

# ENEDIS



**Programme de R&D  
et d'Innovation d'Enedis**



# SOMMAIRE

|  |       |
|--|-------|
| <b>Enedis, distributeur d'électricité leader en matière d'innovation</b> .....                                     | p. 4  |
| <b>Programme de R&amp;D et d'Innovation d'Enedis</b> .....   | p. 6  |
| <b>Axe 1 -</b> Transformer la gestion des systèmes de distribution pour faciliter la transition énergétique .....  | p.8   |
| <b>Axe 2 -</b> Préparer le service public du 21 <sup>ème</sup> siècle répondant aux attentes des territoires ..... | p. 12 |
| <b>Axe 3 -</b> Mieux répondre aux besoins des clients et proposer de nouveaux services.....                        | p. 14 |
| <b>Axe 4 -</b> Créer les conditions d'un développement rapide de la mobilité électrique .....                      | p. 16 |
| <b>Axe 5 -</b> Accompagner l'évolution de nos métiers et transformer nos pratiques managériales .....              | p. 18 |
| <b>Axe 6 -</b> Améliorer notre performance industrielle .....  | p. 20 |
| <b>Axe 7 -</b> Faire de la transformation numérique un véritable atout au service des ambitions d'Enedis .....     | p. 24 |
| <b>Expérimenter dans le cadre des démonstrateurs smart grids</b> .....   | p. 26 |
| <b>Des partenaires académiques pour approfondir les sujets de pointe avec les meilleurs experts</b> ...            | p. 29 |
| <b>L'Open Innovation à Enedis</b> .....  | p. 30 |

## DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES

La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) a mis en place un dispositif destiné à donner à Enedis les moyens pour mener à bien les projets de R&D et d'innovation nécessaires à la conception des réseaux électriques de demain, en garantissant notamment l'absence de frein tarifaire. Les charges d'exploitation d'Enedis consacrées à la R&D, prévues dans le tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE) sur la période 2017/2020 ont été de 56 M€ par an en moyenne et celles prévues pour la période 2021/2024 s'élèvent à 57 M€ environ par an. En outre, la CRE publie tous les deux ans un rapport destiné à donner aux acteurs du secteur de l'électricité de la visibilité sur les travaux menés par Enedis.

# Enedis, distributeur d'électricité leader en matière d'innovation

Enedis est le gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité sur 95 % du territoire français continental.

Ce réseau appartient aux autorités concédantes (communes ou regroupements de communes), qui lui en confient la gestion par une délégation de service public. Enedis est ainsi responsable de deux grandes missions de service public :

- L'accès au réseau de distribution sans discrimination,
- La modernisation, le développement et l'exploitation du réseau.



Depuis sa création en 2008, Enedis fait partie des quatre principaux distributeurs européens d'électricité, avec 37 millions de clients et la responsabilité de la gestion d'un parc d'actifs important : 2 300 postes sources, 1,4 million de kilomètres de lignes électriques, 790 000 postes de distribution publique.

Le réseau public de distribution d'électricité se trouve aujourd'hui, partout dans le monde, au carrefour de nombreuses transitions : environnementales, technologiques, numériques, économiques et sociétales.

Toutes ces transitions impactent nos métiers et la façon de travailler.

Nous allons passer en quelques décennies d'un système électrique centralisé avec une production pilotable, qui s'adapte à la consommation, à un système électrique partiellement décentralisé avec des moyens de production intermittents, non pilotables, situés souvent au plus près des consommateurs.

Des logiques locales vont se développer pour adapter autant que possible la consommation à la production, avec l'émergence des flexibilités, de l'autoconsommation et du stockage. Certaines logiques d'autonomie vont émerger mais cette décentralisation va très largement s'appuyer sur le réseau de distribution d'électricité qui va devenir une véritable colonne vertébrale de la transition écologique en cours.

Simultanément, le déploiement des compteurs communicants et la transformation numérique font apparaître un nouveau métier pour Enedis de gestionnaire de données et ouvrent de nouvelles perspectives d'améliorations majeures de notre performance industrielle et de développement de nouveaux services.

Enfin, les attentes sociétales nous orientent vers un service public plus proche des territoires, plus écologique, plus local, plus inclusif.

Dans ce contexte, l'innovation n'est à l'évidence pas une option.

Pour relever ces défis, Enedis a construit un programme de recherche ambitieux, qui bénéficie du savoir-faire des femmes et des hommes de l'entreprise, acquis dans la durée et sur l'ensemble des territoires. Il comprend un panel de projets portant sur les enjeux majeurs de la distribution d'électricité, menés au sein de l'entreprise, avec ses propres ressources en favorisant l'innovation participative, mais aussi avec l'appui de laboratoires de recherche reconnus, d'entreprises innovantes, de start-up ou en collaboration avec des partenaires européens.

*Enedis s'appuie sur sa R&D et sa capacité à innover pour assurer ses missions de manière toujours plus performante en inventant le réseau de demain, qui sera plus "smart", plus numérique, plus interactif, plus inclusif, au service des clients, des acteurs du marché de l'électricité et des territoires.*

# Programme de R&D et d'Innovation d'Enedis

Le programme de R&D et d'innovation d'Enedis intègre les attentes de l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise : clients, acteurs de marché, territoires et salariés. Il permet, d'une part, l'élaboration d'une vision de long terme, l'anticipation des ruptures technologiques ou sociétales, l'identification des nouveaux services attendus et, d'autre part, la conception de solutions industrielles concrètes dans des délais maîtrisés.



La création de valeur et la capacité à utiliser de façon opérationnelle les produits et services conçus sont deux points d'attention constants.

Principalement composé d'activités de recherche appliquée, de développement expérimental et complété d'un dispositif "Open Innovation" pour nouer des collaborations avec des start-up prometteuses, le programme de R&D s'enrichit d'expérimentations menées dans les démonstrateurs

## LE PROGRAMME DE R&D ET D'INNOVATION EST MENÉ EN COLLABORATION AVEC DE NOMBREUX PARTENAIRES :

- **10 universités et laboratoires de recherche** dont EDF R&D, Grenoble INP, Laboratoire L2EP de Lille, Mines ParisTech, Ecole Polytechnique, CentraleSupélec, CEA, Datastorm-GENES, Paris Dauphine, Efficacity...
- **50 start-up et PME innovantes**
- **100 acteurs industriels et académiques** participant aux 40 projets collaboratifs smart grids (démonstrateurs, projets européens)

*Le programme de R&D d'Enedis a pour objectif de répondre aux principaux défis du distributeur.*

*La Commission de Régulation de l'Énergie a validé un financement prévisionnel de **57 millions d'euros par an** sur la période 2021/2024.*

## Sept axes structurent le programme de R&D d'Enedis :

- 1** Transformer la gestion des systèmes de distribution pour faciliter la transition énergétique
- 2** Préparer le service public du 21<sup>ème</sup> siècle répondant aux attentes des territoires
- 3** Mieux répondre aux besoins des clients et proposer de nouveaux services
- 4** Créer les conditions d'un développement rapide de la mobilité électrique
- 5** Accompagner l'évolution de nos métiers et transformer nos pratiques managériales
- 6** Améliorer notre performance industrielle
- 7** Faire de la transformation numérique un véritable atout au service des ambitions d'Enedis



# 1 Transformer la gestion des systèmes de distribution pour faciliter la transition énergétique



La transition énergétique devient plus rapide : d'ici 2030, on prévoit 50 GW d'EnR supplémentaires raccordés à nos réseaux, 7 millions de points de recharge alimentant 5 millions de véhicules électriques, 6 GW de flexibilité, 8 GW d'auto-consommation,... Le couplage entre vecteurs énergétiques augmente et la filière hydrogène fait l'objet de soutiens publics massifs. Les communautés énergétiques se développent.

