



Le réseau
de transport
d'électricité



BILAN R&D

2020



01—FAITS MARQUANTS 2020	4
1.1 Premiers essais du Diridrone avec caméras haute définition sur ligne RTE: une première mondiale!	5
1.2 La R&D et le CNES expérimentent un nouvel outil pour mieux gérer les incertitudes de flux à la frontière France-Espagne	7
1.3 Pour répondre aux enjeux de l'intégration des énergies renouvelables	9
1.4 Une nouvelle gamme d'outils de simulation électro-technique, en route vers les centres d'Exploitation	10
1.5 OSMOSE: une étape vers l'exploitation sécurisée du système électrique avec une forte pénétration d'ENR	12
1.6 Le projet européen PROMOTioN démontre la maturité des technologies pour des réseaux maillés à courant-continu off-shore et prône un démonstrateur grandeur réelle en mer	15
1.7 Activités de R&D reportées ou interrompues en 2020	17
02—PARTENARIATS 2020	18
2.1 Pour répondre aux enjeux d'une numérisation ouverte et souple RTE s'engage dans un consortium industriel proposé par l'IRT SystemX	19
2.2 Pour répondre aux enjeux environnementaux	21
2.3 Pour répondre aux enjeux de l'intégration des énergies renouvelables	24
03—PRATIQUE DES CHALLENGES OUVERTS POUR STIMULER L'INNOVATION!	27
3.1 RTE présente les résultats de la compétition « Learning to run a power network in a sustainable world » lors de la conférence NeurIPS 2020	28
04—TAUX DE RÉALISATION DES JALONS-CIBLES 2020	30
05—REVUE DES JALONS-CIBLES 2020	32
5.1 Évolution de l'infrastructure du réseau	33
5.2 Gestion des actifs	35
5.3 Environnement et société	37
5.4 Fonctionnement et exploitation	39
5.5 Prospective, marche et transition énergétique	41





Faits marquants



En 2020, des résultats majeurs ont été obtenus par les projets R&D : certains concernent des challenges techniques relevés permettant de poursuivre les études, d'autres conduisent à des déploiements opérationnels de solutions.

1.1 PREMIERS ESSAIS DU DIRIDRONE AVEC CAMÉRAS HAUTE DÉFINITION SUR LIGNE RTE: UNE PREMIÈRE MONDIALE!

Du 12 au 15 octobre 2020 se sont déroulés les premiers essais du Diridrone (dirigeable-drone) muni de sa charge utile en mode automatique (plan de vol pré-programmé, le télépilote n'agit pendant le vol que sur alarme).

Le Diridrone est un prototype de drone développé au travers d'un partenariat entre RTE et CNIM Air-Space. Sa technologie de type ballon dirigeable lui permet de répondre aux besoins spécifiques de RTE: franchissement de grandes distances (plusieurs dizaines de km), emport de fortes charges utiles (environ 10 Kg) et vitesse faible (entre 0 et 50 km/h) permettant des captations de données dans les meilleures conditions.

L'intérêt d'un tel système est de pouvoir automatiser les inspections actuellement réalisées par hélicoptère et de répondre à de nouveaux besoins comme la comparaison automatique de données d'années en années, pour suivre précisément le vieillissement des ouvrages par exemple.

Par ailleurs, l'inspection automatique permet de profiter des performances élevées et en progrès constants des différents systèmes de captation.

Après plusieurs années de développement et de tests dans un environnement contrôlé (base aérienne), les 1ers tests en conditions réelles ont pu avoir lieu en octobre à proximité de lignes électriques aériennes (site 400-225 kV du Breuil, GMR Massif Central Ouest situé à 1h de Brive la Gaillarde), dans un premier temps sans charge utile afin de valider le comportement du drone dans de telles conditions et de prendre en main la machine. Après la réussite de ces étapes le drone a été équipé de sa charge utile (LIDAR puis caméras hautes définition) les 14 et 15 octobre 2020.

Si le LIDAR est une technologie que RTE commence à maîtriser (bien que récente, les LIDAR sont embarqués sur certains hélicoptères de surveillance du STH ainsi que sur des drones), la captation automatique de photos est quant à elle encore au stade du prototype. Il s'agit d'embarquer 2 caméras haute définition (capteurs de 64 Mpix) associées à des objectifs de 100 mm pour permettre de détecter des défauts de l'ordre du mm à des distances de 30 à 50 mètres. Le tout est piloté par un système automatique de tracking permettant d'orienter les caméras vers les câbles quelles que soient la vitesse et la position du drone par rapport à la ligne.



Figure 1- Photo du Diridrone en vol



Figure 2- Décollage du Diridrone



Figure 3- Début d'inspection automatique
Pas de risque d'amorçage: le drone se situe à plusieurs dizaines de mètres des câbles



Figure 4- La charge utile: 2 caméras + système de tracking



Les résultats sont concluants dans la mesure où le système a permis d'orienter à tout moment les caméras dans la position voulue, et où les photos prises sont d'excellente qualité: exploitables par les algorithmes de détection développés dans le cadre du projet AIR (Automatisation de l'Inspection du Réseau).

Ces réussites n'auraient pas pu avoir lieu sans l'implication de toutes les équipes mobilisées sur ce projet aux côtés de la R&D, notamment le CNER STH ainsi que nos partenaires CNIM Air-Space qui a développé le drone, et INPIXAL: en charge de la conception du système de tracking des caméras.

ET LA SUITE ?

Poursuivre le développement du Diridrone, en particulier en l'équipant d'une génératrice thermique lui permettant d'augmenter son autonomie, et effectuer de nouveaux vols de tests en 2021. À titre de comparaison, la consommation en carburant du Diridrone est environ 55 fois moins importante que celle d'un hélicoptère.

1.2 LA R&D ET LE CNES EXPÉRIMENTENT UN NOUVEL OUTIL POUR MIEUX GÉRER LES INCERTITUDES DE FLUX À LA FRONTIÈRE FRANCE-ESPAGNE

LA FRONTIÈRE FRANCE-ESPAGNE : UNE INTERCONNEXION DE PLUS EN PLUS DIFFICILE À EXPLOITER

La démarche R&D Apogée expérimente sur cette zone depuis 2019 avec le CNES (Centre National d'Exploitation du Système électrique) un module d'aide à la décision permettant d'évaluer la robustesse des schémas d'exploitation en anticipation et en temps réel.

Cette expérimentation, réalisée sur l'interconnexion France-Espagne, s'inscrit dans un contexte d'exploitation qui évolue fortement depuis plusieurs années. Les données de production et de consommation dans la zone sont susceptibles de varier de plus en plus rapidement dans le temps et avec une plus grande amplitude :

- Les déséquilibres entre production et consommation en Espagne et au Portugal, amplifiés par l'essor croissant des énergies renouvelables, sont corrigés par le réglage primaire de fréquence européen, ce qui entraîne des fluctuations importantes autour des échanges programmés. Comme cette zone est une péninsule, toutes ces variations sont reportées sur les 6 lignes d'interconnexion.

- La péninsule ibérique a intégré l'IGCC en octobre 2020 (International Grid Control Cooperation), c'est-à-dire la mutualisation des réserves secondaires fréquence-puissance entre les pays de la zone synchrone, dont la contrepartie sera vraisemblablement une hausse accrue de la volatilité des échanges.
- De nombreux producteurs d'énergie renouvelable dans le nord-est et le nord-ouest de l'Espagne occasionnent des fluctuations de transit entre l'est et l'ouest de la frontière qui peuvent être amples et rapides.

De plus, le peu de données, à la fois historiques et prévisionnelles, disponibles côté espagnol rend difficile pour RTE l'anticipation de la répartition est-ouest des flux et des écarts à l'échange programmé. Enfin, une aciérie du pays basque, peut démarrer ou s'arrêter à tout instant, ce qui constitue une incertitude de l'ordre de 100 MW sur la puissance injectée à l'endroit de raccordement.



Figure 5- L'interconnexion France-Espagne
Six liaisons, deux axes principaux, l'un tout à l'ouest et l'autre tout à l'est

Pour toutes ces raisons, la zone frontalière a été retenue comme cas d'étude pour expérimenter un module d'aide à la décision qui se base sur un optimiseur dit «worst case» (ou «pire des cas») développé par la R&D.

**UN AXE DE RECHERCHE DANS APOGEE :
LA PRISE EN COMPTE D'INCERTITUDES SUR
LES INJECTIONS DANS LES ÉTUDES DE RÉSEAU
VIA UNE APPROCHE « WORST CASE »**

En toute rigueur, dans un tel contexte, les études de réseau proches du temps réel devraient être réalisées en considérant un grand nombre de variantes sur les productions, les consommations et les échanges aux frontières. Cependant, ce travail serait largement chronophage s'il devait être systématique. Le choix des variantes à étudier est une étape délicate faite aujourd'hui à dire d'expert et la combinatoire est telle qu'une approche de Monte Carlo (à base de tirages aléatoires d'un grand nombre de variantes pour couvrir l'espace des possibles) n'est pas réellement une option à ces échéances.

Une autre approche consiste à repérer la ligne «mailion faible» de la zone d'étude puis à exhiber la configuration (consommation, échange, production EnR) la plus défavorable, c'est-à-dire celle qui est susceptible de créer la surcharge la plus profonde sur cette ligne, grâce à l'optimiseur «worst case». Dès lors, il s'agit de s'assurer que ce «pire cas pouvant être rencontré» peut être correctement géré. Cet optimiseur a été initié dans le cadre du projet européen iTesla (2012-2016) et continue d'être amélioré par la R&D de RTE et ses partenaires (université d'Aachen).

UN PROTOTYPE DÉJÀ EN SERVICE

Un premier prototype exploitant l'optimiseur «worst case» a été mis en service en 2019 dans le but de quantifier le stress d'échange que peut absorber la frontière par rapport à la valeur programmée. Cette première version du prototype avait surtout pour vocation d'être évaluée par le CNES en «back office». Fin 2020, l'entrée du Portugal et de l'Espagne dans l'IGCC rend la finalité plus directement opérationnelle. Le CNES, qui avait accueilli avec satisfaction la première version du prototype, a décidé de s'appuyer sur une deuxième version mise à disposition en salle de quart pour anticiper les contraintes liées à IGCC en N (sans prise en compte des défauts potentiels) à la frontière entre la France et l'Espagne.

Si jamais le prototype met en évidence que le réseau est peu robuste face à une variation de l'échange, alors le CNES pourra être amené à imposer des limitations à IGCC. Une consigne opérationnelle a été élaborée en ce sens.

Concrètement, l'opérateur reçoit une notification lorsqu'une action de sa part sur IGCC est nécessaire via une interface dite d'«hypervision» (voir figure 6). Cette interface a vocation à ne donner que le bon niveau d'information à la bonne personne au bon moment. Elle est basée sur «OperatorFabric», qui gère le système de notifications, logiciel open source développé initialement par RTE et à présent hébergé au sein de la Linux Fondation for Energy. Si besoin, l'opérateur peut consulter une interface, dite de «supervision», présentant les résultats de manière plus détaillée (voir Figure 7).

ET LA SUITE ?

Le prototype mis en service actuellement évalue la robustesse en N du réseau à la frontière France-Espagne vis-à-vis des fluctuations sur les productions et consommations. Les prochains travaux viseront à compléter cet outil en incorporant des sorties de calcul concernant un petit nombre de défauts N-1 judicieusement choisis, de sorte à pouvoir quantifier la robustesse du réseau en regard à la fois de pertes d'ouvrages et de fluctuations rapides au niveau des productions et consommations.

Si tout va bien, l'expérimentation sera clôturée mi-2021. L'étape suivante sera l'industrialisation du prototype, pour en faire une des briques du futur assistant informatique pour les opérateurs des salles H24 d'Exploitation du Système Electrique.

