qualités multiples, témoigne de la conjonction nouvelle des EnR, du marché et des technologies numériques qui permettent de les gérer. Le démonstrateur Smart grid nous rend visible ce qui circulerait sur un réseau futur. Les acteurs, unis autour du démonstrateur, cherchent cependant à se positionner de manière individuelle sur les modalités de gestion d'un réseau futur à travers le lot « régulation » du projet mais aussi plus largement à travers leur travail technique. Les modalités selon lesquelles les électrons futurs traverseront les diverses interfaces (entre les producteurs d'énergie éolienne, batteries de stockage, réseau de distribution, réseau de transport) sont en cours de définition ou de redéfinition, puisque les qualités inscrites dans le courant supposent des rémunérations, des gratuités ou des pénalités. Par leur travail, les acteurs redéfinissent le réseau, le marché, ou la production issue de sources d'énergie renouvelable, qui serait mise en équivalence avec les autres productions.

La batterie de stockage constitue un cas emblématique de définition en cours : dans le projet de démonstrateur, la commission de régulation de l'énergie (CRE) la considère comme un moyen de production électrique. Le gestionnaire de réseau de distribution ERDF n'est pas autorisé à exploiter une telle batterie de stockage car il pourrait alors fausser le marché par un jeu sur les

¹⁰ L'adoption de ces règles conjointement à la construction d'EDF est décrite par Yon (2014) ; pour les évolutions récentes voir Reverdy (2014)

tarifs consistant à acheter à bas prix puis vendre ou utiliser à haut prix¹¹. Mais dans le cadre de VENTEEA, une dérogation a été accordée pour qu'ERDF puisse exploiter cette batterie.

Finalement, alors même que les acteurs collaborent sur le même projet, chacun réaffirme la pertinence de son échelle d'intervention et son professionnalisme. En voici deux exemples.

Dans un premier cas, les électrons sont pourvus de caractéristiques de tension régulée au niveau du transformateur, à la plus petite maille du réseau :

ERDF et Schneider Electric testent un transformateur électrique innovant [...]. Schneider Electric a ainsi fait savoir que « le régleur en charge Booster et le système de régulation de tension, totalement intégrés au transformateur, permettent de régler en temps réel la tension, en fonction des différentes sources de production. C'est le tout premier de son genre à être installé sur le réseau ERDF (Enerpresse, 13.01.2015).

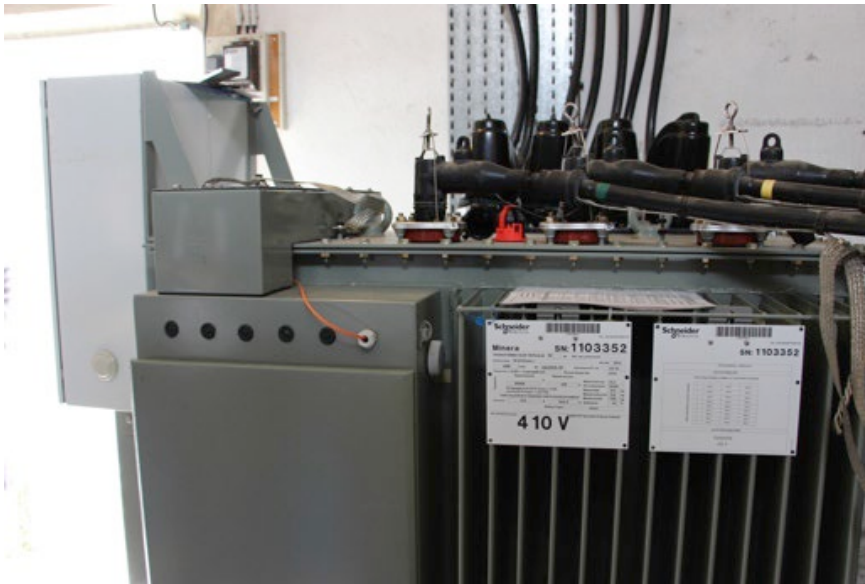


Photo 10 : le transformateur « Booster » situé à l'intérieur du bâtiment de la photo 2 ci-dessus

Dans un deuxième exemple, les attendus réels de l'exploitation de la batterie sont explicités, alors que certaines parties prenantes du territoire la comprennent comme un pas vers une autonomie énergétique locale. Selon une page *ad hoc* sur le site du projet, les acteurs historiques de gestion du réseau précisent bien qu'il s'agit de

vérifier que le réglage fréquence/puissance assuré par cette batterie est conforme aux exigences techniques de RTE et est économiquement viable. En cas de test concluant, les