Ces transformations vont très largement s'appuyer sur le réseau de distribution d'électricité qui va devenir une véritable colonne vertébrale de la

transition écologique en cours. Dans ce contexte en rupture, nous devons concevoir et déployer de nouvelles solutions pour continuer à garantir la qualité de l'alimentation électrique au moindre coût. Il nous faut notamment adapter les approches de développement du réseau, développer de nouveaux outils de conduite pour identifier et maîtriser les contraintes locales, préparer l'utilisation des nouvelles flexibilités, permettre au distributeur de jouer son nouveau rôle dans la gestion des systèmes locaux et adapter l'interface entre le gestionnaire du réseau de distribution et le gestionnaire du réseau de transport.

## La mise en œuvre des flexibilités, aujourd'hui une réalité

Les flexibilités constituent un nouveau levier à la disposition du distributeur pour résoudre des contraintes sur le réseau consécutives notamment au développement croissant des énergies renouvelables. Pour préparer leur mise en œuvre, Enedis a développé des méthodes pour identifier les opportunités de flexibilités, les valoriser, les activer puis les contrôler. Ainsi, face à une perspective de contrainte réseau, la première étape consiste à identifier la pertinence d'un recours aux flexibilités pour la lever : les bilans technico-économiques de la solution matérielle optimale, typiquement un renforcement du réseau, et d'une flexibilité idéale (localisation idéale et absence de limitation de puissance ou de durée) sont comparés. Lorsque la performance de cette flexibilité est supérieure au renforcement, il devient pertinent de faire appel au marché pour quantifier le gisement réel de flexibilité, en service et en prix, et contractualiser avec les fournisseurs de flexibilité lorsque la flexibilité "bat" le renforcement - c'est-à-dire si sa valeur collective, intégrant la non-qualité résiduelle et le coût du service, est supérieure. Enedis a lancé mi 2020 les premiers appels d'offre de flexibilités qui ont conduit aux deux premiers contrats de flexibilité.



## Sûreté du système : nouvelle approche du délestage fréquence-métrique

Le délestage fréquence-métrique est une parade d'urgence, mobilisée automatiquement pour baisser rapidement la puissance consommée en "délestant" des portions de réseau de distribution consommatrices, dès lors que la fréquence passe sous un certain seuil. Ceci permet de rétablir l'équilibre production consommation, dont la fréquence est un indicateur sur le système électrique interconnecté. Ces actions sont réalisées par échelons, par exemple en délestant 20% de la consommation nationale à partir de 49 Hz, puis 20% supplémentaire à partir de 48.5Hz, etc.

Des travaux de recherche menés par Enedis avec Grenoble INP, notamment dans le cadre d'une thèse soutenue en 2020, ont permis d'une part de proposer des méthodes innovantes pour augmenter le nombre d'échelons sans modifier les matériels existants dédiés au délestage, et d'autre part de s'appuyer sur des approches stochastiques pour mieux choisir les portions de réseau à délester, défi croissant alors même que les flux sont de plus en plus variables.

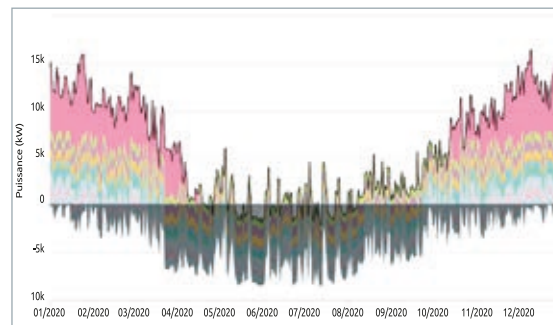
## Mieux prévoir l'évolution des flux sur les réseaux pour anticiper leur adaptation

Dans le contexte de la transition énergétique, l'évolution profonde et rapide de l'utilisation du réseau avec le développement de la production EnR, de l'auto-consommation et l'électrification de nouveaux usages conduit à faire évoluer les méthodes d'anticipation des flux d'électricité.

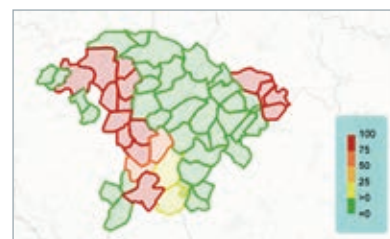
Ainsi, pour éclairer l'avenir et prendre en compte les enjeux futurs de la temporalité de l'utilisation des réseaux en consommation et en production, des travaux de R&D ont consisté à élaborer un générateur de scénarios à variables corrélées (température, nébulosité et vent) à l'échelle d'un poste source.

Cette plateforme a notamment été utilisée pour évaluer les enjeux d'optimisation du dimensionnement des réseaux de distribution dans les zones devant accueillir de nouveaux sites de production renouvelable.

Courbes de charge sectorielles scénarisées



Contraintes locales identifiées



## Hydrogène : premières études sur l'impact de la filière hydrogène sur le réseau de distribution

Le rôle significatif possible de la filière hydrogène électrolytique pour la décarbonation d'une partie de notre économie, à travers son chaînage avec le secteur électrique, conduit Enedis à étudier l'impact du développement et de l'intégration des technologies et des systèmes H2 (électrolyseurs, stockage, piles à combustibles notamment) dans le système électrique.

En collaboration avec le CEA-Liten, Enedis, au travers de simulations et d'expérimentations dans des configurations variées, évalue les conséquences sur le développement et le fonctionnement du réseau de distribution du déploiement futur de systèmes H2 au service de la transition énergétique et de la mobilité électrique.

De plus, Enedis prévoit d'évaluer plusieurs technologies de groupe électrogène mobile hydrogène comme alternative aux groupes diesel afin de diminuer ses émissions de CO<sub>2</sub> et de réduire les nuisances sonores.

## Adapter les plans de protection au développement des EnR

Les raccordements de plus en plus massifs de sources de production renouvelable font apparaître de nouveaux enjeux, en cas de défaut sur le réseau, pour la protection des biens et des personnes.