FAITS MARQUANTS

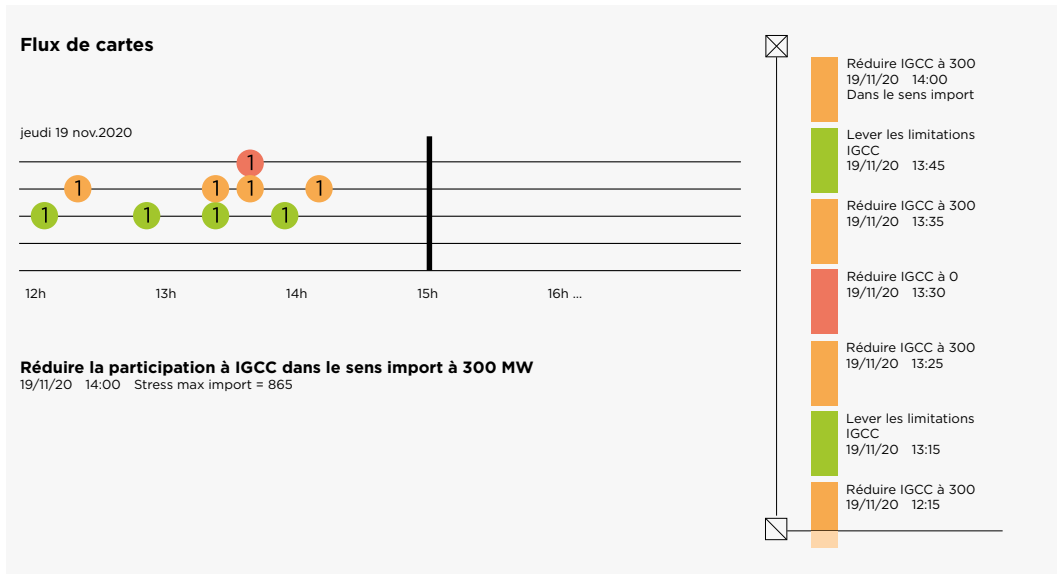


Figure 6 - Interface synthétique d'hypervision

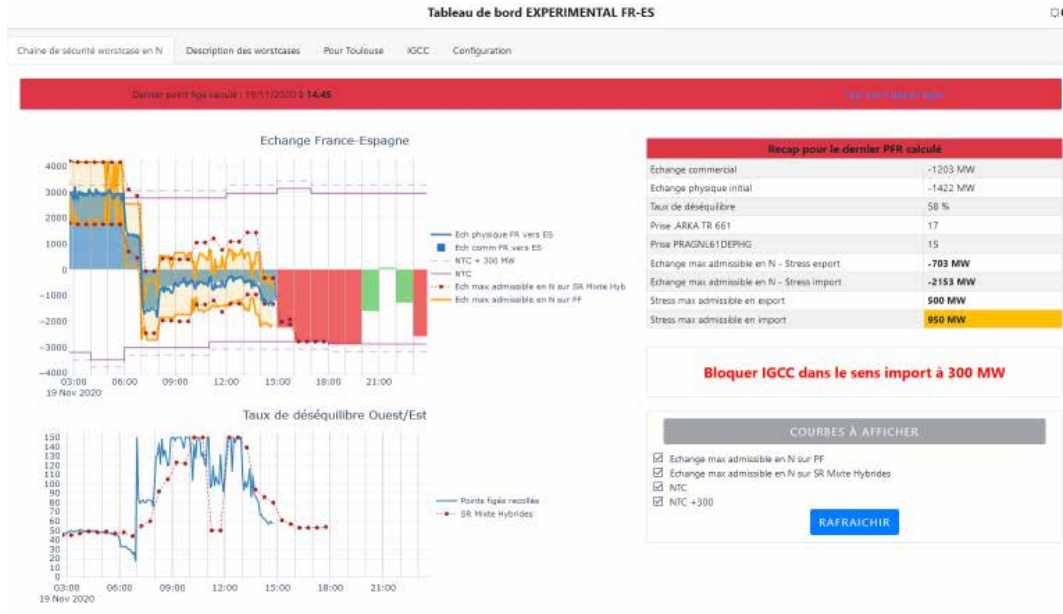


Figure 7 - Interface détaillée de supervision

1.3 DES RÉSULTATS ENCOURAGEANTS SUR LA COHABITATION ENTRE LES CÂBLES ÉLECTRIQUES SOUS-MARINS ET LA BIODIVERSITÉ!

2020 sonne la fin du projet SPECIES¹ (Submarine PowEr Cables Interactions with Environment & associated Surveys) coordonné par France Energies Marines. C'est aussi la reconnaissance par les scientifiques de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité avec le prix jeune chercheur financé par RTE de la thèse de doctorat intitulée « Impacts potentiels des câbles électriques sous-marins des projets d'énergies marines renouvelables sur les écosystèmes benthiques » à l'université de Bretagne-Loire dans le cadre du projet [SPECIES](#).

La thèse portait sur les impacts potentiels des câbles électriques sous-marins sur les écosystèmes des fonds marins côtiers. À l'aide de vidéos et de photographies prises en plongée, le chercheur a pu déterminer les espèces qui vivent sur et autour des câbles ainsi que sur leurs structures de protection. **Grâce à une expérience réalisée en laboratoire, il a été aussi montré que de jeunes homards exposés à des puissances croissantes de champs magnétiques, ne modifient pas leurs comportements. Un résultat encourageant!**

Ce projet, parmi une dizaine d'autres financés par la R&D de RTE, vise à acquérir des connaissances scientifiques pour prendre en compte la biodiversité et les activités humaines qui lui sont liées dans le cycle de vie des raccordements électriques sous-marins et des postes en mer. Un enjeu fort dans un contexte de changement climatique et de transition énergétique.



Figure 8- IFREMER-câble du site de Paimpol-Bréhat © Olivier Dugorna

1.4 UNE NOUVELLE GAMME D'OUTILS DE SIMULATION ÉLECTRO-TECHNIQUE, EN ROUTE VERS LES CENTRES D'EXPLOITATION

DE L'APPROCHE R&D « DYNAWO » AU PROJET INDUSTRIEL « SIMULATEURS » : CAPITALISER SUR UNE APPROCHE GAGNANTE POUR RÉPONDRE AUX ÉVOLUTIONS DU SYSTÈME

Le système électrique évolue, et ce dans des proportions et à une vitesse jamais vues dans les trente dernières années: automates, batteries, stations de conversion HVDC, mobilité électrique, EnR... Les outils de simulation pour les études de réseau, dont le but est de déterminer du mieux possible le comportement du système électrique, doivent eux aussi évoluer pour continuer à remplir leur mission car les outils actuels atteignent leurs limites et ne peuvent répondre adéquatement aux évolutions de réseau²: « donner les meilleurs résultats possibles dans des délais raisonnables, et notamment en situation tendue, pour faciliter les prises de décision et assurer la sûreté du système électrique ».

La multiplication des interactions temporelles³, la complexification des contrôles ou encore la nécessité de transparence vis-à-vis du monde extérieur constituaient déjà **des moteurs forts du lancement à la R&D de l'approche « Dynawo »** visant au renouvellement des outils de stabilité dynamique. L'accélération de ces problématiques, associée à la qualité atteinte sur le cœur de « Dynawo », a abouti au projet « Simulateurs », qui a été lancé en 2020 pour une durée de 4 ans. Son objectif est **simple mais ambitieux: renouveler toute la gamme d'outils de simulation** utilisés quotidiennement à RTE par des centaines d'utilisateurs, du calcul d'état d'équilibre (réalisé par des « load flow » aujourd'hui avec Hades2) aux dynamiques très rapides (quasi-EMT⁴) en passant par les calculs de courant de court-circuits (Courcirc); tout ceci en s'appuyant sur une approche unique.

(1) Ce travail a bénéficié d'une aide de France Energies Marines et de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'Avenir.

(2) Par exemple, l'outil Courcirc utilisé pour les calculs de courant de court-circuit a été réfléchi pour un réseau avec des machines synchrones ce qui n'est plus le cas aujourd'hui. Plus de détails dans la DE Simulateurs.

(3) Interdépendances entre la fréquence et la tension ou entre les réglages.

(4) EMT: Régime transitoire électromagnétique, qui considère la propagation de l'onde électrique dans les conducteurs.

Cette approche peut se résumer en deux grands principes :

1. Maintenir une séparation stricte entre la modélisation du système et la résolution des équations.
2. Utiliser un langage générique pour la modélisation du système (en l'occurrence le langage open-source

Modelica). Elle permet de fournir des outils **flexibles** (facilité à implémenter et ajouter de nouveaux modèles, ou de nouvelles méthodes numériques), **transparents** (facilité à lire et interpréter les modèles, langage et outil open-source), **robustes et à la pointe de l'innovation** (utilisation de technologies et de briques externes validées).

	DynaFlow	DynaSym	DynaWaltz	DynaSwing	DynaWave
	v	v	v	v	
Simulateurs	État d'équilibre	Court-circuit	Dynamique lente (s)	Stabilité transitoire	EMT
	Objets de haut niveau & interfaces normalisées				
Compilateur	Compilateur unique v				
Niveau de modélisation	Modélisation commune pour les objets à comportement dynamique "lent"				
	Modélisation statique	Modélisation triphasée simplifiée	Modélisateur phaseur		Modélisation EMT
Résolution numérique	Solveur P1	Solveur P2	Solveur P3	Solveur P4	Solveur P5

Figure 9 - Une suite d'outils de simulations basée sur Modelica

DES PROMESSES ET SURTOUT DES ACTES: UNE EXPÉRIMENTATION POUR LES ÉTUDES DE DYNAMIQUE LENTE QUI DÉBUTE... PRÉLUDE À UN PASSAGE EN OPÉRATIONNEL PROCHE.

En effet, **une réunion de lancement de l'expérimentation pour les études de dynamique lente (remplacement de l'outil actuel Astre) a eu lieu en octobre** : ce fut l'occasion de présenter les actions retenues pour valider le bon fonctionnement de l'outil et les participations de chacun des acteurs. L'outil DynaWaltz par rapport à Astre permet de déterminer plus précisément le comportement du réseau (modélisation fine des machines et leurs régulations, prise en compte de la fréquence du réseau,...).

L'expérimentation sera conduite conjointement par les équipes du CNES (Centre National d'Exploitation du Système électrique), de SEDRE (Service Études de Développement du Réseau Électrique), du Centre d'Exploitation de Marseille et de la R&D, avec également des retours et des discussions avec la Direction Exploitation.

Elle comportera trois volets principaux :

1. Un volet robustesse, pour vérifier que le simulateur fonctionne bien sur un grand nombre de situations.
2. Un volet qualité, pour s'assurer sur quelques situations que les résultats du simulateur sont corrects, les expliquer et les analyser en détail.
3. Un volet performances, pour faire un état des lieux des performances du simulateur et proposer des choix aux autres entités (notamment autour du compromis temps de calcul/précision).

Les premiers résultats de l'expérimentation seront disponibles en février 2021 et une réunion de bilan est prévue mi-avril mais des comportements différents entre les deux simulateurs ont déjà pu être observés. Ainsi, le nouveau simulateur semble permettre d'augmenter la stabilité vis-à-vis des phénomènes d'écroulement de tension grâce aux améliorations apportées en modélisation et sur la résolution numérique. La figure 10 montre un cas pour lequel l'ancien simulateur détecte un écroulement de tension alors que la simulation reste stable avec le nouveau simulateur.

