

Le site EDF Lab les Renardières, au cœur de l'innovation du groupe EDF

EDF Lab les Renardières est le centre de recherche et de développement du groupe EDF le plus étendu dans le monde. Depuis 1964, les 700 salariés du site consacrent leurs activités de recherche à tous les secteurs de l'électricité : production centralisée, énergies renouvelables, réseaux d'aujourd'hui et de demain, stockage, mobilité électrique, efficacité énergétique, usage de l'électricité dans l'habitat, dans l'industrie et dans la ville.

Situé en Seine-et-Marne, à une centaine de kilomètres de Paris, il dispose d'équipements et de moyens d'essais grandeur nature, dont certains uniques au monde, pour mener à bien des recherches expérimentales allant de l'étude de matériaux dédiés au nucléaire et aux énergies renouvelables, au renforcement du réseau

électrique actuel et de demain, en passant par le développement des usages électriques performants et bas carbone. Découvrez dès à présent quelques-uns de ces laboratoires exceptionnels.

1. PRÉPARER AUJOURD'HUI LES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES DE DEMAIN

Comment étudier les systèmes électriques de demain en les testant dès aujourd'hui ?

Les chercheurs de la R&D d'EDF ont trouvé la solution et ont imaginé Concept Grid, une plate-forme expérimentale unique représentant un véritable système électrique, du poste



source au client, destiné à anticiper et accompagner l'évolution des systèmes électriques vers les *smart grids*.

Connecté au réseau électrique ou en mode autonome, son architecture modulable permet de créer des configurations variées typiques des réseaux de distribution. Un ensemble de postes électriques permet l'alimentation de 7 kilomètres de réseau basse tension qu'il est possible d'interfacer avec un groupe tournant et un amplificateur de puissance, capable de fonctionner en source de tension pour les applications micro réseau. Couplé à un simulateur temps réel, l'amplificateur permet aussi de générer des scénarios de productions et de consommations complexes grâce à la méthodologie *Power Hardware In the Loop (PHIL)*.

En complément, des équipements réels permettent de réaliser des scénarios orientés vers les nouveaux usages : panneaux photovoltaïques du démonstrateur Agri-PV, éoliennes, électrolyseurs fabriquant de l'hydro-



EDF LAB LES RENARDIÈRES EN QUELQUES CHIFFRES

85 HECTARES

15 KM DE VOIRIE

3 DÉPARTEMENTS DE RECHERCHE

40 LABORATOIRES

1 INSTITUT INTERNATIONAL

700 POSTES DE TRAVAIL



©EDF

gène bas carbone, maisons témoins équipées, bornes de recharge de forte puissance pour véhicules électriques (jusqu'à 350 kW) et systèmes de stockage.

Ce moyen d'essais grandeur nature est bien sûr équipé de réseaux à fibres optiques et radio permettant l'utilisation de protocoles de communication divers. Il est notamment possible de tester des communications par courants porteurs en ligne (CPL) ou l'implémentation d'un contrôle-commande au standard CEI 61850. Il offre ainsi la possibilité de conduire, en toute sécurité, différents scénarios d'optimisation de réseau comme la reconfiguration automatique en cas de défaillance, l'intégration des énergies renouvelables, l'optimisation des périodes de pointe...

Parmi ses nombreux avantages, ce moyen d'essais permet en particulier de mener des tests complexes et en conditions perturbées qu'il serait impossible de réaliser sur le terrain, avec de véritables clients.



Le laboratoire Concept Grid, ouvert à l'externe, permet pour les acteurs des smart grids de « dérisquer » leur solution dans des conditions proches du terrain sans avoir les exigences propres à l'alimentation des clients. En interagissant avec l'ensemble des équipements du laboratoire, les tests permettent de valider l'intégration cohérente de solutions innovantes, garantissant ainsi leur fonctionnement dans un large choix de configurations. A ce titre, nous avons mené des campagnes de tests pour un grand nombre d'acteurs des smart grids : des industriels proposant des solutions innovantes, des utilisateurs désireux de valider l'intégration de ces solutions, des laboratoires d'essais internationaux ou dans le cadre de projets européens H2020. »

Etienne Toutain, Ingénieur chercheur et responsable du laboratoire Concept Grid



©EDF - Adrien Dasté

Comment s'assurer du bon fonctionnement des matériels électriques très haute tension ?