L'approche historique consistait à détecter et éliminer l'apparition de réseaux séparés, localement équilibrés du fait de la production locale, mais instables et moins performants en termes de sécurité électrique.

Les travaux R&D sur le stockage et les installations smart grids ouvrent une nouvelle voie, consistant à maîtriser ces îlots électriques.

Il reste néanmoins encore du chemin à parcourir avant de pouvoir proposer ce type de fonctionnement sur le réseau de distribution à un coût acceptable pour la collectivité.





## 2 Préparer le service public du 21<sup>ème</sup> siècle répondant aux attentes des territoires



Le 21<sup>ème</sup> siècle sera celui de la transition écologique. Nous n'avons pas d'alternative, nous devons maîtriser nos émissions de CO<sub>2</sub> et plus largement préserver notre planète. Nous devons passer des bonnes intentions à l'action. Passer de la transition énergétique à la transition écologique, c'est adopter un nouveau modèle économique et social qui renouvelle nos façons de consommer, de travailler, de vivre ensemble.

Nous ferons de la transition écologique notre priorité. Nous nous engageons notamment à

réduire notre empreinte carbone de 20% en 2025 et à atteindre la neutralité carbone en 2050. Nos actions de R&D contribueront à l'atteinte de cet objectif, à la réduction de l'impact de nos activités sur l'environnement, à la préservation de la biodiversité, au développement de l'économie circulaire.

À l'écoute des territoires, nous concevrons et proposerons des solutions adaptées aux attentes et aux enjeux de chacun. Nous développerons le service public du 21<sup>ème</sup> siècle, service public augmenté répondant aux attentes en matière de RSE.

### Tableaux de bord énergétique

Les tableaux de bord énergétiques répondent aujourd'hui aux besoins exprimés par les collectivités pour analyser et mesurer les effets de leur politique énergétique au niveau de différentes mailles géographiques : ville, quartier ou encore portefeuille de sites. Le développement de ces tableaux de bord consiste à définir des indicateurs énergétiques permettant de suivre et d'orienter des décisions pour les collectivités et de mesurer les actions collectives en matière de transition écologique pour les habitants.

Enedis travaille actuellement au déploiement d'un espace dynamique de mise à disposition des données permettant aux collectivités de suivre leurs consommations.

### Validation des disjoncteurs à coupure dans le vide

L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) est utilisé depuis très longtemps pour l'isolation électrique et l'interruption du courant dans les appareillages à moyenne et haute tension. Si ses qualités électriques sont indéniables, le SF<sub>6</sub> a un potentiel de réchauffement planétaire 22800 fois plus élevé que le CO<sub>2</sub>.

C'est pourquoi Enedis a engagé une transition technologique pour les disjoncteurs à moyenne tension des postes sources en s'appuyant sur la coupure dans le vide. Dans cette technologie, l'interruption du courant est obtenue par l'ouverture d'un contact placé dans un vide poussé, et elle a l'avantage de ne présenter aucun risque de toxicité et d'écotoxicité. Afin d'aboutir à des solutions industrielles, Enedis a mené des investigations, complété les exigences des normes IEC par des spécifications propres à ses usages et impulsé les développements nécessaires. Ces solutions sont déployées sur les réseaux dès 2021 et constituent le nouveau palier technologique des postes sources pour les années à venir.



### Expérimentation de solutions mobiles d'alimentation à faible émission de carbone

Enedis a lancé, au sein de diverses régions, des expérimentations de solutions mobiles d'alimentation à faible émission de carbone, de type batterie ou pile à combustible hydrogène, en substitution ou complément des groupes électrogènes diesel "classiques" utilisés pour la réalimentation temporaire des clients dans le cadre des opérations de maintenance du réseau.

À terme, l'ambition d'Enedis est de déployer ces solutions sur l'ensemble du territoire, contribuant ainsi à la réduction de l'empreinte carbone et à la diminution des nuisances locales (comme la pollution et le bruit) liées à ses activités. Et de plus, ces solutions innovantes visent à permettre aux installations EnR de continuer à produire pendant les travaux.



### 3 Mieux répondre aux besoins des clients et développer de nouveaux services



Nos clients attendent d'Enedis un service performant et une communication efficace, notamment lors des raccordements, des interventions ou des incidents. Mais nos clients attendent aussi de nouveaux services, en lien notamment avec la révolution numérique et la transition écologique.

Pour devenir le service public préféré des Français nous devons renforcer notre proximité avec nos clients. Nous concevons de nouvelles solutions afin d'améliorer leur satisfaction sur nos activités

fondamentales et d'anticiper leurs attentes. Nous viserons également à développer de nouveaux services et à répondre à l'émergence de nouveaux usages.

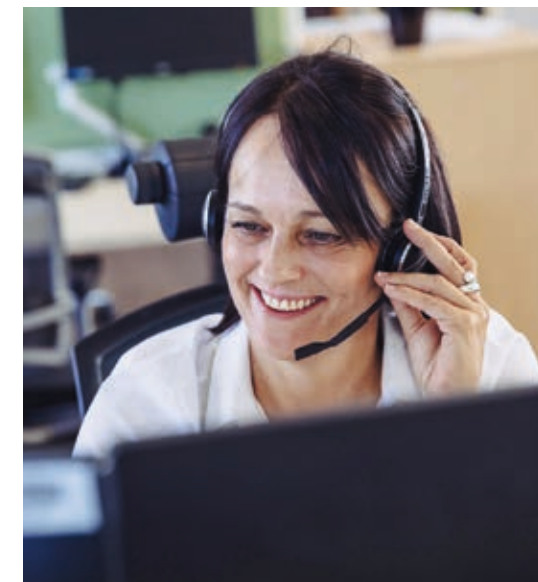
En particulier, nos travaux contribueront à nos engagements de diviser par deux le délai de raccordement des clients d'ici 2022 et de permettre à 100% des clients de suivre leur consommation grâce au compteur communicant, et de bénéficier d'une offre innovante de leur fournisseur.

### Solutions IA pour mieux répondre aux attentes des clients (e-coute, voicebot...)

Enedis développe des solutions basées sur les technologies de l'IA pour améliorer l'accueil des clients et le traitement des réclamations. Ainsi un outil nommé e-coute a été expérimenté. Il permet, grâce à l'analyse fine des verbatim clients, de mieux classer les réclamations et donc mieux les orienter, selon leur typologie, vers les conseillers compétents, et également d'appuyer ces derniers dans leur réponse.

En complément, le projet "IA de la relation client" propose une série d'outils destinés à améliorer les réponses aux clients, quel que soit le canal par lequel ils ont formulé leur demande. Un chatbot, un chatlive et un moteur de recherche cognitif ont d'ores et déjà été déployés ; un voicebot sera bientôt expérimenté. Ils permettront à la fois de faciliter le travail des conseillers, d'améliorer la qualité de leur réponse et de fluidifier l'expérience client.