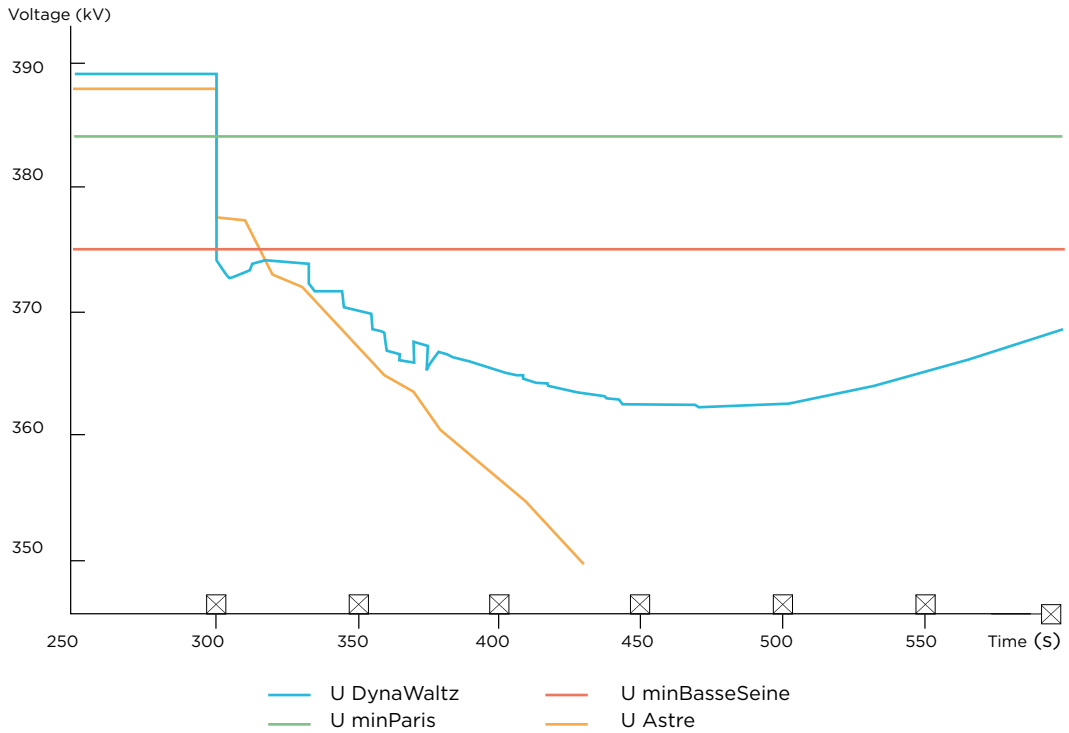


Figure 10 - Variation de tension suite à la déconnection de deux groupes de production à Paluel pour Astre et DynaWaltz

ET LA SUITE ?

Si tout va bien, la réunion de bilan de l'expérimentation validera le remplacement d'Astre par DynaWaltz pour l'hiver 2021/2022.

Mais ce ne sera pas la fin de l'histoire: des questions de modélisation restent ouvertes, des améliorations algorithmiques sont en cours de spécifications, etc.

En parallèle, face à l'urgence liée à la gestion des automates notamment, des expérimentations devraient être menées rapidement avec DynaFlow, logiciel visant à remplacer l'outil de calcul d'état d'équilibre Hades2.

Enfin, sur le plan international, l'entrée du projet à la Linux Foundation for Energy, association promouvant l'open source comme modèle de développement des logiciels pour l'industrie de l'énergie, est en cours d'instruction, un nouveau partenariat sur la résolution numérique avec l'université de Chypre⁵ commence et bien d'autres sujets encore se poursuivent - lien avec la communauté Modelica, développement de modèles standards, projet européen H2020 POSYTYF...!

(5) Études sur les solveurs à pas de temps variable en présence de contrôleurs digitaux asynchrones

1.5 OSMOSE: UNE ÉTAPE VERS L'EXPLOITATION SÉCURISÉE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE AVEC UNE FORTE PÉNÉTRATION D'ENR

Le projet européen OSMOSE (Optimal System-Mix Of flexibility Solutions for European electricity), lancé en 2018 pour une durée de 4 ans et piloté par la Direction R&D réunit 33 partenaires de 8 pays européens et est doté d'un budget de 28 M€. Dans ce projet, RTE est doté d'une subvention 2,3 M€ par la commission européenne. Il a pour objectif la qualification de l'apport des flexibilités qui pourront être utilisées pour permettre l'exploitation avec une très forte pénétration d'ENR. Afin d'accroître la maturité technologique des solutions proposées, le projet comprend plusieurs démonstrateurs en insérant soit du matériel sur le réseau comme des batteries, soit des solutions logiciels.

Outre le pilotage global du projet et la participation à plusieurs lots pilotés par nos partenaires, RTE est porteur des lots techniques suivants:

- Deux démonstrations de stockage grid-forming et multi-services, l'une en France sur le site du Castelet, l'autre en Suisse sur le réseau expérimental de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).
- Des études et simulations des mécanismes de marché pour conduire aux mix de flexibilités optimaux.

Le mardi 22 septembre 2020, le dispositif de stockage grid-forming et multi-service OSMOSE (1 MVA) du poste du CASTELET (CSLET en Ariège) a été raccordé à une cellule 20 kV du réseau Rte pour lancer les essais sur site.

GRID FORMING ?

C'est une fonction liée à l'électronique de puissance (utilisée pour les raccordements des énergies renouvelables intermittentes et des batteries par exemple) apportant localement de la rigidité à la tension et à la fréquence du réseau. Elle permet de maintenir la stabilité du réseau, même lorsque celui-ci est faible, i.e, lorsque il y a peu ou pas de machines synchrones connectées à proximité. Le système de stockage grid-forming agit donc

comme un répéteur local de signal synchronisant, un tampon absorbant les variations de courant en-dessous de la seconde ce qui stabilise la production des énergies renouvelables environnante. Un tel système permet de survivre dans les premières secondes après un événement réseau, le temps d'activer les leviers de flexibilité et d'équilibrage, même si on se retrouvait séparé du réseau principal. En cela, il remplace la réserve inertielle historiquement fournie par la rotation des machines synchrones (voir Figure 11).

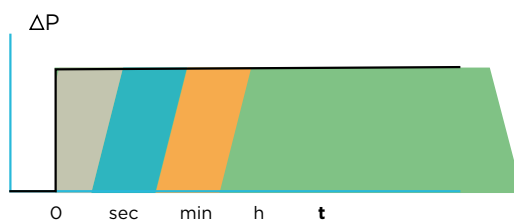


Figure 11A – Réponse actuelle à un déséquilibre production-consommation: réponse inertielle des générateurs (en gris) remplacée par les régulations primaires, secondaires, puis tertiaires.

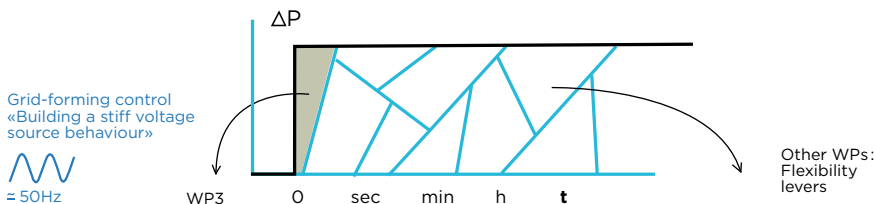


Figure 11B – Le projet Osmose propose un mix optimal de flexibilités d'équilibrage, des mécanismes de marché associés, et des démonstrations techniques d'activations de nouveaux moyens de flexibilités coordonnées.

Dans les deux conteneurs du dispositif de stockage superposés et assemblés par le constructeur Ingeteam (Figure 12), on démontre l'efficacité de trois technologies combinées uniques au monde, co-développées par RTE et ses partenaires Ingeteam (Espagne) et EPFL (Suisse), à savoir :

Le 1^{er} décembre 2020, un incendie s'est déclenché dans le conteneur de stockage lors d'une phase d'essais sur site où le fonctionnement en charge des batteries et super-condensateurs était éprouvé.

- Un **fonctionnement permanent en grid-forming** de l'interface au réseau par électronique de puissance (DC/AC),
- Un **procédé de mesure quantitative** de l'apport du grid-forming vu du réseau proposé par EPFL,
- Une **gestion multi-source d'un stockage DC hybride** à base de batteries lithium-ion et super-condensateurs.



Figure 12 — Les deux conteneurs du dispositif de stockage grid-forming et multi-service OSMOSE au poste de Le Castelet (Ariège) avant incendie, puis lors de l'incendie le 01/12/2020.

Les alarmes ont fonctionné, les procédures de sécurité ont été appliquées. Il n'y a eu aucune victime. Les dégâts matériels sont limités au conteneur de stockage.

L'arrêt de la démonstration RTE privera le projet de certains enseignements attendus de l'expérimentation en exploitation sur le réseau. Néanmoins :

Les analyses des causes de l'incendie et de ses conséquences environnementales sur site ont débuté et sont toujours en cours, d'autres seront à réaliser en laboratoire. En l'état actuel des analyses et des investigations, des défaillances matérielles ont été relevées mais il est prématuré d'avancer une explication précise sur les causes techniques ou sur les éventuels impacts environnementaux. Les autorités environnementales (DREAL) et techniques (BEA-RI) du Ministère de la Transition Ecologique sont saisies et suivent les investigations.

— des enseignements sont déjà acquis depuis la phase de tests en usine du dispositif de stockage. Ces derniers ont permis de valider les performances à puissance réduite par la génération «Power-Hardware-in-the-loop» de situations de réseau contraignantes pour les équipements ;

— des enseignements opérationnels ressortent de l'incendie, qui seront utiles aux exploitants et fabricants d'équipements de stockage et grid forming ;

— les démonstrations de grid forming du projet OSMOSE se poursuivent avec l'équipement expérimental sur le site de l'EPFL.

Privée de son support matériel, l'expérimentation du grid-forming sur le site du CASTELET ne pourra malheureusement pas être ré-initialisée dans le cadre du projet européen OSMOSE.

QUELS OBJECTIFS ATTENDUS DES EXPÉRIMENTATIONS DE GRID FORMING ?

- Le premier objectif de la démonstration est de prouver qu'on peut fonctionner en grid-forming sur un réseau de transport, en maintenant la stabilité et la disponibilité, avec du matériel commercial, et sans surdimensionnement.
- Le second objectif est d'être capable de spécifier et de contrôler les performances du grid-forming de façon non-intrusive, à partir de mesures côté réseau.
- Le troisième objectif est de montrer qu'avec une interface grid-forming, on peut également rendre tous les services aujourd'hui attendus d'un dispositif de stockage classique.
- Enfin, un quatrième objectif vise à prouver que le grid-forming et les autres services peuvent être assurés séparément par des unités de stockages d'énergies distinctes, ouvrant à la mutualisation de l'interface DC/AC par des acteurs de stockage multiples.

QUEL IMPACT DE L'INCENDIE AU SITE CASTELET ?

Certains objectifs verront leurs résultats réduits, néanmoins des enseignements seront acquis sur tous les sujets.

Le projet OSMOSE, bien que partiellement impacté, est une contribution majeure au chantier de transformation radicale de notre système de production et de consommation d'énergie.

Après avoir tiré les enseignements de l'incident du Castelet, RTE verra s'il est pertinent de relancer des expérimentations dans d'autres sites et dans quel cadre.

Plus d'informations sur : www.osmose-h2020.eu

1.6 LE PROJET EUROPÉEN PROMOTION DÉMONTRE LA MATURITÉ DES TECHNOLOGIES POUR DES RÉSEAUX MAILLÉS À COURANT-CONTINU OFF-SHORE ET PRÔNE UN DÉMONSTRATEUR GRANDEUR RÉELLE EN MER

PROMOTioN ('Progress on Meshed HVDC Offshore Transmission Networks') est un projet de R&D Européen d'un budget de 42 M€⁶ lancé en 2017 dans le cadre du programme Horizon 2020. Après 4 ans et demi, la conclusion des travaux de ce consortium de 34 partenaires (dont RTE) s'est concrétisée par une série de web-conférences thématiques durant deux semaines, puis la conférence de clôture du projet le 21 septembre 2020.

Les travaux menés dans PROMOTioN ont comme dénominateur commun le **développement de réseaux offshore maillés en courant continu**, et s'articulent autour de quatre thèmes :

- Les **technologies nécessaires pour l'exploitation d'un réseau à courant continu en mer**, comme par exemple les systèmes de protection contre un court-circuit⁷ qui sont bien différents de ceux utilisés dans un réseau alternatif ;
- La **démonstration de composants de la technologie HVDC** (High Voltage Direct Current) et l'apport de contributions à la normalisation ;
- Les **aspects juridiques, réglementaires, économiques et financiers associés aux réseaux HVDC Offshore** ;
- La **planification de réseaux HVDC offshore**.

Plusieurs démonstrateurs ont été installés, en lien avec les deux premiers thèmes afin de valider le comportement des différents matériels développés au cours du projet :

- Des disjoncteurs à courant continu présentés par trois constructeurs ;
- Des compartiments de type Poste Sous Enveloppe Métallique, sans SF6 en courant continu (HVDC GIS - Gas Insulated Substation) ;
- Un environnement de simulation temps réel avec des matériels représentatifs a été développé (simulateur de type Power Hardware In the Loop⁸) sur lequel a été connecté une éolienne via son convertisseur.