Grâce à la Station d'Essais Grande Puissance (SEGP), les équipes de la R&D d'EDF testent divers appareils et matériels constitutifs des réseaux électriques haute tension tels que les disjoncteurs, les transformateurs, les parafoudres et autres réducteurs de mesures ainsi que des accessoires de câbles sans oublier les nombreux prototypes d'appareils qui sont lancés sur le marché. Ces tests sont indispensables >

car en cas d'avarie, les conséquences peuvent présenter des risques importants pour la continuité de service ou pour la sécurité des personnes.

Le bâtiment, d'une trentaine de mètres de haut, d'un mètre d'épaisseur de béton armé et doté d'une capacité de 130 000 ampères, permet de réaliser ces tests parfois jusqu'à la destruction des équipements.

Pour les tests de court-circuit ou de défauts internes, une caméra *slow-motion* vient capter jusqu'à 1 000 images par seconde ce qui permet d'analyser des phénomènes physiques ultra rapides. Les données d'essais (essais d'arc sur un casque de protection par exemple, de parafoudre, de transformateurs de mesure ou de puissance) sont ensuite transférées par fibre optique vers les analyseurs numériques.

Ce moyen d'essai est piloté et supervisé par une équipe œuvrant dans la salle de commande, le cerveau de la SEGP, équipée de différentes caméras de surveillance permettant de couvrir les 4 hectares de l'installation. L'équipe en charge des essais supervise le contrôle des opérations d'essais et choisit également les bons appareils de mesure et les capteurs de courant ou de tension adaptés. Tous les membres de l'équipe sont dotés de compétences élevées car les mesures effectuées sont complexes et atypiques en raison des nombreuses contraintes d'essais.



A l'intérieur, toutes les contraintes des différentes sources d'énergie ont été réunies. Le matériel à tester est placé au centre de la salle puis on le raccorde aux différentes sources de courant et de tension visant à recréer des conditions identiques à celles que le matériel voit sur le réseau réel. »

Alexandre Zenerino, chef du groupe Essais de Puissance.



2. PARTICIPER AU DÉVELOPPEMENT DE LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

La mobilité électrique, meilleur levier pour décarboner le secteur du transport ?

Engagé depuis de nombreuses années aux côtés des constructeurs automobiles, des fabricants de batteries et de systèmes de recharge, le groupe EDF a été le premier électricien européen à soutenir le développement de la mobilité électrique.

Aujourd'hui, fort de sa conviction que la mobilité électrique est le meilleur levier de décarbonation du secteur du transport (38 % des émissions de CO₂ en France et 29 % des émissions totales de gaz à effet de serre), EDF amplifie son action et ambitionne d'être l'énergéticien leader de cet écosystème en Europe.

Les chercheurs du Groupe y travaillent depuis plusieurs dizaines d'années

avec une approche globale visant à l'efficacité énergétique des solutions proposées avec notamment :

- l'évaluation des performances et de la durée de vie des batteries.

- les essais des infrastructures de charge, pour qualifier tous types de solutions : des prises renforcées ou des coffrets de charge de faible puissance à domicile ou en copropriété, aux bornes de charge rapide en voirie, sur les sites industriels, les parkings ou sur les aires d'autoroute, jusqu'aux bornes de très forte puissance qui pourront alimenter les camions.

- l'élaboration d'algorithmes de pilotage intelligent de la charge pour contribuer à l'offre de *smart charging* et *Vehicle To Grid* (V2G) du groupe EDF.

- la participation aux travaux de normalisation et de standardisation pour s'assurer de la bonne communication entre les véhicules, les bornes et les supervisions, et pour garantir la fiabilité, la performance, la pertinence des



© EDF - Claire-Lise Havet

EDF AMPLIFIE SON ACTION ET AMBITIONNE D'ÊTRE L'ÉNERGÉTIEN LEADER DE CET ÉCOSYSTÈME EN EUROPE.

informations échangées en temps réel et la valeur des services proposés.