L'ensemble de ces solutions est en cours d'intégration dans l'outil de gestion des réclamations d'Enedis.



### Anticiper l'impact des nouveaux usages sur la qualité d'alimentation grâce à l'IA : un modèle d'estimation du risque harmonique pour les réseaux BT

Pour évaluer le risque de perturbations harmoniques à moyen et long-termes associé au développement des nouveaux usages (notamment véhicules électriques, panneaux photovoltaïques et pompes à chaleur), un modèle basé sur des algorithmes de Machine Learning a été développé.

Il permet d'estimer les niveaux d'harmoniques que ces nouveaux usages pourraient générer à la maille d'une commune.

Ce modèle est appelé à être enrichi continuellement, en y intégrant des scénarios de pénétration des nouveaux usages et en affinant la modélisation de leurs perturbations harmoniques, notamment en réalisant des campagnes de mesures des émissions harmoniques et de leur propagation sur les réseaux de distribution.





# 4 Créer les conditions d'un développement rapide de la mobilité électrique



Réduction de la pollution de l'air, décarbonation des transports, transition écologique... Ce sont des enjeux de société dont les pouvoirs publics se sont largement emparés, notamment en favorisant les mobilités alternatives. Sous cette impulsion, le développement de la mobilité électrique, selon l'ensemble des prévisions, sera particulièrement soutenu d'ici 2035, partout sur le territoire.

Mécaniquement, cet accroissement du nombre de véhicules électriques au sein du parc roulant induira une augmentation de la demande de puissance du

fait des nouveaux besoins de recharge. Mais les batteries des véhicules électriques constituent aussi un gisement de flexibilité utile pour le système électrique de distribution. La gestion du système électrique doit donc s'adapter et, notamment, permettre des interactions complexes entre de nombreuses parties prenantes.

C'est pourquoi nous faisons du développement des solutions facilitant la mobilité électrique une priorité de R&D pour les prochaines années.

## Évaluer l'impact de la recharge sur la qualité de l'onde

Garantir à ses clients une électricité répondant à des exigences de qualité fait partie des missions d'Enedis. Nouvel usage comportant de l'électronique de puissance, les véhicules électriques sont susceptibles de dégrader la qualité de l'onde. Réciproquement, certaines perturbations harmoniques ou à haute fréquence peuvent altérer la qualité du service de recharge. Des mesures sont ainsi réalisées afin de caractériser le comportement de nombreux modèles de véhicules électriques, dont ceux présents dans la flotte Enedis, et de s'assurer notamment que le déploiement massif de la mobilité électrique ne va pas conduire à une dégradation de la qualité de l'onde de tension servie aux clients.

Les essais comportent des mesures d'émission dans les bandes harmoniques et supra-harmoniques et des tests d'immunité dans différentes conditions d'alimentation (normale ou dégradée, cas du smartcharging,...).

## Préparer le pilotage de la recharge

Le pilotage de la recharge des véhicules électriques peut être générateur de valeur, dès aujourd'hui pour l'utilisateur final, comme pour l'écosystème électrique et ses parties prenantes. Il devrait permettre de réduire l'impact sur le système électrique et d'éviter des sur-investissements sur les réseaux électriques.

À travers le démonstrateur aVEnir, Enedis teste avec les acteurs de l'écosystème des solutions de recharge intelligente et expérimente les flexibilités apportées par les véhicules électriques. Ainsi, Enedis étudie la façon dont l'infrastructure réseau peut transmettre des messages vers les sites de recharge pour moduler la recharge, afin de répondre à des contraintes ponctuelles et locales du réseau, ou encore pour faciliter la synchronisation entre production photovoltaïque et recharge de véhicule électrique pour le compte de parties prenantes.

## Anticiper les besoins de recharge et les impacts sur le réseau de distribution

Pour accompagner le développement de la mobilité électrique longue distance et satisfaire la demande électrique associée aux infrastructures de recharge rapide sur autoroute, Enedis et RTE (Réseau de Transport d'Électricité) ont conduit une étude commune visant à anticiper l'adaptation des réseaux. L'étude montre que la recharge sur autoroute aura un impact limité sur la pointe de consommation nationale annuelle mais, localement, la demande sur certaines aires pourrait atteindre 5 MW en 2028 puis 16 MW en 2035, conduisant à des renforcements de réseau auxquels Enedis se prépare.

Les besoins de puissance pour la recharge des véhicules électriques dans les parkings d'habitations ou tertiaires sont également un sujet important. Les travaux de R&D doivent permettre de consolider le coefficient de foisonnement à appliquer afin d'optimiser les installations. Les modélisations sont confrontées aux expérimentations sur le terrain, notamment à travers le démonstrateur aVEnir.

Un troisième axe concerne les besoins de recharge propres à la mobilité lourde : Enedis anticipe l'impact sur le réseau de l'électrification des dépôts de bus, ou encore la recharge dynamique sur autoroute électrique...





## 5 Accompagner l'évolution de nos métiers et transformer nos pratiques managériales



La mobilisation de tous est au cœur du Projet Industriel et Humain d'Enedis. Dans un contexte où la transition écologique et la révolution numérique font évoluer nos métiers et où les transformations sociétales impactent les attentes à l'interne de l'entreprise comme à l'externe, nous nous fixons pour objectif de renforcer la confiance et de remettre l'initiative et la responsabilité des salariés au cœur de nos modes d'organisation.

Nous devons innover pour éradiquer durablement les accidents graves et mortels dans nos équipes et celles de nos prestataires, donner plus de marges de manœuvre aux managers de proximité et garantir nos compétences actuelles et futures. Nous conjuguerons les apports des sciences sociales et du numérique pour préparer les évolutions, améliorer la performance et accompagner les transformations.

### Exosquelettes pour l'appui au technicien sur le terrain

L'activité des techniciens des équipes de Travaux Sous Tension est physiquement engageante, susceptibles de conduire dans certains cas à l'apparition de Troubles Musculo-Squelettiques, engendrés par la répétitivité des gestes et le port de charges à bras levés et en hauteur. Depuis 2018, Enedis et la jeune start-up Tarbaise Human Mechanical Technologies (HMT) collaborent pour mettre au point un exosquelette adapté aux techniciens TST HTA. L'exosquelette Plum' permet ainsi de diminuer leur fatigue en soulageant notamment les muscles des épaules, du cou et du dos à l'aide d'une assistance allant de 3 à 5 kg par bras. Grâce aux retours des utilisateurs, l'exosquelette a constamment évolué. Plum' est aujourd'hui l'exosquelette pour les travaux bras en hauteur le plus compact et le plus léger du monde, avec un poids de 1,6 kg.