¹¹ S'il est interdit à ERDF, le jeu sur les tarifs permis par le stockage est proposé par Tesla à ses clients : cf. « La nouvelle batterie de Tesla peut-elle transformer « l'infrastructure énergétique » ? » Jérôme Marin, *Le Monde*, 01.05.2015, http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/05/01/une-nouvelle-batterie-permettant-de-se-passer-des-reseaux-electriques_4626020_3244.html#2OdOLrCflWzuohWw.99, consulté le 01.05.2015

batteries pourraient devenir de nouveaux acteurs du réglage fréquence/puissance. [...] RTE est garant du bon fonctionnement et de la sûreté du système électrique français.¹²

On note que la batterie (ou son interface de gestion avec le réseau) est ici pourvue d'*agency* pour donner aux électrons les caractéristiques recherchées, mais que ceci se passe sous le contrôle de RTE, qui réaffirme son rôle de garant. Il s'agit bien de battre en brèche les idées de « boucle autonome ».

Ce projet de démonstrateur technologique, cadré dans une logique de soutien à une innovation appelée à se diffuser, est donc un lieu où s'expérimentent les conceptions des rôles professionnels et des qualités des électrons, voire du rôle de la batterie, inclus dans la façon dont le système est agencé. À travers la redéfinition des responsabilités de chacun dans le système, c'est la portée de l'hybridation qui est en débat : optimisation du maillage d'une innovation locale dans le réseau national, préservant les rôles établis, ou gestion de ces qualités au niveau local, permettant à de nouveaux entrants de s'imposer.

Conclusion

Cette enquête permet de mieux comprendre ce qu'est un *Smart grid*, en pratique et en photos. C'est un dispositif discursif tout autant que technologique, d'autant plus que le programme de démonstrateurs est profondément inscrit dans l'économie des promesses techno-scientifiques.

L'objectif de concevoir et de mettre en œuvre des technologies de réseaux intelligents, vus comme des dispositifs nécessaires à la transition énergétique, est largement partagé. Néanmoins, les définitions des réseaux intelligents sont très flexibles : si les objectifs sont fixés, les moyens pour les atteindre restent à inventer. En France, le mode expérimental promu par le financement public (national) de démonstrateurs a permis d'ouvrir le processus et d'explorer différentes solutions ainsi que d'enrôler les acteurs et de favoriser une large adhésion autour de la promesse technoscientifique. Dans le cadre du démonstrateur, l'enquête sociologique était au départ cadrée vers le public du territoire, vu comme « grand public », alors même que le projet est peu visible. On a préféré enquêter en suivant les acteurs et parties prenantes de l'innovation : le social contenu dans VENTEEA n'est pas externe au projet, il réside dans le lien fort que le projet entretient avec les acteurs du territoire, les développements technologiques et les modèles économiques et réglementaires envisagés. Avec cette perspective, l'enquête sur ce projet, local, en train de se faire, permet de rendre compte d'éléments peu visibles de la transition énergétique en action, tels que les interfaces entre des acteurs maintenant dé-intégrés, leur traduction économique, les règles en cours d'élaboration, dans le contexte incertain de l'innovation.

¹² « Des batteries pour réguler la fréquence du réseau électrique ? », page publiée en mai 2014 dans la rubrique « Nos actualités », <http://www.venteea.fr/fr/actualites/des-batteries-pour-reguler-la-frequence-du-reseau-electrique.html>, consultée le 29.04.2015

L'analyse de l'introduction de changements dans le mode d'exploitation des réseaux électriques permet de prendre la mesure des différents éléments qui y circulent dans leur diversité.

Il est particulièrement heuristique de commenter la superposition d'échelles autour du projet car elle permet d'identifier les divergences entre les acteurs au niveau de l'échelle intermédiaire, alors que tant la vision lointaine que la mise en œuvre matérielle font l'objet d'une belle unanimité.

À l'échelle de la vision lointaine de la promesse technologique des *Smart grids*, les acteurs s'accordent sur des enjeux lointains à mettre en avant, justifiant leur participation au projet, leur donnant une posture d'innovateurs visionnaires. Ces enjeux futurs des *Smart grids* font l'objet d'une belle unanimité du fait de leur flexibilité interprétative (Pinch & Bijker 1984) au stade de la promesse. La technologie est présentée comme un dispositif adaptable qui nécessite une adhésion large afin de résoudre l'important problème de l'insertion des énergies intermittentes sur le réseau électrique historiquement conçu pour être centralisé.