- l'analyse des usages du véhicule électrique et de ses bénéfices environnementaux et sanitaires.
- l'émergence du véhicule autonome.
- le développement de la mobilité hydrogène, avec notamment les piles à combustibles et les stations de charge pour différents types de véhicules.

La recharge de très forte puissance : enjeu clé de la mobilité électrique ?

Actuellement, les constructeurs et équipementiers automobiles développent la charge de « très forte puissance » ou *High Power Charge* (HPC) pouvant largement atteindre plusieurs centaines de kW afin de réduire sensiblement le temps de charge des véhicules électriques récents qui possèdent une batterie de forte capacité, un des principaux freins au développement de la mobilité électrique.

Néanmoins, la charge à très forte puissance implique des courants élevés (plusieurs centaines d'ampères) sous des tensions élevées (jusqu'à 1000 volts, voire 1 500 V dans un avenir proche) et nécessite de maîtriser le fonctionnement des convertisseurs, câbles, connecteurs et batteries des véhicules, mais aussi des équipements des réseaux auxquels ils sont raccordés.



© EDF - Adrien Dasté

IL EST POSSIBLE DE TESTER LE FONCTIONNEMENT SIMULTANÉ DE PLUSIEURS SATELLITES DE CHARGE DE FORTE PUISSANCE.

Afin de répondre aux nombreux challenges de la HPC, les équipes de la R&D d'EDF ont mis en service un nouveau moyen d'essais dédié à la recharge de forte puissance adossé à l'actuel laboratoire mobilité électrique. Il est en mesure d'accueillir des véhicules de toutes tailles (y compris bus, camion, véhicule spécifique...) et dispose de la puissance électrique nécessaire pour tester des systèmes de charge de forte capacité ou des véhicules dans de bonnes conditions et en toute sécurité. Concrètement, il est composé de deux plates-formes de test dédiées :

- une plate-forme intérieure, pour essais unitaires jusqu'à 500 kW en conditions contrôlées permettant une évaluation multicritères des matériels : rendement, fiabilité, durée de vie, sécurité, ergonomie, pilotabilité, résilience...
- une plate-forme extérieure, reconfigurable et connectée au moyen d'essais Concept Grid permettant de tester des stations de charge de puissance totale jusqu'à 1,6 MW. Il est possible de tester le fonctionnement simultané de plusieurs satellites de charge de forte puissance (50 à 350 kW actuellement) et d'évaluer des scénarios de pilotage dynamique entre les points de charge. Cette plateforme dispose de demeures de stations de recharge HPC 350 kW (deux satellites) configurables et pilotables, ainsi que d'un système de stockage 160 kW/160 kWh modulable permettant de tester des scénarios de limitation de la puissance électrique, d'étudier leur couplage au réseau et leur interaction avec d'autres équipements ou des moyens de production et de stockage locaux sur le réseau.



Créé pour répondre aux besoins des différentes entités et filiales du groupe EDF concernées par la recharge très forte puissance, ce moyen d'essais permet de :

- tester les performances et la fiabilité des matériels de charge forte puissance ;
- tester le comportement de véhicules électriques à ces niveaux de puissance ;
- optimiser les stratégies de pilotage de stations de charge de puissance élevée en fonctionnement simultané ;
- faciliter l'insertion des stations de charge forte puissance dans le réseau électrique, étudier leur couplage au réseau et leur interaction avec d'autres équipements ou des moyens de production et de stockage locaux sur le réseau.

Ce moyen d'essais unique est également accessible à des partenaires externes (constructeurs automobiles ou équipementiers notamment) intéressés par l'accès à la forte puissance et à l'expertise du groupe, contribuant ainsi à positionner EDF comme un acteur incontournable de la mobilité électrique en Europe.