### La formation à l'heure du multi-modal

Loin du seul présentiel comme mode quasi-exclusif des actions de formation, nous arrivons aujourd'hui au parcours multimodal composé de modules pouvant intégrer toutes les modalités pédagogiques, individuelles ou collectives, synchrones ou asynchrones, assistées par le numérique ou pas, à distance, en présentiel ou même en situation de travail. De tels parcours doivent favoriser l'acquisition des connaissances et des compétences qui seront utiles et pertinentes pour les situations de travail futures des salariés. Enedis a engagé des travaux afin de mieux comprendre le fonctionnement global des stagiaires au sein de ces parcours et ainsi déterminer les configurations articulant dispositions, contextes et pratiques qui facilitent les processus d'apprentissage individuels.

### Réalité Augmentée en appui au technicien sur le terrain

Enedis a très tôt fait le pari de l'intelligence artificielle comme levier de la performance et de la sécurité des interventions sur le terrain. De plus, les méthodes agiles de développement permettent de définir, expliciter et partager les besoins émanant directement du terrain et de disposer plus rapidement de solutions à l'ergonomie adaptée. Ainsi, l'application Dataposte renforce l'expérience de collecte d'information sur le terrain et permet aux techniciens ainsi qu'aux prestataires de caractériser rapidement les matériels dans les postes HTA/BT grâce à la reconnaissance d'images. Autre exemple, la solution RDD Client qui permet au technicien de visualiser le réseau souterrain en réalité augmentée de jour comme de nuit, et leur permet de gagner en réactivité lors des interventions de dépannage.



### OTELO : La robotique au service des travaux sous tension

Les technologies clés de la robotique connaissent des avancées spectaculaires : essor de l'intelligence artificielle, sophistication des capteurs, amélioration de l'efficacité des batteries, IoT, 5G... Ce constat a conduit Enedis à étudier les apports possibles de la robotique aux activités d'Enedis, notamment en matière de performance et de sécurité. Les travaux sous tension sur les réseaux aériens 20 000 volts, qui permettent de maintenir une qualité de service optimale pendant les opérations de maintenance sur le réseau aérien, sont un champ d'application de la robotique prometteur. Piloté directement par un agent depuis le sol, le robot prototype OTELO développé par Enedis devrait ainsi être en mesure à terme de réaliser 60 % de la gamme des travaux sous tension et rendre possibles des travaux de traction qui ne l'étaient pas auparavant lors d'interventions sous tensions conventionnelles.



## 6 Améliorer notre performance industrielle



Enedis s'est engagée à avoir en 2025 l'un des meilleurs rapport qualité-prix en Europe ainsi qu'à rétablir 90% des clients en 48h en cas d'incident climatique majeur sur le réseau.

Pour respecter ces engagements, nous concevons et développerons des solutions innovantes pour disposer de composants performants, pour gérer

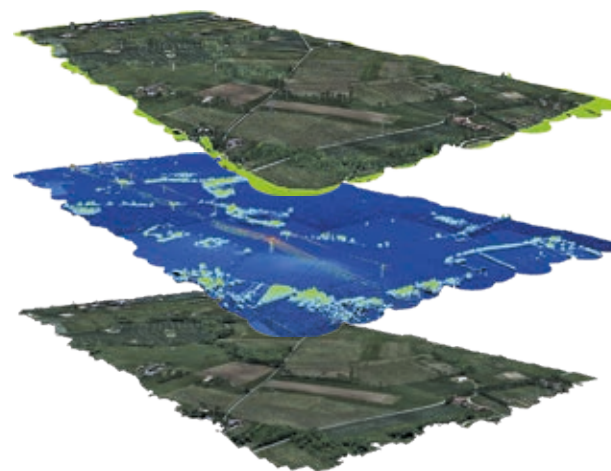
au mieux nos actifs, pour observer, conduire et exploiter nos réseaux HTA et BT, pour prévoir le bilan électrique et évaluer les pertes. Nous assurerons la résilience des réseaux dans un contexte de changement climatique et d'interdépendance entre système électrique et système IT.

### La reconnaissance d'image au service de la rénovation programmée

Enedis a très tôt lancé des travaux de R&D autour de la reconnaissance d'images afin d'identifier automatiquement les équipements et les anomalies des réseaux moyenne tension aériens.

À l'issue de ces travaux, il a été possible de passer à l'application industrielle de ces méthodes d'intelligence artificielle pour l'appui à la rénovation programmée de ces réseaux : outre la définition des portions de réseaux à inspecter, la plateforme mise en place permet de collecter et centraliser l'ensemble des données photographiques et d'automatiser les diagnostics sur la base de l'analyse des clichés par l'IA (près d'un demi-million de photographies intégrées).

Ainsi, l'établissement des programmes d'investissement et leur priorisation s'en trouvent accélérés en vue d'améliorer la qualité de fourniture pour les clients.



### Big data pour le renouvellement des câbles HTA

Après les succès des méthodes Big Data appliquées au ciblage du renouvellement des câbles basse tension, Enedis a étendu ses travaux aux réseaux HTA, d'une complexité plus élevée.

Même si depuis de nombreuses années Enedis remplace les technologies les plus anciennes et les plus incidentogènes il est important de pouvoir identifier au mieux ce qui doit être renouvelé en priorité. Jusqu'à présent, des méthodes conventionnelles basées sur des caractéristiques clés de ces ouvrages ont été utilisées pour élaborer les stratégies de renouvellement.

Aujourd'hui, comme pour les réseaux BT, une approche basée sur le traitement massif des données a été développée et appliquée avec succès sur ces câbles : elle permet d'exploiter toutes les données disponibles pour alimenter des algorithmes auto-apprenants, pour encore mieux cibler les ouvrages à remplacer.



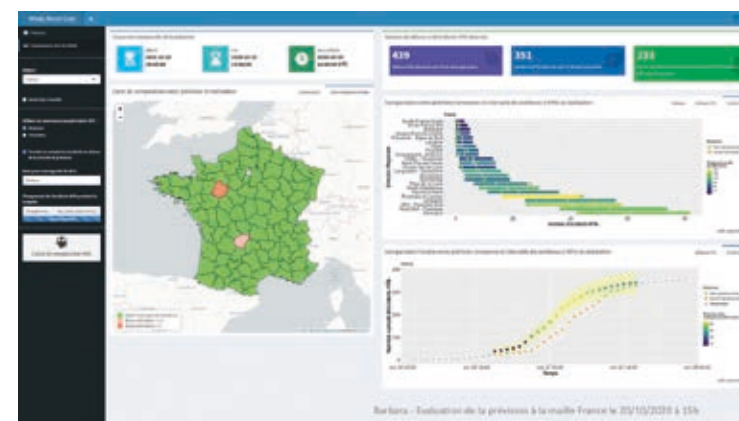
## CartoLine, le nouvel outil de "Maintenance Prévisionnelle" des réseaux BT d'Enedis

L'outil CartoLine, issu de la R&D d'Enedis, exploite la masse de données relatives aux tensions observées par les compteurs Linky et apporte un progrès décisif pour le pilotage de la maintenance prévisionnelle du réseau basse tension.