À l'échelle locale, le démonstrateur VENTEEA a fait l'objet d'une forte appropriation, rappelant d'autres cas où une communauté accueille avec enthousiasme un démonstrateur d'un volet de la transition énergétique. La « batterie la plus grosse de France » et autres situations d'être le site du premier déploiement de l'innovation sont objets de fierté pour les collectivités territoriales – un effet de la démarche en tant que telle. Les résidents de villages voisins d'un prototype d'hydrolienne voyaient positivement une possible célébrité liée à ce prototype, *'putting their village on the map worldwide'* (Devine-Wright, 2011).

Mais à un niveau intermédiaire, lorsqu'il s'agit d'imaginer plus précisément les trajectoires de développement du réseau – à la fois cause et résultat de l'engagement dans le projet – des positions spécifiques se définissent : le démonstrateur permet à chacun de ses acteurs de donner une forme plus précise au « réseau du futur » et d'acquérir de la compétence sur cette forme particulière qu'il souhaite voir émerger, tout en commençant à y affirmer son rôle. L'articulation des responsabilités des acteurs, dans un réseau plus décentralisé et régi par le marché, est en redéfinition, et des interlocuteurs peuvent être porteurs de visions stratégiques différentes, parfois même au sein d'une même institution. Plus largement, cette politique d'innovation, partant des territoires mais mise en œuvre dans le cadre d'une politique de démonstrateurs descendant du niveau national, n'est pas exempte d'ambiguïtés concernant notamment le rôle des acteurs investis localement (Nadaï et al., 2015).

Alors même que la forme du *Smart grid* est ambiguë, le démonstrateur permet aux acteurs de collaborer à l'élaboration d'une expérimentation locale, tout en construisant leur compétence et leurs positions stratégiques qui peuvent être divergentes. Au-delà des membres du consortium, le démonstrateur intègre aussi des parties prenantes du projet, en particulier les acteurs du territoire. La figure de l'entrepreneur d'innovation comme entrepreneur-frontière (Bergeron et al., 2013), à la fois acteur-passeur et traducteur, est centrale pour faire vivre autour de ce projet un réseau qui déborde le consortium.

Le démonstrateur *Smart grid* constitue finalement une innovation flexible qui s'intègre par hybridation, que ce soit au niveau technique avec les questions de responsabilités sur le réseau, ou au niveau des régimes d'innovation. Pour reprendre la distinction suggérée par Joly, Rip et Callon (2010) entre les régimes d'innovations – promesses techno-scientifiques ou expérimentations collectives –, ce programme de démonstration a permis d'intégrer le *Smart grid* dans une expérimentation collective. L'expérimentation collective résulte d'objectifs produits par des groupes concernés qui recherchent des solutions à leurs problèmes dans l'action collective. Les objectifs collectifs sont évolutifs, destinés à être précisés et redéfinis dans les processus d'apprentissage accompagnant l'expérimentation. La politique de démonstrateurs *Smart grids* apparaît ainsi comme un hybride entre une promesse technoscientifique (pour le programme descendant de financement public) et une expérimentation collective (pour sa mise en œuvre et son appropriation locale).

Remerciements

Cette recherche a été financée par le projet VENTEEA, projet soutenu par l'ADEME dans le cadre du PIA « Réseaux Intelligents ». L'auteur tient à remercier Arthur Jobert – avec qui l'enquête a été menée – pour les échanges qui ont nourri la réflexion autour de cet article. Les enquêtes de terrain ont été menées par deux étudiants en Master 2, Sylvain Chanzy (Sciences Po, 2013) puis Pierre-Yves Burlot (ENPC-AgroParisTech, 2015) qui ont proposé des analyses intermédiaires. Les analyses présentées ici sont celles de l'autrice et n'engagent ni EDF, ni les institutions prenant part au projet VENTEEA.

