

Les enjeux du numérique dans la distribution d'électricité

Par Claire WAAST-RICHARD,
Claudine RABILLARD et Yves BARLIER
Enedis

Les réseaux de distribution d'électricité se trouvent, partout dans le monde, au carrefour de nombreuses transitions. La transition énergétique est déjà une réalité et a un impact fort sur ces réseaux qui s'adaptent à leur tour. Le numérique est un des facteurs clés de réussite.

Le déploiement des compteurs communicants, de l'IoT, l'IA, de la simulation... permettent à Enedis de dégager de la performance, d'accompagner ses clients dans leur transition énergétique, et permettent au système électrique et aux acteurs de marché un fonctionnement plus précis. L'augmentation à venir des installations d'énergies renouvelables (EnR) décentralisées, la généralisation de la mobilité électrique, le développement de l'hydrogène impacteront plus profondément la manière de gérer le réseau de distribution.

Le système futur sera beaucoup plus complexe et plus décentralisé. La transition se fera grâce au numérique et aussi grâce à tous les acteurs de la filière, avec une *"smart regulation"* et la mobilisation de tous nos salariés.

INTRODUCTION

Depuis sa création en 2008, Enedis fait partie des quatre principaux distributeurs européens d'électricité, avec 38,8 millions de clients et la responsabilité de la gestion d'un parc d'actifs important : 2 300 postes sources, 1,4 million de km de lignes électriques soit 35 fois le tour de la Terre, 800 000 postes de distribution publique. Enedis, grâce à ses 40 000 salariés, pilote, développe et modernise le réseau électrique de distribution pour garantir à tous ses clients une alimentation électrique de qualité. Enedis joue aussi un rôle clé aux côtés des collectivités et de tous les acteurs locaux. Elle aide à maîtriser les consommations et contribue au développement des mobilités propres.

Le monde change et l'électricité s'impose comme une énergie décarbonée clé. Dans les 12 derniers mois + 12 % en MW d'EnR ont été raccordés sur le réseau d'Enedis, qui accueille 90 % des nouvelles énergies renouvelables, et le nombre de points de charge pour la mobilité électrique s'est accru de 40 %¹. Ainsi la production d'électricité historiquement essentiellement centralisée devient partiellement décentralisée avec des moyens de production intermittents et peu pilotables. Ces transformations dans le système électrique ont un impact fort sur le réseau de distribution qui s'adapte à son tour.

La transformation numérique du réseau est un des facteurs clés de réussite. Si aujourd'hui le système électrique fonctionne déjà grâce au numérique, il reste porteur de perspectives d'améliorations majeures tant pour la performance du réseau de distribution lui-même que pour rendre possible encore plus pleinement la transition énergétique.

¹ <https://data.enedis.fr/pages/accueil/>



Figure 1 : L'organisation du secteur électrique en France (Source : Enedis).

LE NUMÉRIQUE DANS LA VIE DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE

La transition énergétique est déjà une réalité sur le réseau public de distribution d'électricité géré par Enedis. Plus de 40 GW de production d'EnR y sont raccordés. En zone rurale cette production dépasse souvent les besoins locaux de consommation. Ainsi, plus d'un tiers de la production EnR est envoyé sur le réseau de transport afin d'être acheminé vers les villes pour y être ensuite distribué par Enedis. Plus de 14 GW d'infrastructures de recharge de véhicule électrique y sont raccordés, répartis sur deux millions de bornes.

Le numérique est omniprésent dans la vie du réseau électrique, de sa planification à son renouvellement, en passant par sa construction, son exploitation et sa maintenance. Les



Figure 2 : Environ 90 % des installations éoliennes et photovoltaïques sont raccordées au réseau de distribution (Source : Enedis).

productions d'EnR et les nouveaux usages de consommation sont pris en compte dès la planification des réseaux. Connaître leur comportement est gage de qualité de la planification. Si celui d'une production éolienne ou photovoltaïque est aujourd'hui bien connu, ce n'est pas encore le cas des recharges de véhicule électrique, dont le profil de consommation s'avère très différent selon l'usage du véhicule. Une autre incertitude pèse sur le déploiement des pompes à chaleur électriques en substitution du chauffage au fioul ou au gaz. L'efficacité énergétique des usages va par ailleurs continuer de progresser. Autant de paramètres qu'il faut évaluer en avenir incertain pour dimensionner le réseau. Cela passe par de la collecte de données, leur analyse, des mises en œuvre d'approches stochastiques ou des simulations des comportements de consommation, de production, du réseau.