Pour les experts, il propose une interface de Dataviz facilitant l'analyse des données. Mais surtout, une intelligence artificielle exploite ces analyses en "apprentissage supervisé" afin d'être en capacité de les mener de manière autonome.

Ces analyses visent à discriminer les situations traduisant une anomalie de tension, voire un futur incident entraînant une coupure électrique sur le réseau BT.

La question à laquelle répond CartoLine peut se résumer simplement ainsi : les données de tensions observées conduisent-elles à programmer l'intervention d'un technicien sur le terrain pour éviter une panne ?



## Prévoir l'impact des tempêtes avec Windy

Être capable de prévoir avec une précision de 90% les incidents sur le réseau électrique provoqués par une tempête de vent apparaissait il y a peu comme une gageure.

Aujourd'hui, c'est devenu une réalité avec l'outil Windy qui traduit les prévisions météorologiques en impacts futurs sur le réseau HTA.

Windy apporte une véritable rupture dans la préparation aux aléas climatiques : il permet d'optimiser et d'anticiper les dispositifs de crise à mettre en place. Cette anticipation accrue participe à l'un des engagements d'Enedis : rétablir 90% des clients en 48h en cas d'incident climatique majeur.

Ainsi, en 2020, l'outil a pu faire ses preuves notamment lors de la tempête Barbara : les prévisions se sont révélées quasiment parfaites 12h avant le début de la tempête et ont permis aux Directions Régionales concernées d'Enedis d'adapter leurs dispositifs de crise et d'anticiper les ressources nécessaires pour faire face à l'épisode climatique.

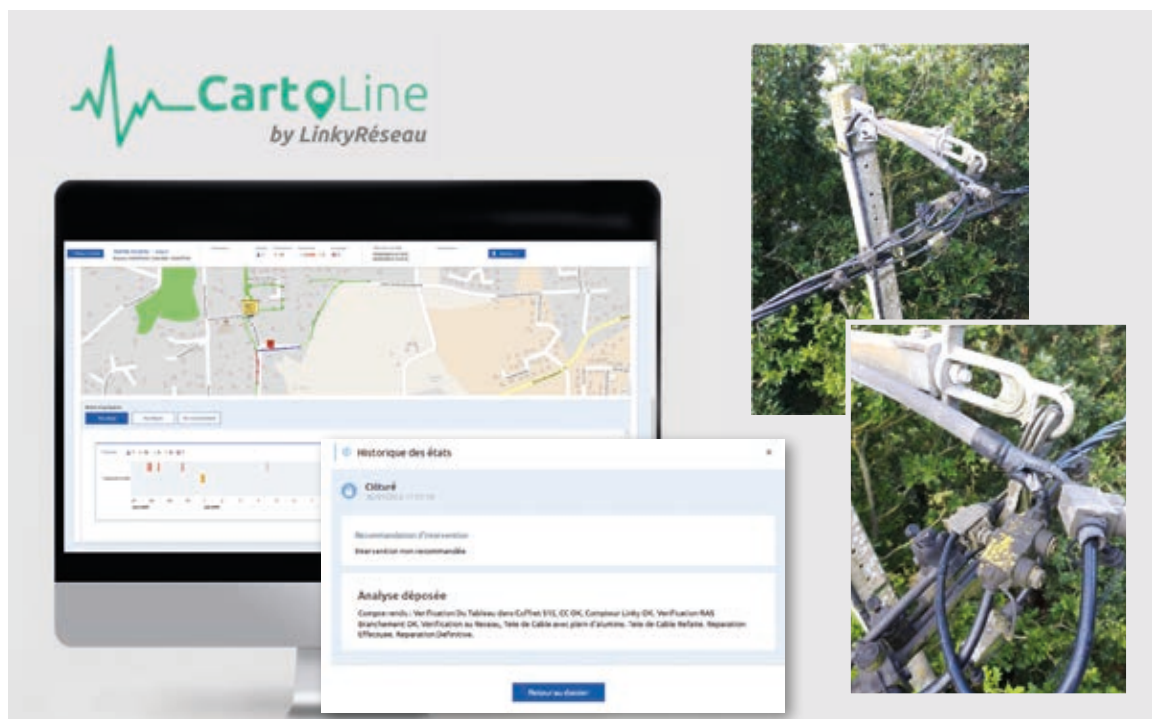
## Les objets connectés au service de la performance du réseau

Le développement des objets connectés a ouvert de nouvelles perspectives de performance du réseau électrique.

Avec de nouveaux capteurs, associés à des moyens de télécommunication à bas coût, de nouvelles informations enrichissent les processus métiers liés à l'exploitation, à la conduite, à la maintenance et au développement du réseau de distribution.

Des solutions ont été imaginées, développées et industrialisées, dans plusieurs domaines : diagnostic d'état des transformateurs de postes sources, exploitation du réseau - avec notamment des indicateurs de défaut communicants, des détecteurs d'inondation et des indicateurs d'état de parafoudre - et exploitation des groupes électrogènes.

Les données recueillies en temps réel permettent d'améliorer la réactivité des dépannages lors des incidents sur le réseau électrique et celles recueillies en temps différé alimentent des algorithmes permettant de cibler la maintenance.





# 7 Faire de la transformation numérique un véritable atout au service des ambitions d'Enedis



Avec 35 millions de compteurs Linky, 770.000 concentrateurs, bientôt 30.000 objets communicants connectés au réseau, 110.000 télécommandes, 63 jeux de données en Open Data, 22 millions de SMS envoyés à ses clients en 2020, des solutions à base d'Intelligence Artificielle déjà utilisées quotidiennement dans de nombreux process industriels et un tiers des projets de R&D du programme 2020 faisant appel à l'IA, Enedis a engagé la transformation numérique de ses activités.

Mais cette transformation ne fait que commencer.

La collecte, la transmission, le stockage et le traitement des données ainsi que leur sécurisation sont devenus des missions et des compétences centrales pour l'entreprise et nous devons anticiper les futures ruptures, accroître la résilience des SI au cœur d'un système désormais cyber-physique, faciliter les échanges avec les acteurs externes. Nous devons utiliser pleinement les solutions offertes par les progrès de l'intelligence artificielle. Nous devons aussi concevoir des solutions permettant de préserver la place de l'humain dans un monde numérique.

## Profilage dynamique au service du marché : une généralisation réussie

Le modèle de profilage dynamique, utilisé au service de l'équilibrage du système électrique pour déterminer les flux d'électricité au pas demi-horaire par Responsable d'Équilibre (RE), a été généralisé depuis le 4 juillet 2020 à la quasi-totalité des 37 millions de sites BT  $\leq$  36 kVA et à l'ensemble des processus de reconstitution des flux. Le profilage dynamique réduit d'un facteur 2 les incertitudes d'allocation d'énergie demi-horaire entre RE, ce qui peut représenter plusieurs GW.