“ Les progrès sur les performances des véhicules électriques et des infrastructures de charge ont été spectaculaires ces dernières années. Les travaux d'EDF R&D contribuent à améliorer l'expérience utilisateur et à démocratiser la mobilité décarbonée pour tous. »

Thierry Brincourt, expert
Mobilité électrique



©EDF — Adrien Dasté

3. IMAGINER UN NOUVEAU CONCEPT D'AGRICULTURE POUR DEMAIN

Comment associer une production d'électricité photovoltaïque et une production agricole sur une même surface ?

L'agri-voltaïque ou Agri-PV est un concept de culture qui désigne l'association d'une production d'électricité photovoltaïque et une production agricole sur une même surface et ainsi le partage de la lumière entre ces deux types de production.

Pour répondre aux enjeux du Plan Solaire du groupe EDF, qui prévoit le développement et la construction de 30 GW de solaire photovoltaïque en France d'ici 2035, l'identification de surfaces aptes à accueillir de nouvelles installations PV devient primor-

diale. Pour identifier le potentiel de développement d'installation de type agri-voltaïsme, il est important d'évaluer les avantages pour l'exploitation agricole d'une cohabitation avec une installation photovoltaïque, comme la limitation de l'évapotranspiration et les économies d'eau d'irrigation.

Le démonstrateur, visible dès l'arrivée sur le site EDF Lab les Renardières, est constitué d'une centrale photovoltaïque installée à une hauteur d'environ 5 mètres (pour laisser passer les engins agricoles) sur une structure composée de poteaux tendus par des câbles et haubanés.

Les panneaux PV sont montés sur un système de tracking 2-axes permettant d'orienter les panneaux dans quasiment toutes les directions et représentent une puissance installée d'environ 115 kWc. La production électrique produite par ce démonstra-

teur est injectée sur le moyen d'essai Concept Grid (cf. paragraphe précédent).

La surface sous panneaux, d'environ 1700 m² est exploitée par un agriculteur local. Une surface témoin sans structure PV est située à proximité du démonstrateur (même composition de sol, culture et exploitant) pour permettre une comparaison de rendement agricole suivie par l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) via un partenariat dédié.

Des rotations de culture sont prévues sur plusieurs années pour tester la compatibilité plantes / photovoltaïque, avec une analyse d'impact sur le productible PV et la production agricole pendant chaque cycle. Pour la première année c'est de la luzerne, plante fourragère qui a été semée sur le démonstrateur.

En septembre 2020, lors de la dernière des trois récoltes, nous avons pu observer une biomasse bien plus importante, des tiges bien plus longues et des feuilles plus grandes dans la zone abritée sous les panneaux que sur la zone témoin. La luzerne a vraisemblablement apprécié la protection des panneaux solaires durant l'été, qui fut chaud et sec. Les enseignements issus du suivi de la croissance et des récoltes de cette espèce fourragère nous permettront de mieux comprendre le fonctionnement de dispositifs Agri-PV.

Les résultats sont encourageants et un autre démonstrateur est prévu sur des vignes.

« Pendant cette période de sécheresse, nos plantes ont bien mieux poussé à l'ombre de nos panneaux photovoltaïques (qu'en plein champ) »
Mike Van Iseghem, ingénieur chercheur





4. INNOVER POUR LES CENTRALES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Comment innover pour optimiser la maintenance du parc de production en exploitation ?

D'une taille sans précédent dans le monde pour un objet de recherche, le moyen d'essai VERCORS - VERification Réaliste du Confinement des réacteurs - est une maquette d'enceinte double paroi à l'échelle 1/3 construite sur le site d'EDF Lab les Renardières. D'une hauteur de 30 mètres avec un diamètre de 16 mètres, composée de 5 000 tonnes de béton, cette maquette « vieillit » neuf fois plus vite qu'un bâtiment réacteur réel.

Ainsi, VERCORS étudie les effets du vieillissement des enceintes et prépare l'avenir du parc nucléaire en exploitation en toute sûreté.

Grâce à sa taille unique au monde pour un objet de recherche, le moyen d'essai VERCORS permet d'appréhender en accéléré le comportement du béton de l'enceinte.