Selon les composants, le projet a fait évoluer leurs maturités technologiques (TRL⁹ - « Technology Readiness Level ») du niveau « 4 » « technology validated in lab » au niveau « 6 » « technology demonstrated in relevant environment ».

Dans ce projet, **RTE a participé aux travaux sur les stratégies de protection DC, à la planification de réseaux offshore en Mer du Nord ainsi qu'aux liens avec la standardisation (CIGRE, CENELEC).**



Figure 13 — Test des 3 disjoncteurs HVDC de Scibreak, de Mitsubishi et d'ABB dans les labos de KEMA (Photos extraites du rapport PROMOTiON D10.9 « Reporting on HVDC circuit breaker testing »)

Les points remarquables du projet sont les suivants :

- L'état de l'art actualisé et complet des technologies et stratégies de protection pour un réseau à courant continu.
- Le développement de procédures de qualification (disjoncteurs HVDC et GIS) en lien avec divers constructeurs et son transfert vers les comités de normalisation et de pré-normalisation.
- Les tests selon ces procédures de 3 types de disjoncteurs et d'un HVDC GIS.
- Un coordinateur de projet remarquable (DNV-GL) qui a su valoriser les réalisations auprès de décideurs influents et donner une visibilité inédite au projet au niveau des instances européennes.

Le projet a conclu que les technologies sont déjà disponibles pour les réseaux maillés en mer mais que le cadre réglementaire reste encore à développer. Enfin, il promeut le développement d'un projet pilote en Mer du Nord, parmi une liste de possibilités pour lesquelles une pré-étude a été réalisée.

La Commission Européenne, qui affiche dans ses objectifs « Green Deal » l'intégration de 450 GW d'offshore en Europe en 2050, ce qui serait un cas d'usage des réseaux à courant continu, pousse fortement pour une démonstration en environnement opérationnel en mer (donc de niveau TRL « 7 »). Ainsi, afin de continuer à progresser en maturité, les propositions devront s'attacher à démontrer leurs apports en efficacité, en fiabilité, en développement durable et en circularité de l'emploi des ressources, en incluant une évaluation des impacts environnementaux, sociaux et économiques (non traités dans le projet PROMOTiON).

Les réflexions de RTE à la suite de ces travaux ont abouti à l'intérêt de poursuivre les collaborations européennes sur les sujets électrotechniques liés aux stations HVDC et réseaux à courant continu. Les sujets environnementaux et eaux profondes sont étudiés dans le cadre du partenariat avec France Energie Marine.

Pour en savoir plus, consulter le site web : <https://www.promotion-offshore.net/>

(6) Dans ce projet, RTE est doté d'une subvention 98 k€, par la commission européenne.

(7) Pour mémoire, en cas de défaut dans un circuit DC, le courant ne passe pas par zéro et s'éleve très rapidement, ce qui nécessite des équipements spécifiques de protection et de coupure.

(8) Ce type de simulation temps-réel se fait dans un environnement capable d'échanger des flux de puissance entre les divers équipements sous test.

(9) TRL : (technology readiness level) est une échelle à 9 niveaux de progression depuis « TRL 1 = basic principles observed » à « TRL 9: actual system proven in operationnel environment ». Elle est utilisée pour les projets européens Horizon 2020 https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2018-2020/annexes/h2020-wp1820-annex-g-trl_en.pdf

1.7 ACTIVITÉS DE R&D REPORTÉES OU INTERROMPUES EN 2020

EN 2020, RTE A REPORTÉ CERTAINES ACTIVITÉS SUR 2021 OU A RALENTI/INTERROMPU CERTAINES AUTRES MAIS A AUSSI, EN CONTRE-PARTIE, LANCÉ DE NOUVEAUX SUJETS DE RECHERCHE ET ANTICIPÉ CERTAINES RÉALISATIONS INITIALEMENT PROGRAMMÉES POUR 2021

REPORT D'ACTIVITÉS DE 2020 SUR 2021

- Les activités menées dans le cadre de la collaboration avec CentraleSupélec, sur la **faisabilité de limiteurs de courant supra-conducteurs pour accroître la stabilité des réseaux à courant continu et réguler les flux de puissance**, ont été ralenties en 2020 mais se poursuivent en 2021. Ce ralentissement s'explique par la crise sanitaire et plus précisément par l'impossibilité de réaliser la maquette à échelle réduite dans les laboratoires pendant les périodes de confinements.
- L'année 2020 a été consacrée à la mise en place d'un contrat de partenariat avec l'organisme CEEBIOS (Centre d'Etude et d'Expertise en Biomimétisme). Le lancement des **études de développement de solution bio-inspirée issue de la démarche prospective BIOMIM - Lignes de Vie Marine**, projetées dans le cadre de cette collaboration, a pris du retard suite aux difficultés rencontrées en période de crise sanitaire.
- **L'expérimentation de phyto remédiation sur un site de RTE** a été décalée en 2021 suite à la crise sanitaire. L'objectif de cette expérimentation est d'activer l'alliance avec la multifonctionnalité du vivant par l'expérimentation de solutions de végétalisation dotées de capacités de phytoremédiation de notre foncier pollué.
- Le changement souhaité d'une politique de renouvellement des conducteurs sur critère d'âge à un critère d'endommagement nécessite, outre un dispositif de prédiction, un système de diagnostic performant. La **mise en service du banc d'essais des systèmes de diagnostic des conducteurs** a été reporté en 2021 suite aux problèmes sanitaires.

- Après l'industrialisation du système avec DAS à demeure pour la localisation de défaut sur liaison souterraine, la **qualification du dispositif de localisation mobile sur des défauts réels** (phase longue due à la rareté des défauts) n'a pas pu être réalisé en 2020 car d'une part ces types de défauts (dûs au vieillissement de la liaison souterraine) sont rares et d'autre part le confinement en 2020 a empêché l'intervention sur site. En 2021, compte tenu de cela, la stratégie relative à ce dispositif sera revue.

- Dans le cadre du **projet OASICE**, visant à déterminer les perturbations environnementales en phase travaux et en phase d'exploitation de câbles électriques sous-marins grâce à un bio indicateur (coquille Saint-Jacques), des analyses et relevés sur site étaient prévus en 2020 afin de réaliser un suivi de la mise en route d'IFA2. Avec la crise sanitaire et les difficultés de déplacement rencontrées en 2020, notre partenaire, TBM a pris du retard dans la réalisation des analyses et prélèvements ainsi que dans la rédaction de la note de synthèse. Ces travaux se poursuivront donc en 2021.

RALENTISSEMENT OU ARRÊT DE CERTAINS PROJETS DE RECHERCHE

- Les études menées en 2020 avec la collecte des données INERIS sur 40 ans ont permis d'avoir une bonne connaissance de **l'évolution de la corrosivité de l'environnement en France**. Ces données seront exploitées dans les prochaines études R&D sur le comportement des équipements dans l'environnement. **La représentation sous forme de carte (tel qu'annoncé en début de projet) apparaît moins opportune.**

02

Partenariats 2020



2.1 POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX D'UNE NUMÉRISATION OUVERTE ET SOUPLE RTE S'ENGAGE DANS UN CONSORTIUM INDUSTRIEL PROPOSÉ PAR L'IRT SYSTEMX

Depuis le rapport Villani en 2018, l'IA est devenu un enjeu national. En 2019, l'écosystème R&D en France se structure autour des 3IA (Institut Interdisciplinaire d'Intelligence Artificielle) appuyés par les IRT (Institut de Recherche Technologique), pour des TRL 4 à 6.

Les missions de l'IRT SystemX s'articulent autour de l'hybridation entre l'IA, les connaissances métier et les modèles physiques.

RTE s'est engagé aux côtés de l'IRT SystemX et plusieurs industriels dans deux projets (budget global de chaque projet: -1M€) autour de l'hybridation de l'IA (calcul scientifique, machine learning, connaissance experte). Ces projets ont une durée de **3 ans**,

un coût de **100k€/an/projet/entreprise** (abondés à 100% ANR) et vont être **lancés fin 2019**.

Ces sujets d'études sont très adhérents aux ambitions portées par RTE sur les sujets liés à la simulation augmentée et aux Smart Cockpit. Les problématiques qui seront étudiées sont présentées ci-dessous:



Simulation Augmentée

Hybridation de modèles pour accélérer les calculs

- Couplage d'un modèle appris (proxy) et d'un simulateur physique.
- Certification d'un modèle appris (proxy) du point de vue de la robustesse des résultats et du respect de certaines règles métiers ou lois physiques.

Apprentissage d'un modèle probabiliste pour l'anticipation et l'identification des situations atypiques dans un contexte où les comportements deviennent de moins en moins prévisibles (intermittence, automate de zone, ...)

Déploiement de modèle appris en production

- Quelles méthodes de mise à jour de ces modèles?
- À quel moment les performances d'un modèle se dégradent-elles? Quelle alerte? Comment y remédier?
- Quelles méthodes pour définir des tests de non-régression d'un nouveau type pour ces modèles particuliers?



Smart Cockpit

Dans l'esprit d'une collaboration Homme-Machine bi-directionnelle, ce projet a pour vocation de développer une interface augmentée visant à assister des opérateurs ou des pilotes dans la conduite d'un système ou d'un véhicule en temps réel. Les axes suivants seront explorés au sein du projet:

- Anticipation et prédiction des situations atypiques pour la **reprise en main de l'opérateur**.
- Aide à la **transmission d'information** entre opérateurs (coordination et passage quart) avec tri et synthèse d'information.
- Aide à la représentation mentale des situations aidées par la machine, en particulier pour des opérateurs non spécialistes d'une zone de réseau ou novice dans le métier.
- Représentation d'une **vision probabiliste** avec gestion d'incertitude.
- Modélisation des **connaissances expertes** pour faire des suggestions & **Explications** des suggestions faites par la machine, pour être critiquée ou acceptée.
- **Amélioration continue** avec prise en compte des retours et décisions des opérateurs après suggestions de la machine.

RTE ET UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (UPC) ONT SIGNÉ UN ACCORD DE COLLABORATION POUR ÉTUDIER UN CONCEPT INNOVANT DE CONVERTISSEUR ALTERNATIF-CONTINU QUI COMBINE PLUSIEURS NIVEAUX DE TENSION CÔTÉ CONTINU

Menés dans le cadre d'une thèse (sept. 2020 - sept. 2023), les travaux ont pour objectif de combiner un convertisseur HVDC et un « smart transformer » (convertisseur DC/DC) pour permettre à la fois la conversion alternatif-continu simultanément avec la connexion entre transport et distribution en DC. À cette fin, un concept de valve innovant imaginé par RTE sera étudié et challengé avec des structures alternatives, notamment en termes de contrôle et de pertes.

RTE A SIGNÉ UN ACCORD DE COLLABORATION (AOÛT 2020 - AOÛT 2024) AVEC UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN (KU LEUVEN) POUR ÉTUDIER L'IMPLEMENTATION DE CONTRÔLES DE TYPE « GRID FORMING » DANS UNE LIAISON À COURANT CONTINU (HVDC) CONFIGURÉE EN BIPOLE

L'intérêt pour RTE est à la fois d'anticiper le recours à ce type de topologie de HVDC pour ses besoins prochains en développement de réseau (cf. projet Golfe de Gascogne), et évaluer les bénéfices attendus et les modalités d'implémentation de contrôles-commande innovants de plus en plus nécessaires dans un réseau soumis à la forte pénétration d'équipements à base d'électronique de puissance.



SIGNATURE D'UN PARTENARIAT ENTRE RTE ET SCHNEIDER ELECTRIC FRANCE SUR LA VIRTUALISATION D'UN CONTRÔLE COMMANDE DE POSTE HTB/HTA

Le partenariat réalise un prototype sur plateforme d'un contrôle commande poste virtualisé de poste HTB/HTA : les équipements matériels supportant les fonctions d'automatismes et de protection contre les défauts d'isolement sont remplacés par des modules logiciels s'exécutant sur des serveurs banalisés. Il s'agit du poste HTB/HTA (20 départs). La solution utilise une plateforme logicielle (hyperviseur, notamment), disponible en « Open Source ». Les mécanismes de « cluster » sont utilisés par la gestion de la redondance et la maintenance. La solution dispose d'une interface ouverte permettant d'intégrer les algorithmes spécifiques et développés par RTE. La fin du partenariat est prévue pour mi 2021.