Le service rendu "au marché" a par ailleurs été sensiblement amélioré en mettant en place au mois de mars 2020 une publication Open Data en J+1 des coefficients dynamiques du jour J, en anticipation des valeurs réglementaires calculées et publiées en S+1. En particulier, pendant la crise sanitaire, ces valeurs ont permis de faire des analyses réactives de mesure des effets de cette dernière sur les consommations d'électricité par grandes catégories de clientèle.

## Géodescrire : raconte-moi une histoire à partir de mes "data"

Une méthode et un prototype permettant de générer automatiquement un texte court décrivant les caractéristiques d'une zone géographique (maille IRIS) à partir d'un vivier d'informations disponibles ont été développés. Plus précisément, l'outil GeoDescriber génère un texte court résumant les caractéristiques principales de consommations résidentielles, de production annuelle et d'habitat d'une zone IRIS, en tenant compte de son voisinage et de son historique. Il s'agit d'un texte sur mesure et non d'un texte "à trous". Les textes générés sont en cours d'intégration pour enrichir les services de données proposés par Enedis aux collectivités et en particulier le service "Bilan de Mon Territoire".

## 5G : cas d'usage envisagés et travaux en cours

La technologie 5G est présentée comme l'un des piliers de l'usine du futur. Enedis a donc entrepris d'étudier son impact sur son activité. Pour ce faire, Enedis a établi un partenariat avec Orange, Nokia et Schneider Electric et initié dans ce cadre une démarche d'exploration et de définition des cas d'usages pertinents de la 5G pour les métiers du gestionnaire de réseaux de distribution électrique. Cette première étape sera suivie d'une expérimentation à Marseille, ville pilote 5G pour Orange et Nokia. En particulier, Enedis et ses partenaires évalueront les solutions 5G au service de la maintenance et de l'exploitation des réseaux ainsi que leur apport à la transition énergétique.

## CPL G3 : contribution à l'évolution des performances (environnement dense, profil hybride, avancées en normalisation ...)

Avec 35 millions de compteurs communicant en Courant Porteur en Ligne (CPL) fin 2021, Enedis se doit d'assurer l'évolution et la maintenance en condition opérationnelle pendant les 20 prochaines années de ce réseau télécom couvrant tout le territoire national. En prévision des futurs usages du système Linky, tractés par la transition énergétique, Enedis a travaillé à l'optimisation des performances du CPL dans des configurations denses, afin de garantir un niveau de fiabilité élevé et homogène sur l'ensemble des configurations électriques du territoire. Des travaux de recherche menés avec l'Alliance industrielle CPL-G3 et Grenoble INP ont permis de définir de nouveaux mécanismes permettant de réduire jusqu'à 90% le nombre de messages nécessaires au bon fonctionnement du réseau CPL dans des configurations urbaines denses. Pour sécuriser l'utilisation des bandes de fréquence CPL à long terme, les travaux de normalisation ont été prolongés, et un compromis international a été finalisé en octobre 2020 pour limiter les perturbations électromagnétiques produites par les appareils présents dans les installations résidentielles.

# Expérimenter dans le cadre des démonstrateurs smart grids







Pour aller au-delà des études et projets de recherche, il est nécessaire d'expérimenter les différentes solutions smart grids, en situation réelle, dans une approche système.

L'objectif du programme de démonstrateurs smart grids d'Enedis est d'intégrer ces résultats dans une vision globale du réseau du futur.

## DÉMONSTRATEURS FRANÇAIS

Les démonstrateurs sont répartis sur tout le territoire français afin de tester les différents contextes locaux possibles, un certain nombre d'entre eux étant soutenus par l'ADEME. Plus de cent partenaires, représentatifs de la diversité des parties prenantes concernées par le développement des smart grids, collaborent à ces différents projets.

Le tableau ci-dessous présente quelques exemples parmi la trentaine de démonstrateurs en cours.

| PROJET  | DURÉE         | DESCRIPTION   |
|---|---------------|---|
| <b>Autogreen</b>  | 2020 - 2028   | Test de réseau à courant continu dans un projet immobilier à haute qualité environnementale.  |
|    | 2019 - 2022   | Expérimentations des modèles d'activité du "smart charging".  |
|   | 2017 - 2022   | Optimisation du système électrique à une échelle locale par la gestion et l'utilisation des flexibilités.   |
| <b>SMAC</b>   | 2018 - 2022   | Établissement d'un synchronisme entre production EnR et mobilité électrique au périmètre de la Champagne-Ardenne.   |
|  | 2018 - 2020 ✓ | Accompagnement de la création d'un premier territoire 100% EnR d'ici 2021.  |
|  | 2017 - 2020 ✓ | Expérimentations de nouvelles solutions techniques et pédagogiques pour accompagner la transition énergétique dans les territoires ruraux de la région Occitanie. |




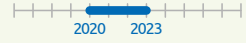

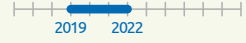





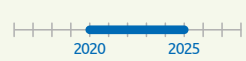


**Le projet aVEnir**, soutenu par l'ADEME et coordonné par Enedis, a pour objectif d'accompagner le développement à grande échelle de la mobilité électrique en expérimentant les interactions entre le réseau public de distribution d'électricité, les bornes de recharge et les véhicules électriques.

Il couvre les aspects technologiques, économiques, sociologiques, organisationnels et juridiques liés à l'insertion de véhicules électriques.

Dans le cadre de ce projet, Enedis a signé un accord de consortium avec 9 partenaires industriels et 2 partenaires académiques, représentant les métiers majeurs et les experts de la filière française de la mobilité électrique.

## DÉMONSTRATEURS EUROPÉENS

Enedis est impliquée dans plusieurs projets européens cofinancés par l'Union Européenne et en collaboration avec des partenaires internationaux, acteurs du marché de l'électricité ou des technologies de la communication et de l'information, start-up innovantes, organismes de recherche, universitaires...

| PROJET  | DURÉE   | DESCRIPTION   |
|---|---|---|
|    |    | Développement des technologies nécessaires pour répondre aux attentes des utilisateurs et des collectivités pour le déploiement de la mobilité électrique. Enedis participe notamment à l'expérimentation de la recharge inductive dynamique. |
|    |    | Raccordement d'installations de production renouvelable au réseau, dans le cadre de communautés énergétiques, en Europe et en Inde.   |
|    |    | Conception d'une architecture SI qui permette au système électrique européen de fonctionner comme un système unique dans lequel fonctionnent plusieurs marchés.   |
|  |  | Implémentation de solutions numériques interopérables permettant d'ajuster la consommation électrique des bâtiments en fonction des besoins du réseau électrique.   |
|  |  | Développement et test des solutions innovantes et intégrées pour contribuer au déploiement des "quartiers à énergie positive" en Europe d'ici 2050.   |
|  |  | Optimisation du système de distribution par la mise en place d'un smart grid transfrontalier (France/Allemagne) mobilisant les flexibilités fournies par le couplage multi-énergies et la recharge de véhicules électriques.                  |

### ONENET

Le projet OneNet s'inscrit dans le cadre de l'appel à projet européen H2020 sur le thème "TSO-DSO-Consumer", dont la finalité est de mener des démonstrations à grande échelle de services de réseau innovants tirant parti de la maîtrise de l'énergie, du stockage et de la production répartie, pour concevoir une architecture SI qui permette au système électrique

européen de fonctionner comme un système unique, dans lequel fonctionnent une variété de marchés.