Ses 700 capteurs et 2 km de fibre optique permettent de mesurer la température, la déformation ou encore la teneur en eau du béton. Des milliers de données, collectées en temps réel, permettront de mieux comprendre comment le matériau, intégré à la structure complète, évolue au fil du temps.

24 des 56 réacteurs du groupe EDF possèdent une enceinte dite « double paroi ». Ces enceintes constituent la dernière barrière de confinement. Elles doivent respecter tout au long de la vie de la centrale une double fonction de résistance mécanique et d'étanchéité.

Cette étanchéité est garantie par une enceinte interne en béton précontraint et un système de filtrage de l'air de l'espace entre-enceinte. Le béton qui constitue les enceintes, matériau courant et simple d'apparence, est en réalité un produit composite, dont la maturation et les propriétés évoluent pendant de longues années en particulier en raison de son séchage.

Dans le cadre des études menées pour l'amélioration continue de la sûreté et le prolongement de la durée de fonctionne-

VERCORS ÉTUDIE LES EFFETS DU VIEILLISSEMENT DES ENCEINTES ET PRÉPARE L'AVENIR DU PARC NUCLÉAIRE EN EXPLOITATION EN TOUTE SÛRETÉ.

ment des centrales du groupe EDF, il est nécessaire d'améliorer les connaissances sur le vieillissement de ces enceintes.

À l'image des enceintes réelles, pour lesquelles EDF justifie l'étanchéité au cours des épreuves faites sur un rythme décennal, la maquette subit annuellement des épreuves de mise en pression qui mobilisent les mêmes intervenants que sur le parc en exploitation. Du fait de l'accélération du vieillissement sur la maquette, 1 an de VERCORS représente 10 ans pour une enceinte réelle. Les mesures de fuite locale réalisées lors des épreuves permettent à EDF de mieux comprendre le cheminement des fuites dans la paroi de béton précontraint, et de mettre au point un modèle de fuite dont la finalité est l'optimisation des revêtements d'étanchéité à installer sur le parc.

Afin d'optimiser ces travaux, un important programme de recherche est en cours, le projet VERCORS est la pierre angulaire de la stratégie de compréhension et de modélisation de la fuite des enceintes. Il a permis l'émergence d'un premier jumeau numérique d'un ouvrage de génie-civil, dont le principe sera déployé aux enceintes du parc de production d'EDF, afin de permettre la réalisation aisée et avec un haut niveau de qualité des études de fuite pour les enceintes du parc.

Le modèle de fuite développé autour de VERCORS et son jumeau numérique a été utilisé pour proposer une stratégie optimale de revêtement de l'enceinte d'une centrale française en 2019. La maquette et son jumeau numérique sont utilisés pour proposer les straté-

gies de revêtement optimales pour les enceintes qui font l'objet de travaux d'amélioration de l'étanchéité depuis 2018. Le modèle est actuellement amélioré afin de proposer des prédictions de fuite affinées pour d'autres centrales nucléaires du parc français.

Les résultats du modèle participent à la sécurisation du planning de l'intervention de pose des revêtements, en proposant un ordre de priorité pour l'application des revêtements afin de garantir la réussite de l'épreuve tout en optimisant le temps d'installation des revêtements et le coût associé. D'importants travaux d'amélioration de l'étanchéité ont déjà été réalisés sur la face interne et externe de plusieurs enceintes.