RTE ET L'INP GRENOBLE - G2ELAB COLLABORENT POUR ÉTUDIER LE DÉVELOPPEMENT D'UN PROTOTYPE DE PROTECTION DIFFÉRENTIELLE

La protection différentielle de liaison est l'une des principales protections contre les défauts d'isolement du réseau de transport. Elle est en particulier utilisée pour les liaisons souterraines. Le partenariat porte sur le développement d'un prototype de protection différentielle, sous forme d'un module logiciel s'exécutant sur un serveur banalisé. Cette nouvelle protection est robuste à la variation aléatoire de la périodicité de synchronisation (ou « gigue ») issue de la gestion du temps du système d'exploitation sous-jacent. Elle utilise la norme IEC 61850 pour représenter les échantillons des signaux tension, courant, fréquence. Contrairement aux produits industriels et matériels du marché utilisant cette norme, cette nouvelle protection ne nécessitera pas de source de synchronisation externe (GSP, Galileo,...), évitant une dépendance non maîtrisée. Le prototype est prévu pour mi 2021.



2.2 POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

RTE ET MINES PARISTECH TRAVAILLENT CONJOINTEMENT POUR L'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU BP2050

Afin de gagner en expertise dans l'analyse environnementale en cycle de vie mené dans le cadre du BP2050, la R&D de RTE finalise un contrat de prestation d'appui scientifique avec le laboratoire Mines ParisTech O.I.E. (Observation Impact Energies). À l'issue de cette première collaboration, l'analyse environnementale des scénarios du BP2050 permettra donc d'offrir pour la première fois à nos parties prenantes des réponses robustes et argumentées sur l'empreinte carbone, les ressources matière et eau de différents scénarios de production d'électricité et de consommation électrique, en approche cycle de vie. Les impacts sur la biodiversité et sur la santé humaine pourront également être appréhendés. Rendez-vous mi 2021 pour les résultats finaux!

Face aux enjeux environnementaux systémiques auxquels doit faire face un acteur tel que RTE, il est indispensable d'ajouter aux dimensions d'analyse technique et économique de nouveaux axes pour rendre compte de la complexité des problématiques et de leur interdépendance.

C'est pourquoi, pour mieux mesurer les impacts environnementaux, et suite à la preuve de concept apportée en 2019 grâce aux travaux de stage « Impacts environnementaux du système électrique », il a été décidé d'intégrer les suites de ces travaux dans le BP2050. Au vu des ambitions affichées et afin d'assurer l'obtention de résultats les meilleurs possibles, le recours à l'expertise reconnue du laboratoire Mines ParisTech O.I.E. pour appuyer les travaux d'analyse environnementale en cycle de vie s'est imposée. Les activités de cette équipe de recherche se situent au carrefour de l'énergie, de l'environnement et de l'observation de la Terre. Elle étudie et modélise les ressources "énergies renouvelables" et les impacts environnementaux liés à leur exploitation, en s'appuyant sur des disciplines scientifiques fondamentales et appliquées (mathématiques, métrologie, physique, environnement...) et sur les technologies de l'information et de la communication. Les bases de données et services Web constituent pour cette équipe un des principaux vecteurs de dissémination de ses connaissances.

DANS LE CADRE DU PARTENARIAT EXISTANT, RTE ET LE CEA ONT DÉMARRÉ UNE NOUVELLE COLLABORATION SUR LA MODÉLISATION DES RÉSEAUX DE CHALEUR POUR LES ÉTUDES INTÉGRÉES DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE

Aujourd'hui 70% des usages finaux de l'énergie sont d'origine fossile, principalement les transports et la chaleur. L'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 nécessitera une restructuration profonde de ces usages et de leur approvisionnement : quelles technologies ? quels vecteurs énergétiques ? quelles évolutions comportements et donc des besoins eux-même ?

RTE aborde ces questions avec des études intégrées du système énergétique, combinant les différentes productions, vecteurs et usages. RTE a donc besoin d'une brique de modélisation pour représenter les réseaux de chaleur urbains, le challenge consistant à trouver le meilleur compromis entre réalisme et simplicité, simplicité d'autant plus importante qu'on veut simuler l'ensemble du système énergétique.

Dans ce partenariat, le CEA apporte de l'expertise, des données technico-économiques et des modélisations physiques des réseaux de chaleur, tandis que RTE apporte l'expertise et la modélisation du système européen. Le dialogue entre ces deux univers technique doit permettre concevoir, tester et valider une modélisation approchée des réseaux de chaleur intégrable au modèle européen.

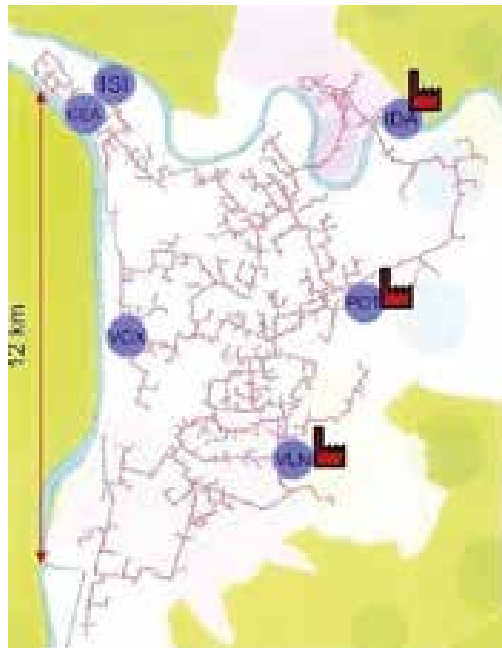


Figure 14 - Réseau de chaleur de Grenoble, 250km, 900 GWh/an

PARTENARIAT CEEBIOS – CENTRE EUROPÉEN D'EXCELLENCE EN BIOMIMÉTISME DE SENLIS

En tant qu'acteur de la transition énergétique et écologique, RTE développe une approche systémique des solutions proposées, qui s'incarne en particulier dans la démarche d'écoconception des projets.

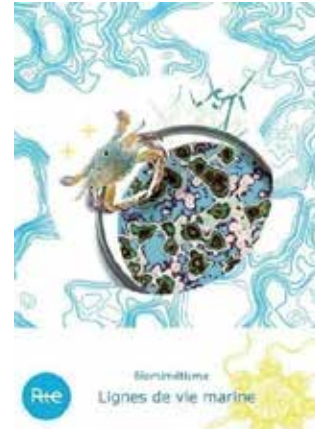
Depuis 6 ans, RTE s'est intéressée au biomimétisme, en rejoignant notamment le CEEBIOS, qui fédère l'ensemble des acteurs autour du biomimétisme. Le biomimétisme est un processus d'innovation et une ingénierie qui s'inspire des formes, matières, propriétés, processus et fonctions du vivant. Au-delà des premiers projets engagés, il est apparu que pour avoir un vrai impact systémique, il fallait pouvoir changer d'échelle et embarquer une partie de notre écosystème industriel.

En 2020, RTE et CEEBIOS ont donc signé un partenariat pluriannuel visant à accélérer l'innovation par le biomimétisme dans les activités de RTE, avec une vision de réponse à des enjeux systémiques dans le domaine de l'énergie, pour un design de solutions recyclables, renouvelables, régénératives et résilientes.

Cette collaboration s'articule selon 3 axes :

- **Impulsion Biomimétisme & Energie** : en mobilisant un écosystème partenarial commun au déploiement du biomimétisme dans le secteur de l'énergie, il s'agit de mutualiser entre plusieurs acteurs les efforts de recherche et développement et mettre à disposition des « briques biomimétiques de référence » à partir desquelles chacun des industriels pourrait décider de sa stratégie de développement de produits bio-inspirés. RTE rejoint dans cet esprit le consortium BiOMig (CEEBIOS, MNHM, EURAMATERIALS, L'OREAL...) dont finalité est le développement d'une Plate-forme BiOMig pour permettre aux acteurs de l'industrie et de la recherche de mener des activités de recherche et de développement collaboratives pour favoriser le transfert technologique de la recherche vers l'industrie ainsi que l'émergence de nouveaux produits bio-inspirés.
- **Design biomimétique** : en réalisant ensemble des travaux de recherche sur les méthodologies nécessaires à l'intégration du biomimétisme dans le management de la recherche et de l'innovation.
- **Concepts de solutions pour RTE** : en élargissant l'application de la bio-inspiration à des problématiques de R&D relatives aux métiers de RTE et en codéveloppant des solutions innovantes, comme la

démarche prospective BIOMIM – Lignes de Vie Marine portant sur l'étude de développement de solutions bio-inspirées pour les futures lignes électriques sous-marines de raccordement des parcs éoliens offshore.

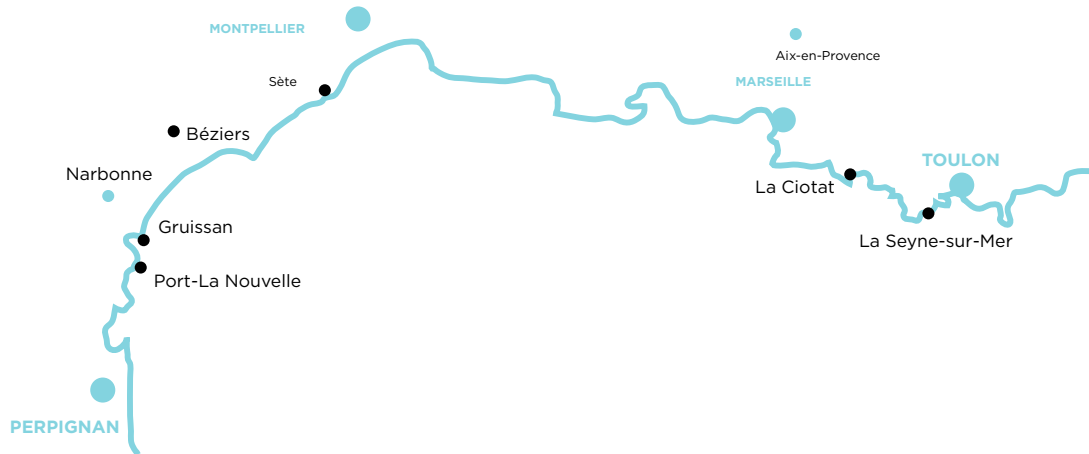


RTE AGIT POUR LA BIODIVERSITÉ MARINE DANS LE CADRE DE PLUSIEURS PROJETS :

— Projet ECOSYSM-EOF

Le projet ECOSYSM-EOF est financé par l'ADEME, EDF Renouvelables, RTE, Engie et Eolfi (540k€) qui vise à préfigurer un observatoire des écosystèmes marins en interaction avec les parcs éoliens offshore flottants du Golfe du Lion. Ce projet de 2 ans, coordonné par le Pôle Mer Méditerranée, a démarré le 1er janvier 2020.

Le projet ECOSYSM-EOF consiste à concevoir une méthodologie et une architecture d'outils d'observation à haute fréquence adaptables aux éléments de parcs éoliens offshore flottants (par exemple, des réseaux de câbles, des plateformes offshore). Les outils d'observation ainsi identifiés permettront d'acquérir des données et de documenter l'état et l'évolution des écosystèmes marins en interaction avec les fermes éoliennes offshore flottantes du golfe de Lion.



Anticiper l'évaluation de l'impact environnemental potentiel des fermes éoliennes offshore flottantes sur l'environnement marin :

Le projet vise à tester et à prévoir des méthodes permettant d'évaluer les futurs impacts des fermes éoliennes flottantes sur l'environnement marin. Le projet contribue à anticiper l'évaluation de l'impact environnemental potentiel des fermes éoliennes offshore flottantes sur l'environnement marin pour que l'industrie puisse se développer dans de bonnes conditions.



Trois séries d'actions complémentaires seront mises en œuvre :

- Recommandation sur le processus d'intégration des réseaux d'observation : analyse de la bibliographie existante sur les interactions éolien offshore flottant/écosystèmes marins et inventaire des observatoires existants ;
- Identification des barrières technologiques et définition de moyens de mesure innovants pour les différents éléments des écosystèmes ;
- Spécifications de l'observatoire pour les réseaux pilotes et les opérateurs de réseaux électriques (RTE) en plus des réseaux d'observation existants.