Il regroupe un consortium de 72 partenaires, dont Enedis, qui est membre du Project Management Team. Le démonstrateur français du projet One-Net vise à coordonner l'utilisation des flexibilités entre Enedis et RTE et mettre en place un cadre de confiance entre les différentes parties prenantes via une solution blockchain.

# Des partenaires académiques

pour approfondir les sujets de pointe  
avec les meilleurs experts



Une dizaine d'universités et laboratoires de recherche ont été choisis pour l'excellence de leurs équipes dans le cadre d'une politique partenariale structurée.

#### Quelques exemples



#### Partenariat privilégié - Chaire SmartGrid

- Intégration des EnR et fonctionnement des réseaux
- Big Data pour les réseaux électriques
- Formations aux métiers des SmartGrid



- Modèles de prévision de consommation et application aux politiques énergétiques territoriales



- Insertion des véhicules électriques



#### Institut Interdisciplinaire d'Intelligence Artificielle de Grenoble - Chaire IA et énergie

- Robotisation de tâches complexes
- Traitement avancé de données du Distributeur



- Changement climatique



- Questions réglementaires et économiques



- Smart Territoires
- Labelisation des éco-quartiers



- Perspectives d'interactions hydrogène-réseaux électriques
- Simulations de microgrids

# L'Open Innovation à Enedis

## Enedis souhaite accélérer les processus de développement des nouvelles solutions.

C'est pourquoi, en complément de son dispositif de R&D et de démonstration, Enedis s'appuie depuis plusieurs années sur des start-up et des PME innovantes pour identifier et expérimenter de nouvelles solutions en vue d'améliorer la performance des différents métiers du distributeur, les outils de formation ou d'accompagnement en situation de travail, la sécurité des interventions, la relation clientèle...

L'agilité des partenaires, leur complémentarité de compétences avec les équipes d'Enedis et la stimulation de l'intelligence collective sont les points forts de cette démarche.



## UN PROCESSUS DE BOUT EN BOUT



### ...pour diagnostiquer le réseau HTA aérien

Chaque année, Enedis inspecte plus de 110 000 km de lignes soit presque trois fois le tour de la Terre. Les techniques d'analyses automatisées représentent donc pour Enedis une opportunité intéressante de gain de performance.

C'est pourquoi Enedis a évalué la maturité des solutions de détection d'anomalies sur le réseau HTA aérien avec l'appui de sociétés à la pointe de ces technologies au carrefour des sciences de la donnée, de l'informatique et de la robotique. À l'issue des expérimentations, les performances ont été jugées aptes à une utilisation opérationnelle pour l'appui au diagnostic et la rénovation programmée du réseau.



### ...pour améliorer la relation client

Grâce à l'utilisation de la plateforme de la start-up Datakeen, Enedis peut trier automatiquement des dizaines de milliers de verbatims clients en quelques clics.

Ainsi, le Service Relation Client est en mesure de connaître et mieux comprendre les problématiques clients, de définir des plans d'actions concrets et de les prioriser afin de mieux répondre aux attentes exprimées par les clients et ainsi mieux les servir.

## INTERVIEW

Kévin REGI, CEO de HMT



*Entreprise tarbaise et lauréate du concours start-up Enedis en 2018, l'entreprise HMT (Human Mechanical Technologies) a développé son exosquelette Plum' en partenariat avec Enedis, adapté aux opérateurs TST HTA pour leurs interventions de Travaux Sous Tension. Un projet made in France, réalisable grâce à la qualité des industriels de la région et de l'internalisation d'expertises chez HMT. Il y a actuellement 25 exosquelettes en fonctionnement chez Enedis.*

### Comment le projet a-t-il évolué depuis sa victoire au concours start-up en 2018 ?

Depuis 2018, grâce aux différents retours utilisateurs, nous avons pu ajuster l'exosquelette. Adapté à chaque morphologie, Plum' permet aujourd'hui de limiter les efforts physiques. Les différents points de vue nous ont poussé à améliorer notre produit : son poids a ainsi été réduit par trois depuis le premier prototype, faisant officiellement de Plum', l'exosquelette pour les travaux bras en hauteur le plus compact et léger du monde avec un poids de 1,6 kg.

### Qu'est-ce qui fait, selon vous, la spécificité de l'accompagnement d'Enedis ?

L'accompagnement d'Enedis se distingue par la disponibilité de nos différents interlocuteurs, que ce soit des responsables innovation dans les régions ou des techniciens des équipes Travaux Sous Tension. Les échanges réguliers avec Enedis nous ont permis d'adapter rapidement la solution aux besoins des techniciens.

La clé du succès de la réussite des projets pour les Équipements de Protection Individuelle (EPI) est l'acceptation des équipes du terrain. Enedis nous facilite la phase d'accoutumance des techniciens à notre exosquelette, ce qui explique notamment le succès de son déploiement.

Notre collaboration avec Enedis nous a permis non seulement d'améliorer Plum' pour l'ensemble de nos clients mais également de gagner en visibilité. Ces différentes opportunités et les échanges entre Enedis et nos équipes nous ont permis d'optimiser l'exosquelette et d'affirmer notre position sur le marché.



Enedis est une entreprise de service public, gestionnaire du réseau de distribution d'électricité. Elle développe, exploite, modernise le réseau électrique et gère les données associées. Elle réalise les raccordements, le dépannage 24h/24, 7j/7, le relevé des compteurs et toutes les interventions techniques. Enedis est indépendante des fournisseurs d'énergie qui sont chargés de la vente et de la gestion du contrat de fourniture d'électricité.

## Retrouvez-nous sur Internet



[enedis.fr](https://enedis.fr)



[enedis.officiel](https://www.facebook.com/enedis.officiel)



[@enedis](https://twitter.com/enedis)



[enedis.officiel](https://www.youtube.com/enedis.officiel)

**Enedis - Tour Enedis, 34 place des Corolles - 92079 Paris La Défense**

SA à directeur et à conseil de surveillance au capital de 270 037 000 euros - R.C.S. Nanterre 444 608 442