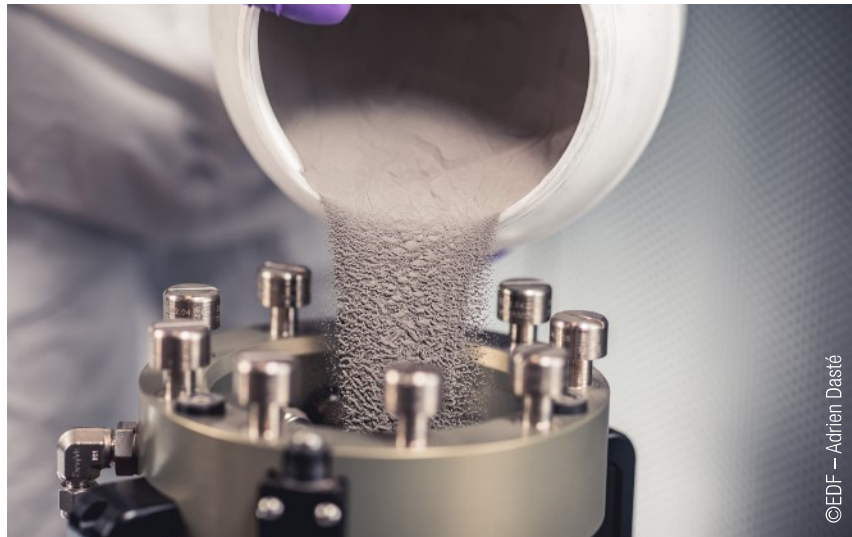
Cet outil assurera également la capitalisation de l'ensemble des résultats et données utiles à l'étude du comportement des ouvrages. Grâce aux capteurs dont est équipée la maquette physique de VERCORS, son jumeau numérique se nourrit des mesures réalisées en continu sur la maquette et permet ainsi de réaliser des études prédictives particulièrement précises.

“ La maquette VERCORS est un projet structurant pour la R&D, l'ingénierie nucléaire et du parc nucléaire français. Ce projet contribue à démontrer la sûreté et la robustesse de la dernière barrière de confinement des réacteurs. »

Laurent Charpin, chef de projet vieillissement des structures du génie civil du nucléaire.

Utilisée dans les domaines aéronautique et naval, la technologie Cold Spray peut-elle révolutionner la réparation et la fabrication additive ?

Plus communément appelée « impression 3D », la fabrication additive propose des procédés innovants de fabri-



©EDF – Adrien Dasté

cation et de réparation pour les composants. En plein essor dans l'industrie, cette technologie vient révolutionner les modes de production et permet de conforter le positionnement d'EDF d'acteur majeur dans ce domaine.

A la R&D d'EDF, les chercheurs étudient l'apport de ces nouveaux procédés dans les activités du Groupe. L'objectif réside notamment dans la démonstration de l'applicabilité et la qualification de la performance de ces procédés pour la fabrication et la réparation de ses composants nucléaires.

Pour ce faire, le site EDF Lab les Renardières a inauguré un nouveau laboratoire, Cold Spray. Il s'agit d'un procédé de métallisation à froid : des poudres métalliques sont projetées à vitesse très élevée par un gaz sous pression (jusqu'à 50 bar et 1 100°) sur la pièce neuve ou à réparer, la force de l'impact assurant la qualité du dépôt.

Cette nouvelle technologie permet de réparer des composants dans des conditions optimisées. Initialement dédiée à la réalisation de revêtements de différentes natures (métalliques, composites à matrice métallique, polymères...) sur tous types de surfaces, la robotisation du procédé offre la possibilité de réaliser des trajectoires complexes permettant de s'adapter aux exigences de la réparation et donc à la fabrication de composants.

La simplicité de mise en œuvre du Cold Spray le rend robuste, et facilement manœuvrable, permettant ainsi la réalisation d'opérations in-situ, un avantage indéniable par rapport à d'autres procédés d'exploitation plus complexe.

De plus, Cold Spray est l'un des rares procédés à pouvoir se targuer de satisfaire le triplet : rapidité de mise en œuvre et d'ajout de matière (jusqu'à plusieurs kg/h), génération de matériaux innovants inaccessibles par d'autres techniques et cela à coûts contrôlés et enfin une performance notable en terme de rendement de déposition, ce qui en fait un procédé relativement économe en matière.

“ Innovant, le Cold Spray répond à des problématiques majeures de la production : pour la maintenance et la disponibilité des installations de production d'EDF et contribue à lever des verrous technologiques liés à la qualité de fabrication et au comportement en service de certains équipements. »

Gilles Rolland, ingénieur chercheur

Pour en savoir plus sur les activités de la R&D d'EDF, rendez-vous sur www.edf.fr/recherche