Pour l'exploitation du réseau, afin d'anticiper d'éventuelles contraintes (un déséquilibre trop prononcé entre quantité d'électricité injectée et quantité d'électricité consommée conduisant vers un *blackout*), des prévisions locales de production et de consommation sont calculées très régulièrement à l'aval des 2 300 postes sources que gère Enedis. Ces prévisions s'appuient sur des approches d'intelligence artificielle et sont un allié majeur de l'opérateur pour réaliser la gestion prévisionnelle du réseau (du moyen au court terme). En complément des fonctions avancées de conduite (automates) permettent de reconfigurer automatiquement la topologie du réseau moyenne tension en tant que de besoin.

Les compteurs communicants, IoT et traitements de données, sont des atouts supplémentaires pour la performance du réseau. Déjà opérationnels depuis plusieurs années pour les clients de forte puissance, les compteurs communicants ont été généralisés fin 2021 aux 37 millions de clients de puissance plus basse grâce aux compteurs Linky. Linky n'est pas seulement un compteur. C'est aussi un capteur de tension sur le réseau basse tension. L'analyse de ces données permet de détecter des pannes et de les localiser. La recherche de la panne est ainsi plus rapide et la coupure pour le client plus courte. L'analyse des données de mesure (c'est-à-dire issues des compteurs communicants) *a posteriori* permet aussi de réaliser des bilans de qualité de la fourniture pour les clients. Ces données sont aussi utilisées pour détecter des fraudes, identifier des changements de phase nécessaire ou des changements de rapport de transformation dans les postes moyenne tension /

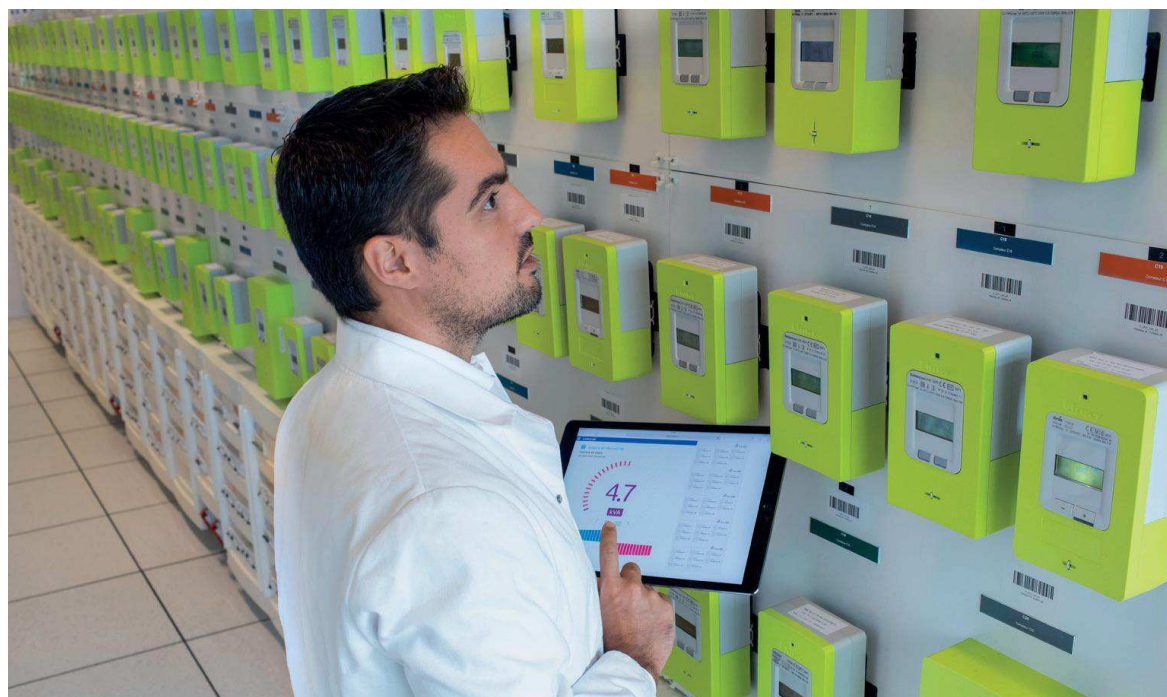


Figure 3 : Linky, une brique essentielle des *smart grids* et de la transition énergétique des parties prenantes (Source : Enedis).

basse tension. En outre, en utilisant l'intelligence artificielle, il est possible d'identifier, quelques jours à l'avance, les risques de panne. Les techniciens d'Enedis peuvent alors intervenir avant la panne.

En complément des compteurs communicants, plusieurs objets connectés sont opérationnels sur le réseau moyenne tension, pour, par exemple, monitorer des transformateurs HTB / HTA, détecter certains défauts des pylônes, rendre les parafoudres, les tourets de câbles ou les groupes électrogènes communicants, anticiper les crues, géolocaliser les équipements. Les analyses des données transmises par ces IoT permettent des actions d'exploitation en temps réel, et d'optimisation de la maintenance ou du renouvellement en temps différé.