— Groupement d'Intérêt Scientifique Effets Cumulés en Mer (GIS ECUME)

Le Groupement d'Intérêt Scientifique Effets Cumulés en Mer (GIS ECUME) est porté par l'Université de Caen Normandie, et associe 9 membres fondateurs, réunissant en une approche régionale les principaux porteurs de projets en mer (l'Union Nationale Des Industries de Carrières et des Matériaux de Construction (UNICEM), RTE, le Grand Port maritime du Havre (GPMH), le Grand Port Maritime de Rouen (GPMR), Comité Régional des Pêche Maritimes et des Elevages Marins de Normandie (CRPMEM), Ports Normands) et établissements d'enseignement supérieur et de recherche (Universités de Caen, Rouen et Le Havre). La durée du projet est de 6 ans pour un budget de 200k€ (part fiancée par RTE : 40k€).

démarche scientifique et une méthodologie permettant d'acquérir **la connaissance sur les impacts cumulés des activités humaines dans les environnements côtiers** (exploitation de granulats marins, énergies marines renouvelables (câbles), dragages et dépôt de dragages portuaires, activités de pêche notamment aux arts traïnants).

La synthèse des connaissances sur les impacts des câbles de raccordements électriques sous-marins en phase travaux et d'exploitation réalisés par l'IFREMER a montré le fort niveau d'incertitudes des connaissances sur les impacts cumulés en mer. De plus, cette thématique a été identifiée comme principale priorité de recherche dans les sciences liées au monde marin par plus de 2 000 scientifiques venant des sciences physiques, écologiques et sociales.

Thématique en émergence, le Ministère de la Transition Ecologique a mis en place un groupe de travail sur la méthodologie de la prise en compte des impacts cumulés en mer.

Dans le cadre des futurs raccordements électriques offshore, RTE se doit d'acquérir les meilleures recommandations pour la réalisation des études d'impact.

LES AXES PRIORITAIRES

Les axes prioritaires du GIS seront l'impact de ces activités sur la dynamique hydro-sédimentaire, le bruit sous-marin, les communautés benthiques et ressources halieutiques, ainsi que l'effet récif suite à l'implantation de structures immergées et l'acceptabilité sociétale des activités humaines en mer.

2.3 POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX DE L'INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

LANCEMENT OFFICIEL DU PROJET EUROPÉEN DE RECHERCHE ONENET: RTE ET ENEDIS COLLABORENT EN EUROPE POUR DÉVELOPPER DES SOLUTIONS QUI AMÉLIORERONT L'INTÉGRATION DES ENR DANS LE SYSTÈME!



Le projet **OneNet** est un projet de R&D de 3 ans retenu par la Commission européenne dans le cadre du dernier appel à contribution du programme H2020¹⁰ sur le thème des plateformes et services de flexibilité pour les usages des gestionnaires de réseau.

Que vont faire RTE et Enedis ensemble?

Au sein de ce projet RTE et Enedis ont convenu de travailler au développement de deux démonstrateurs:

1) STAR: Système de Traçabilité des Activations de Renouvelables

Ce démonstrateur utilise la technologie Open Source Blockchain¹¹ Hyperledger Fabric¹² (Fig.15) pour stocker et transmettre de l'information; le but est de simplifier et d'optimiser la gestion des flexibilités fournies par des EnR et de la consommation HTA-HTB en dématérialisant et en assurant la traçabilité de la chaîne d'activation des flexibilités de bout en bout.

STAR, déjà lancé par RTE et Enedis, bénéficiera de fonds européens ainsi que d'une visibilité accrue grâce à son intégration dans le projet **OneNet**. Deux cas d'usage ont été sélectionnés pour ce démonstrateur (Figure 16).

Demain : un seul registre partagé, créant un consensus sur la donnée et une confiance décentralisée. Une gestion des flexibilités plus fluide pour les acteurs.

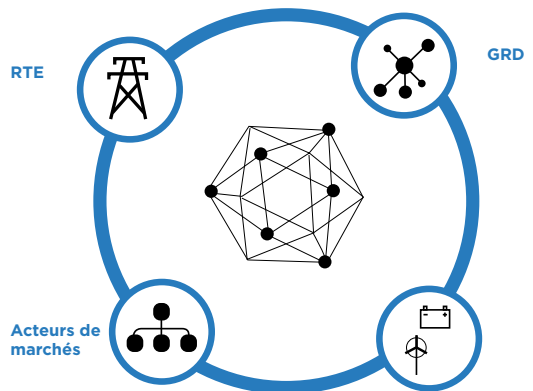
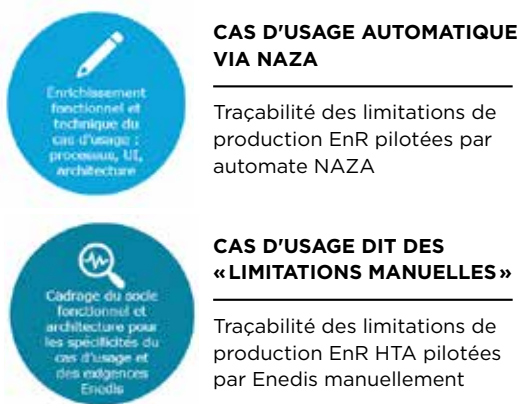


Figure 15 - Registre partagé, confiance décentralisée

(10) Le programme H2020 prend fin cette année; la Commission européenne lance un nouveau programme de financement R&D Horizon Europe pour la période 2021-2028.

(11) <https://fr.wikipedia.org/wiki/Blockchain>

(12) <https://www.hyperledger.org/use/fabric>



CAS D'USAGE AUTOMATIQUE VIA NAZA

Traçabilité des limitations de production EnR pilotées par automate NAZA

CAS D'USAGE DIT DES « LIMITATIONS MANUELLES »

Traçabilité des limitations de production EnR HTA pilotées par Enedis manuellement

Ce « Tunnel de confiance » est un espace de valeurs de limitation, calculé ex-ante, dans lequel RTE peut limiter la production sans faire apparaître de contrainte sur le réseau du GRD. La confiance est donc au bout du tunnel.

RTE et Enedis partageront des modèles de leurs réseaux ou des approximations de leurs réseaux (nommées proxies) et développeront, dans le cadre du projet OneNet, en utilisant la simulation numérique, les bases méthodologiques nécessaires à la constitution de ces tunnels de confiance; l'objectif est de pouvoir rapidement instancier un de ces tunnels dans une zone pilotée par un automate NAZA.

Figure 16 – Cas d'usage sélectionnés

– Vite des chiffres !

2) Le second démonstrateur joue probablement moins la vedette que le premier mais est fondamental dans le processus d'activation des flexibilités distribuées. Il s'agit de constituer des « **Tunnels de confiance** » qui permettront de garantir que des consignes envoyées, par des automates de type NAZA ou des ordres manuels, sur des moyens de production raccordés au réseau de distribution n'entraînent pas de contraintes sur le réseau du ou des GRD concernés.

Le projet est mené par un consortium de 72 partenaires (dont les GRTs: REN, Fingrid, Litgrid, CEPS, IPTO, ELES, Elering, Mavir, PSE, Cyprus TSo et de nombreux GRD); la subvention accordée par l'Union européenne au projet **OneNet** est de 23 M€ au total; RTE bénéficie de 475 125€ de subventions (cette somme couvre 70% des coûts engagés par RTE), Enedis bénéficiant du même montant d'aide. Fraunhofer IEE, institut de recherche allemand, bien connu des GRT et des GRD est le coordinateur du projet.

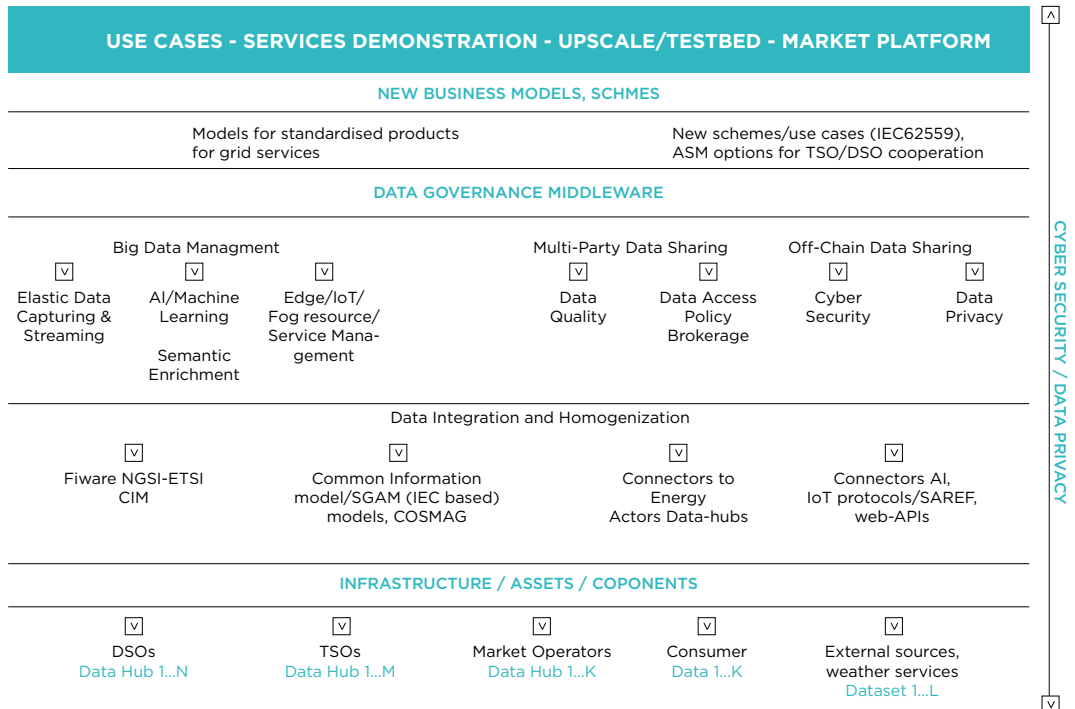


Figure 17 – Macro structure du projet

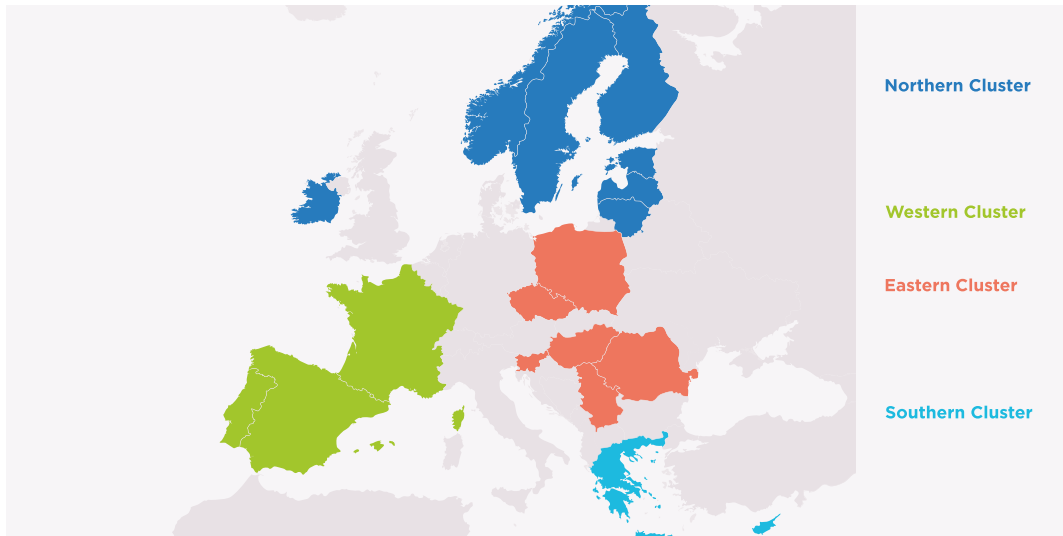


Figure 18 – Pays impliqués dans le projet OneNet

RENOUVELLEMENT DE LA CHAIRE EUROPEAN ELECTRICITY MARKETS (CEEM) AVEC L'UNIVERSITÉ PARIS-DAUPHINE EN 2020, INAUGURANT UN NOUVEAU CYCLE SUR LE FINANCEMENT DE L'INVESTISSEMENT À LONG-TERME DANS LES MARCHÉS HYBRIDES

La Chaire European Electricity Markets (CEEM) est une chaire de recherche économique à l'Université Paris-Dauphine soutenue par ses partenaires RTE, EDF, EPEX Spot et Total Direct Energie.