Références

- Bakker, S., Van Lente, H., & Meeus, M. (2011). Arenas of expectations for hydrogen technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(1), 152-162.
- Barry, A. (1999). Demonstrations: Sites and sights of direct action. *Economy and Society*, 28(1), 75-94.
- Bergeron, H., Castel, P., & Noguez, É. (2013). Éléments pour une sociologie de l'entrepreneur-frontière. *Revue française de sociologie*, 54(2), 263-302.
- Borup, M., Brown, N., Konrad, K., & Van Lente, H. (2006). The sociology of expectations in science and technology. *Technology analysis & strategic management*, 18(3-4), 285-298.
- Burger, C. (2014). *L'éolien est-il soluble dans le territoire ? Territorialisation d'une politique d'aménagement durable*. Thèse de doctorat en Aménagement, Reims.
- Callon, M. (1986). Éléments pour une sociologie de la traduction : La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique*, 36, 169-208.
- Cobb, R. W., & Elder, C. D. (1983). *Participation in American politics: The dynamics of agenda-building* (2nd ed). Johns Hopkins University Press.
- Devine-Wright, P. (2011). Enhancing local distinctiveness fosters public acceptance of tidal energy: A UK case study. *Energy Policy*, 39(1), 83-93.

- Escoffier, C., Grandclément, C., & Scolan, P. (2015) 'Transparence technique et coopération des utilisateurs dans deux projets de smart grid'. In J. Cihuelo, A. Jobert, and C. Grandclément (eds) *Énergie et transformations sociales : enquêtes sur les interfaces énergétiques, Socio-économie de l'énergie*, pp. 17–32. Paris: Lavoisier Tec & doc.
- Gabillet, P. (2015). "Les questions posées par la production et la distribution locales d'énergie". Communication au séminaire « Collectivités locales : quels leviers pour la distribution et la production locale d'énergie ? », PUCA, 9 février 2015
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274.
- Hughes, T. P. (1979). The Electrification of America: The System Builders. *Technology and Culture*, 20(1), 124-161.
- Joly, P.-B. (2010). On the Economics of Techno-scientific Promises. In M. Akrich et al. (dir.), *Débordements. Mélanges offerts à Michel Callon*, Presses des Mines, p. 203-222.
- Joly, P.-B., Rip, A., & Callon, M. (2010). Re-inventing innovation. In M. J. Arentsen, W. van Rossum, & A. E. Steenge (Éds.), *Governance of innovation: Firms, clusters and institutions in a changing setting*. Edward Elgar.
- Karnøe, P. (2012). How disruptive is wind power? A lesson from Denmark. *Debating Innovation*, 2(3), 72-77.
- Latour, B. (1989). *La science en action*. La Découverte.
- Le Renard, C. (2015). Le prototype, à l'interface entre une promesse technologique et son industrialisation, in Cihuelo, J., C. Grandclément & A. Jobert (dir.), *Energie et transformations sociales : enquêtes sur les interfaces énergétiques*, Lavoisier
- Nadaï, A. (2012). Planning with the missing masses: Innovative wind power planning in France. In Szarka, J., Cowell, R., Ellis, G., Strachan, P. A., & Warren, C. (Eds.), *Learning from Wind Power: Governance, Societal and Policy Perspectives on Sustainable Energy*. Palgrave Macmillan: 108-132.
- Nadaï, A., Labussière, O., (2014), Communs paysagers et devenirs éoliens opposés, *Projets de paysage* http://www.projetsdepaysage.fr/fr/communs_paysagers_et_devenirs_eoliens_opposes
- Nadaï, A., Labussière, O., Debourdeau, A., Régnier, Y., Cointe, B., & Dobigny, L. (2015). French policy localism: Surfing on 'Positive Energie Territories' (Tepos). *Energy Policy* 78, 281-291.
- Pinch, T. J., & Bijker, W. E. (1984). The social construction of facts and artefacts: or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. *Social studies of science*, 399-441.
- Reverdy, T. (2014). *La construction politique des prix de l'énergie, sociologie d'une réforme libérale*. Presses de Sciences Po.
- Rosental, C. (2013). Toward a Sociology of Public Demonstrations. *Sociological Theory*, 31(4), 343-365.
- Slayton, R. (2013). Efficient, Secure Green: Digital Utopianism and the Challenge of Making the Electrical Grid "Smart". *Information & Culture*, 48(4), 448-478.
- Star S. L. (2010). « Ceci n'est pas un objet-frontière ! » Réflexions sur l'origine d'un concept, *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2010/1 Vol 4, n° 1, 18-35.
- Verbong, G. P., & Geels, F. W. (2010). Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1214-1221.
- Yon G. (2014). L'économicité d'EDF - La politique tarifaire d'Électricité de France et la reconstruction de l'économie nationale, de la nationalisation au milieu des années 1960, *Politix*, 105, 91-115.