Enedis innove également pour les salariés. Des outils de réalité augmentée et de réalité virtuelle ont été déployés pour la formation et l'appui en situation opérationnelle sur le terrain. Pour les activités de bureau, des tâches ont été automatisées afin d'éviter les gestes répétitifs et améliorer la qualité de vie au travail.



Figure 4 : L'IA pour le diagnostic des ouvrages (détection d'une anomalie sur un support de ligne HTA par traitement d'image) (Source : Enedis).

LE NUMÉRIQUE UN ATOUT POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Les compteurs communicants sont un atout pour la transition énergétique. Outre, les simplifications apportées par les compteurs communicants (relève du compteur et changements de puissance réalisés à distance, facturation au réel, alertes possibles si surconsommation...), ils ouvrent un vaste champ de nouveaux services. Par exemple, Enedis met à la disposition de ses clients, avec leur consentement, leurs données de consommation et de production. Pour les collectivités locales, ces données peuvent être la clé de voûte pour répondre aux enjeux de sobriété, de rénovation, de lutte contre la précarité énergétique, de production locale d'EnR... Le service PrioRéno, développé en partenariat avec la Banque des Territoires et GRDF, illustre ce propos. Il croise des données de consommation et bâtimentaires de sources variées pour produire pour les collectivités et les bailleurs sociaux une cartographie de bâtiments plus ou moins énergivores. Ceci permet de prioriser les chantiers de rénovation à mettre en œuvre. Autre exemple, pour des opérations

d'autoconsommation collective, ce sont les courbes de charge remontées par Linky, avec le consentement des clients, qui permettent de calculer les kWh autoconsommés et ceux revendus.

Les compteurs communicants, sont aussi un atout pour le fonctionnement du système électrique et les acteurs de marché. Avec l'arrivée des EnR et la modification des usages électriques, le système électrique va de plus en plus nécessiter de flexibilités, c'est-à-dire des situations (contractualisées) où des sites de consommation, de production ou de stockage font varier leur puissance à la hausse ou à la baisse en réponse à un signal. Ces flexibilités contribuent à l'équilibre du système électrique. Les EnR, ainsi que d'autres usages flexibles étant majoritairement raccordés au réseau de distribution, c'est Enedis qui fait le « contrôle du réalisé » c'est-à-dire qui s'assure, grâce aux données de comptage et des méthodes algorithmiques brevetés, qu'un service de flexibilité acheté auprès d'un acteur de marché a effectivement eu lieu. D'autres exemples pourraient être cités dont la RECOFlux². Sous cet acronyme, se cache tout un dispositif financier qui sanctionne ou rétribue les acteurs responsables d'un déséquilibre du système électrique (l'équilibre est mesuré par la tension). Les données de comptage et le savoir-faire algorithmique d'Enedis permettent d'identifier quel acteur a aggravé la tension sur le système électrique et quel acteur l'a soulagée.

Premier distributeur d'électricité européen à publier en *open data* des données énergétiques, Enedis place la mise à disposition de données au cœur de sa démarche de transition écologique au service de la société et des territoires. À titre d'exemple, depuis 2015, Enedis publie en libre accès ses données agrégées sur l'énergie électrique, pour éclairer les enjeux de la nécessaire adaptation des usages à la transition énergétique. Ces données ouvertes s'adressent à tous : élus, agents et partenaires des collectivités, producteurs et fournisseurs d'électricité, acteurs de la mobilité électrique et du marché de l'électricité, responsables associatifs et institutionnels, chercheurs universitaires, journalistes, citoyens...

Elles constituent des indicateurs utiles dans des domaines d'action précis et à différentes échelles géographiques : des communes aux frontières nationales en passant par les EPCI, les départements et les régions voire même les adresses pour les bâtiments collectifs. Cartographie du réseau d'électricité, statistiques sur la production et la consommation d'électricité en France et dans les territoires, courbes de charge de consommation et de production à la maille régionale, bilans énergétiques des collectivités et développement local des énergies renouvelables... toutes ces données permettent aux parties prenantes d'analyser l'évolution des usages de l'électricité, de s'impliquer dans les enjeux de la planification écologique et de mieux comprendre la transition énergétique dans sa globalité.