Son activité principale est la recherche sur la décarbonation de la production électrique et la soutenabilité de l'investissement à long terme dans le cadre des transitions énergétiques. La recherche scientifique de la CEEM est accompagnée d'un programme complémentaire de conférences et séminaires scientifiques visant le débat et la dissémination de ses résultats de recherche ainsi que d'une formation de doctorants et de jeunes chercheurs.

Dans le cadre du renouvellement de la Convention partenariales de la CEEM entre l'Université Paris-Dauphine, la Fondation Dauphine et ses partenaires RTE, EDF, EPEX Spot et Total Direct Energie, il fut décidé d'un nouveau mode de recherche défini par deux éléments structurants :

(1) Concentrer l'activité de la CEEM pendant 12 mois sur une seule thématique de recherche (voir infra) et intégrer étroitement la production des travaux de recherche aux événements visant le débat et la dissémination.

(2) Établir un écosystème de recherche autour de la CEEM qui faciliterait l'intégration de chercheurs d'autres universités françaises ou européennes ainsi que des chercheurs venant du monde industriel.

Une première séquence de 12 mois est consacrée à la thématique de recherche « **Financement de l'investissement à long terme dans des marchés hybrides** ». La notion de « marché hybride » désigne l'absence d'un seul marché homogène et ainsi la coexistence de différentes sources de financement tout au long de chaîne de valeur électrique au-delà de la rémunération dans les marchés d'énergie à hauteur du coût marginal à court terme. Le financement de l'investissement est ainsi à penser en fonction de la différenciation des sources de revenu selon les technologies (privées ou publiques, librement négociées ou régulées, basées partiellement ou entièrement sur le coût marginal ou le coût complet). Les recherches à venir montreront dans quelle mesure l'analyse permettra de synthétiser les différents modèles de financement dans un nouveau paradigme cohérent qui permettrait à la fois la vérification empirique, la publication dans des revues scientifiques et la formulation de propositions de politique énergétique pertinentes. Notons qu'actuellement aucun cadre théorique ne permet d'unifier les logiques partielles des différentes sources de financement observées dans les marchés électriques.

03

**Nouvelles méthodes
de travail : pratique
des challenges
ouverts pour stimuler
l'innovation !**



3.1 RTE PRÉSENTE LES RÉSULTATS DE LA COMPÉTITION «LEARNING TO RUN A POWER NETWORK IN A SUSTAINABLE WORLD» LORS DE LA CONFERENCE NEURIPS 2020

Pour mettre un coup de projecteur sur nos problématiques de conduite du réseau de transport auprès de la communauté mondiale du machine learning, et notamment sur l'utilisation des flexibilités offertes par les changements de topologie, RTE et l'INRIA ont initié en 2019 la série de challenges ouverts «Learning to run a power network». Les résultats de la dernière compétition en date, «Learning to run a power network in a sustainable world», ont été présentés le 11 décembre dans le cadre de NeurIPS, la plus importante conférence en IA qui a réuni cette année à distance 15 000 chercheurs.

Le but de la compétition était de proposer des agents (processus automatiques) capables d'exploiter le réseau IEEE 118 nœuds sur un ensemble de scénarios fournis (chroniques de production et de consommation, mais aussi pertes intempestives de lignes), en modifiant la topologie du réseau et en faisant des ajustements de production. Elle comportait deux branches distinctes. La branche «robustesse» (les agents devaient maintenir le réseau dans un état d'exploitation sûr face à des «aléas» de type perte de ligne) et la branche «adaptabilité», qui portait sur la capacité à s'adapter à une part croissante d'EnR, allant de 10% à 30% du mix. Ce sont des problèmes très complexes, bien plus difficiles que de jouer au GO d'après les chercheurs du domaine.

Les trois équipes gagnantes sur les 150 à 200 participants de chaque branche sont affiliées aux entreprises chinoises Baidu, Huawei et State Grid of China. Ils ont utilisé des approches hybrides mêlant IA et expertise métier.

Sur la branche robustesse, l'équipe gagnante a surpassé la concurrence, réussissant à établir une stratégie préventive avancée. Elle avait déjà remporté dans un tout autre domaine la compétition «Learning to move» en 2019 en apprenant à faire courir un exosquelette. Sur la branche adaptabilité, les scores sont plus serrés: mêmes les premiers n'ont pas réussi à gérer convenablement le réseau pour le mix ayant une part de renouvelable de 30%.

La mise en place de cette compétition nous a permis à constituer un consortium de partenaires d'origines multiples¹³, convaincus par nos enjeux, qui ont construit avec nous cette proposition. Cette initiative s'est aussi déclinée en démarche de science ouverte et participative au travers de différents webinaires, cours d'université et thèses de Master portés par les partenaires sur ces sujets, participant activement à la promotion des compétitions tout du long. La présentation des travaux à NeurIPS sera suivie en interne d'une phase d'analyse des résultats soumis et des profils des participants pour identifier les méthodes prometteuses et de potentiels partenariats. Un constat s'impose néanmoins déjà sur l'ensemble des compétitions: il nous faut regarder sérieusement vers la Chine pour suivre de probables ruptures technologiques pour la conduite du futur des réseaux électriques.

Par ailleurs, un travail de capitalisation sur des développements génériques effectués pour mettre en place la série de challenges est en cours. La plateforme Grid2Op de simulation de la prise de décision développée dans le cadre du challenge est d'ores et déjà réutilisée par la R&D pour d'autres travaux comme une étude dans le cadre de NAZA. A l'image des compétitions, Grid2Op pourra plus généralement servir de plate-forme de benchmark de nouvelles méthodes développées pour la conduite des réseaux.

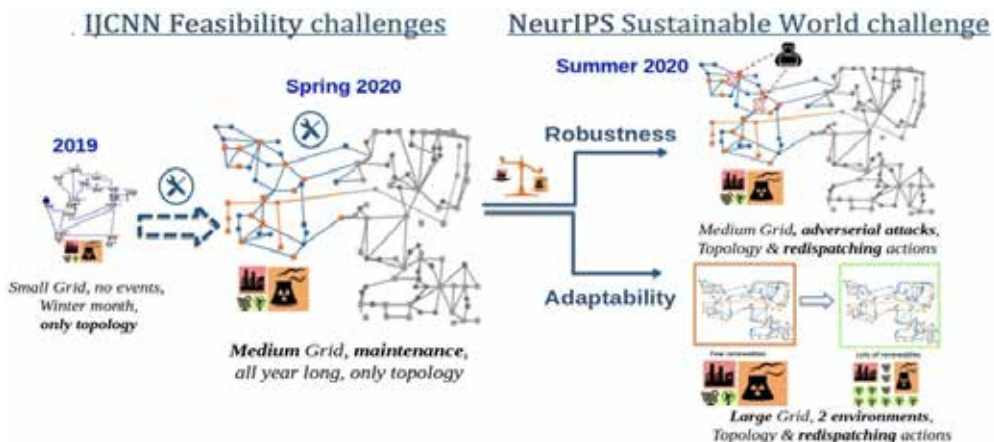


Figure 19- La série de challenges «learning to run a power network»

(13) Electric Power Research Institute (EPRI), Google Research, Geirina, Arizona State University, University College of London, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Lab 41, ou encore Kassel University

VERS UNE PRATIQUE RÉGULIÈRE DES CHALLENGES OUVERTS

Au-delà de cet exemple détaillé, plusieurs challenges ouverts ont ainsi été lancés à la R&D sur des sujets variés :

— Aide à la planification des opérations

La garantie du service de transport d'électricité impose un entretien régulier du réseau. Si certaines opérations d'entretien sont des travaux sous tension, la plupart nécessitent de déconnecter les ouvrages. La planification des opérations de maintenance revêt alors un enjeu particulier pour que le réseau ainsi affaibli demeure suffisamment robuste pour faire face à un aléa inattendu. Tout l'art du planificateur est de programmer le maximum de travaux en maintenant la sécurité du réseau.

Mais il est nécessaire d'adapter nos pratiques, du fait en particulier de l'intégration croissante des énergies renouvelables. Pour faire face à ce problème, la R&D propose une approche en trois étapes. La première, les distributions de risque liées à un retrait d'ouvrage à un moment donné sont calculées. Ensuite, ces valeurs sont incluses dans plusieurs approches d'optimisation afin de trouver un planning minimisant le risque. Finalement, une troisième étape valide le planning obtenu.

Avec ROADEF (l'association de recherche opérationnelle et d'aide à la décision française), RTE a organisé un challenge sur la deuxième étape de cette approche : les valeurs de risque étant données, trouver une planification optimale minimisant le risque (en espérance mais aussi en variabilité). Cette planification est sous contraintes, notamment relatives aux ressources mobilisées. Lancé en avril 2020, le challenge s'adresse à la communauté mondiale d'optimisation et recherche opérationnelle et se terminera en juillet 2021. A cette date, RTE pourra analyser les différentes approches algorithmiques proposées par les compétiteurs et également décider s'il est opportun d'industrialiser.

— Inspection automatique des lignes aériennes

Dans un tout autre domaine, dans le cadre du projet d'automatisation de l'inspection des lignes (démarche MOMARTE : **MO**dernisation des **MO**yens **A**ériens de **RTE**) un challenge a été organisé afin d'identifier les acteurs du marché capables de répondre aux objectifs de RTE : pouvoir automatiser l'inspection du réseau, avec des drones munis de différents capteurs associés à des algorithmes de tracking et de reconnaissance. Le challenge a comporté plusieurs phases : sur dossier dans un premier temps puis test terrain pour les finalistes.

Ainsi, nous avons pu assister fin octobre 2020 à une démonstration concluante de l'entreprise SwissDrones (seule à avoir franchi les différentes étapes de sélection) sur une partie de la ligne électrique 400 kV Breuil-Eguzon. Leur solution était composée d'un hélicoptère drone muni de 3 caméras 100 Méga pixels. L'objectif était de voler en automatique (plan de vol pré-enregistré) tout en prenant des photos de chaque centimètre de la ligne avec une résolution suffisante pour « voir » les brins coupés.



Côté enseignements, **les challenges ouverts sont intéressants à plusieurs titres**, car ils permettent :

- de **découvrir des acteurs que nous ne connaissons pas** forcément,
- **d'évaluer les capacités réelles des participants** au lieu d'un simple exposé commercial,
- de **faire en un temps court une photo assez juste du paysage industriel** sur le domaine concerné,
- **d'entrevoir les ruptures à venir**,
- de **faire connaître au « marché » les enjeux de RTE** et d'impulser la recherche dans leur direction.

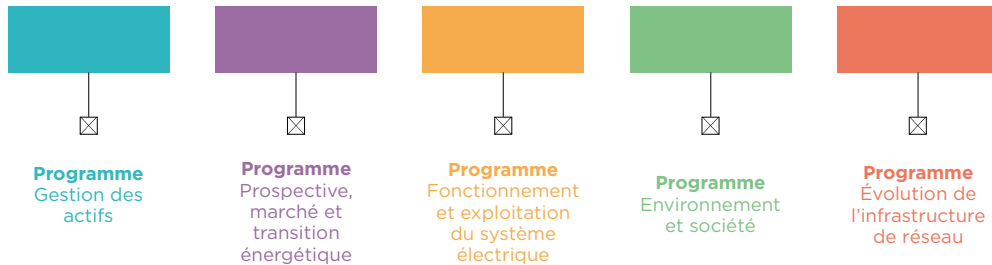


Taux de réalisation des jalons-cibles 2020



TAUX DE RÉALISATION DES JALONS-CIBLES 2020

Les jalons-cibles sont répartis dans les cinq programmes de recherche de la R&D.



SUR 37 JALONS PRÉVUS EN 2020, 27 ONT ÉTÉ PLEINEMENT RÉALISÉS ET CINQ NE L'ONT ÉTÉ QUE PARTIELLEMENT, SOIT UN TAUX DE RÉUSSITE DE 80%.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de jalons-cibles par programme ainsi que le taux de réussite pour les années 2017 à 2020.