LA TRANSFORMATION VA S'ACCÉLÉRER AU COURS DES ANNÉES QUI VIENNENT

L'augmentation du nombre et de la puissance cumulée des installations EnR décentralisées, la généralisation de la mobilité électrique, le développement de l'hydrogène impacteront de plus en plus profondément la manière de gérer les systèmes de distribution. Le système futur sera beaucoup plus complexe. La modélisation détaillée, en planification comme en gestion prévisionnelle, des installations de stockage d'électricité décentralisées est un défi technique considérable. Dans le même temps, la gestion du système électrique national va évoluer et RTE pour équilibrer le système devra compter sur les moyens de production et consommation qui sont connectés au réseau de distribution. Une coordination forte entre systèmes de transport et de distribution sera indispensable.

² RECOstitution des FLUX.



Figure 5 : Les enjeux du numérique dans la distribution d'électricité (Source : Enedis).



Le système électrique du futur sera beaucoup plus décentralisé. Pour le faire fonctionner, il faudra développer une capacité de *monitoring* et de pilotage à un niveau plus local qu'aujourd'hui. On verra apparaître des postes HTA/BT "*smart*", dotés de capacité de collecter, stocker et traiter des données et de communiquer avec les postes sources et les agences de conduite. Cette intelligence répartie imposera des nouvelles approches de supervision et de gestion à distance. La cybersécurité de nos infrastructures alors qu'elles seront de plus en plus réparties sur le territoire et plus numérique est un défi majeur.

Figure 6 : L'innovation résultera d'un travail collaboratif entre *data scientists* et experts métiers (exemple : solutions de *monitoring* des transformateurs Haute Tension / Moyenne Tension) (Source : Enedis).

L'IA est un levier de performance important. L'usage de l'IA est déjà une réalité à Enedis, par exemple pour prévoir le vieillissement des matériels électriques, optimiser leur maintenance ou leur renouvellement. Elle est utilisée pour évaluer le risque de claquage des câbles souterrains, pour identifier des défauts sur lignes aérienne. Elle est également efficace pour prévoir localement l'ampleur d'incidents à venir quand Météo France annonce des aléas climatiques. On peut alors évaluer les ressources humaines et matériels nécessaires avant même le début d'une tempête. Toutefois des progrès importants sont attendus en auscultation et diagnostic des ouvrages. Ils passeront par un travail collaboratif entre *data scientists* et experts métiers. L'IA générative est aussi dans une dynamique d'innovation foisonnante. Nous travaillons à poser les fondamentaux : l'IA, ce sont d'abord des données accessibles et en juste qualité ; ce sont des compétences ; une gouvernance pour prioriser et garantir conformité, transparence et frugalité des IA, et enfin c'est un mécanisme de maintien en conditions d'intelligence des IA. L'IA est un système apprenant, s'il se trompe il faut le lui « dire ». Le rôle des salariés qui l'utilisent est clé.

Les attentes des salariés évoluent et le digital offre de nouvelles perspectives. Nous cherchons à concevoir des exosquelettes adaptés à nos activités, à mettre à profit les avancées des neurosciences pour prévenir les risques et réduire les accidents, à repenser les solutions d'accès au savoir en situation de travail en tirant parti de l'IA... Nous continuons à développer l'automatisation d'activités répétitives ou pénibles. Nous voulons enfin utiliser la sociologie pour adapter les modes de management aux évolutions des attentes des salariés et renforcer la confiance.

Enfin, pour compléter une liste déjà longue, il faut évoquer les perspectives offertes par des technologies comme la 5G, la *blockchain* ou l'informatique quantique. Chacune de celles-ci permettra d'améliorer la gestion des systèmes de distribution.

CONCLUSION

La transition énergétique est déjà une réalité sur le réseau public de distribution d'électricité et a un impact fort sur le réseau de distribution qui s'adapte à son tour. La transformation numérique du réseau est un des facteurs clés de réussite. Le déploiement des compteurs communicants et des IoT, les traitements de données et l'application d'approches d'IA ainsi que de simulation permettent à Enedis de dégager de la performance opérationnelle, lui permettent aussi d'accompagner ses clients dans leur transition énergétique, et permettent au système électrique et aux acteurs de marché un fonctionnement plus précis. La transformation va s'accélérer. L'augmentation du nombre et de la puissance des installations EnR décentralisées, la généralisation de la mobilité électrique, le développement de l'hydrogène impacteront de plus en plus profondément la manière de gérer le réseau de distribution. Le système futur sera beaucoup plus complexe et beaucoup plus décentralisé. Ce ne se fera pas en un jour et la gestion du réseau a déjà beaucoup évolué au cours des dix dernières années. La réussite se fera grâce au numérique mais aussi dans le cadre d'un écosystème performant, réunissant l'ensemble des acteurs de la filière, avec une "*smart regulation*" et la mobilisation de tous nos salariés.