Programme	2017	2018	2019	2020	Total
Nombres de jalons					
Évolution de l'infrastructure de réseau	10/10	8/11	5/8	5/7	28/36
% de réalisation	100%	80%	62,5%	71,5%	
Gestion des actifs	9/9	8/10	6,5/8	7,5/10	31/37
% de réalisation	100%	80%	81%	75%	
Environnement et société	4/4	3/5	5/5	5/8	17/22
% de réalisation	100%	60%	100%	62,5%	
Fonctionnement et exploitation	5/5	6/6	7,5/10	8/8	26,5/29
% de réalisation	100%	100%	75%	100%	
Développement optimal	2/2	4/4	4/5	*	10/11
% de réalisation	100%	100%	80%		
Prospectives économie	6/6	7/7	2/4	4/4	19/21
% de réalisation	100%	100%	50%	100%	
TOTAL	36/36	36/43	30/40	29,5/37	131,5/156
	100%	84%	75%	80%	

(*) : Le nombre et la dénomination des programmes ont évolué en 2020. Les programmes «Prospective Économie et Smart-Grids» et «Développement Optimal du Réseau» ont fusionné pour donner naissance au programme «PROSPECTIVE, MARCHÉ ET TRANSITION ÉNERGETIQUE», d'où l'absence de jalon en 2020 dans le programme «Développement Optimal du Réseau».

05

Revue des jalons-cibles 2020



Les intitulés des jalons-cibles prévus pour l'année 2020 sont rappelés ci-dessous. Leur état au terme de l'année écoulée est identifié dans la colonne de droite (colonne «État»), par des symboles et des codes couleur adaptés: jalon-cible atteint (✓); partiellement atteint (≈); non atteint (✗). Dans le cas des jalons non atteints ou partiellement atteints, les résultats obtenus en 2020 sont commentés.

ÉVOLUTION DE L'INFRASTRUCTURE DU RÉSEAU

Phase de R&D et nombre de jalons-cibles en 2020	Intitulés des jalons 2020	Date prévue	Situation à fin 2020 jalon-cible atteint: ✓ Partiel. ^{nt} ≈ Non atteint: ✗
R&D Amont	<p>Domaine Postes Électrique: (Projet sous-marin pour le raccordement des hydroliennes en mer) Projet LISORE avec l'institut de transition énergétique France Energies Marines (FEM): étude des verrous technologiques pour un poste électrique en station offshore flottante ou en hub sous-marin.</p> <p>Livrable : rapport étude du cas d'application et Manuel méthodologique associé</p>	09/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Réseaux à courant continu et électronique de puissance: (Etudes/prototypage/essai de composants spécifiques aux technologies à courant continu) Projet EU PROMOTioN: Etude des différentes stratégies de protection d'un réseau à courant continu, Méthodologie, Indicateurs, Recommandations pour les instances de normalisation permettant de comparer des stratégies de protection en courant continu.</p> <p>Livrable: rapport d'étude et workshops de dissémination</p>	09/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Protection et Contrôle Commande: (Virtualisation du contrôle-commande d'un poste électrique): Résultats de la preuve de concept de la faisabilité de la virtualisation de fonction de protection sur un environnement temps réel industriel propriétaire et détermination d'un projet pluriannuel pour constituer une plateforme « open source » de virtualisation maîtrisée par RTE pour le futur de R#SPACE.</p> <p>Livrable : rapport étude du cas d'application et Manuel méthodologique associé</p>	10/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Réseaux à courant continu et électronique de puissance: (Etudes/prototypage/essai de composants spécifiques aux technologies à courant continu): Collaboration avec CentraleSupélec, sur la faisabilité de limiteurs de courant supra-conducteurs pour accroître la stabilité des réseaux à courant continu et réguler les flux de puissance.</p> <p>Livrable: maquette à échelle réduite de laboratoire</p> <p><i>Commentaire: Du fait de la crise sanitaire, les élèves ingénieurs n'ont pu accéder aux laboratoires. Fin 2020, les travaux ont commencé avec la réalisation de tests sur une bobine, mais la finalisation de la maquette et les tests sont désormais reportés à 2021.</i></p>	12/2020	≈

R&D Amont	<p>Domaine Liaisons: (Ligne de vie marine): Etude de développement de solution bio-inspirée issue de la démarche prospective BIOMIM - Lignes de Vie Marine.</p> <p><i>Commentaire: La rédaction du rapport a pris du retard du fait de la crise sanitaire. Le jalon a été reporté à 2021.</i></p>	12/2020	≈
R&D Amont	<p>Domaine Liaisons: BIOMIMETISME - Evaluation de faisabilité appliquée à une liaison souterraine de la solution bio-inspirée (BIOCALCIS) de calcification du sol, favorisant la dissipation de chaleur et la stabilisation - protection du sol, avec tests le cas échéant.</p> <p>Livrable : rapport étude du cas d'application et Manuel méthodologique associé.</p> <p><i>Commentaire: Le rapport de lancement de l'étude, ainsi que de la réalisation des tests en laboratoire ont été reportés en 2021 du fait de la crise sanitaire.</i></p>	12/2020	✗
Industrialisation	<p>Domaines Liaisons: (Smart MODULES en Lot & Garonne): Retour d'expérience avec Région Toulouse d'une année d'utilisation des SMART MODULES modifiant l'impédance de ligne aérienne sur demande installés sur la ligne DANTOU-VILLENEUVE 63 kV.</p> <p>Livrable : rapport étude du cas d'application et Manuel méthodologique associé.</p>	12/2020	✓
Total	7		5/7

GESTION DES ACTIFS

Phase de R&D et nombre de jalons-cibles en 2020	Intitulés des jalons 2020	Date prévue	Situation à fin 2020 jalon-cible atteint: ✓ Partiel. ^{nt} ≈ Non atteint: ✗
R&D Amont	<p>Domaine Comportement des actifs: (EVA-Electro-Vibro-Acoustique): Il s'agit d'élaborer un modèle multiphysique des bobines d'induction sur la base des travaux de thèse aboutis en 2018, dans le cadre d'une action de plus grande ampleur impliquant des constructeurs.</p> <p>Livrable: contrat de collaboration signé</p>	09/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Comportement des actifs: (Carte de corrosivité): La prédiction de l'endommagement individuel des actifs par corrosion nécessite une collecte importante d'information sur l'agressivité du milieu, historique (présence des industries par exemple) et sur une maille beaucoup plus fine.</p> <p>Livrable: carte globale historique</p> <p><i>Commentaire: Les données INERIS sur 40 ans ont été livrées. Elles seront exploitées dans les prochaines études R&D sur le comportement des équipements dans l'environnement.</i></p> <p><i>La représentation sous forme de carte apparait moins opportune.</i></p>	12/2020	≈
Expérimentation	<p>Domaine Aide à la gestion des actifs: Placement des consignations: l'outil SCOOP (Schedule Optimisation of Operation Planning) ambitionne de fournir une aide à la planification annuelle sur la base de métriques de risque. Un prototype est réalisé dont il faut tester l'efficacité et l'insertion dans le processus de planification.</p> <p>Livrable: Lancement de l'expérimentation sur la plaque lilloise</p>	03/2020	✓
Expérimentation	<p>Domaine Imagerie numérique: (Diridrone): Le projet d'inspection automatique des liaisons aériennes comporte de multiples composantes, dont le vecteur aérien, pour lequel RTE mise sur les propriétés des dirigeables. Après les premiers essais en vol du Diridrone, la prochaine étape est de réaliser des vols autopilotés.</p> <p>Livrable: Rapport d'essais</p>	07/2020	✓
Expérimentation	<p>Domaine Observation connectée: (Stratégie de diagnostic des conducteurs aériens): Le changement souhaité d'une politique de renouvellement des conducteurs sur critère d'âge à un critère d'endommagement nécessite, outre un dispositif de prédiction, un système de diagnostic performant.</p>	09/2020	✓

		Livrable: recette du dispositif d'évaluation par la simulation des procédés de diagnostic.		
Industrialisation	Domaine Aide à la gestion des actifs: (Systèmes d'aide à la gestion des actifs): Fin du développement du simulateur de stratégies de gestion d'actifs MONA (dont la V1 a servi de support à la réalisation du SDDR).	Livrable: réception de MONA V2	02/2020	✓
Industrialisation	Domaine Comportement des actifs: (Projet OLLA de prédiction de l'endommagement des conducteurs aériens): Interclassement d'endommagement des conducteurs alu-acier sur les phénomènes fatigue vibratoire (version complète) et fatigue thermique (simplifié)	Livrable: mise à disposition de l'outil LIFESPAN	07/2020	✓
Industrialisation	Domaine Comportement des actifs: (Stratégie de diagnostic des conducteurs aériens): Le changement souhaité d'une politique de renouvellement des conducteurs sur critère d'âge à un critère d'endommagement nécessite, outre un dispositif de prédiction, un système de diagnostic performant.	Livrable: Mise en service du banc d'essais des systèmes de diagnostic <i>Commentaire: Le banc est en cours de construction, mais les délais ont été victimes du coronavirus. Report à 05/21.</i>	11/2020	✗
Industrialisation	Domaine Observation connectée: (Localisation de défaut sur liaison souterraine): Après l'industrialisation du système avec DAS à demeure, il reste à qualifier le dispositif de localisation mobile sur des défauts réels (phase longue due à la rareté des défauts).	Livrable: rapport de retour d'expérience <i>Commentaire: Une occasion s'est enfin présentée en mars pour localiser un défaut sur une LS, annulée pour cause de confinement. La stratégie globale est en cours de révision.</i>	12/2020	✗
Industrialisation	Domaine Imagerie numérique: (Inspection automatique des liaisons aériennes): L'Inspection automatique repose sur de nombreux modules innovants (vecteur, tracking, algorithmes,...) qu'il faut assembler en système avant d'envisager l'industrialisation.	Livrable: dossier d'opportunité pour décision d'ouverture	12/2020	✓
Total	10			7,5/10

ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

Phase de R&D et nombre de jalons-cibles en 2020	Intitulés des jalons 2020	Date prévue	Situation à fin 2020 jalon-cible atteint: ✓ Partiel. ^{nt} ≈ Non atteint: ✗
R&D Amont	<p>Domaine Biodiversité: (Impact des liaisons sous-marines): OASICE: déterminer les perturbations environnementales en phase travaux et en phase d'exploitation de câbles électriques sous-marins grâce à un bio indicateur, la coquille Saint-Jacques et évaluer sa pertinence comme outil de suivi.</p> <p>Livrable: rapport sur les états initiaux avant travaux d'IFA2</p> <p><i>Commentaire: Avec le COVID (et le confinement), toutes les analyses et relevés sur site n'ont pas pu être réalisés. La rédaction du rapport d'étude a ainsi pris du retard.</i></p>	06/2020	✗
R&D Amont	<p>Domaine Société: (Nouveaux schémas de gouvernance): Lancement de la thèse: Comment penser l'énergie du futur? Le rôle de l'opérateur à mission dans un régime d'innovation intensive (Chaire Théorie de l'entreprise - Mines Paristech).</p> <p>Livrable: Compte-rendu de la première réunion de suivi de la thèse.</p>	09/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Société: (Rapport des français à l'énergie): Prospective société: cadrage méthodologique du volet sociétal du Bilan Prévisionnel horizon 2050.</p> <p>Livrable: méthodologie validée par un rapport</p>	09/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Eco-conception: (Elaboration de la feuille de route Stratégie): Étudier et proposer une stratégie soutenable de consommation de ressources naturelles par RTE au travers du prisme des risques environnementaux et de criticité d'approvisionnement pour les infrastructures de RTE.</p> <p>Livrable: rapport d'étude et proposition de stratégie de soutenabilité de consommation de ressources naturelles du réseau RTE.</p> <p><i>Commentaire: Le rapport est bien amorcé. Une version beta de préfiguration est prévue pour fin décembre pour proposer une feuille de route de travaux en 2021 afin de construire une feuille de route partagée.</i></p>	10/2020	≈
R&D Amont	<p>Domaine Biodiversité: (Impact des liaisons sous-marines) Déterminer les effets de champs électromagnétiques croissants sur des juvéniles de poissons marins en laboratoire (projet CEM juvéniles).</p>	11/2020	✓

		Livrable: démarrage du projet acté: compte-rendu de la première réunion avec les partenaires scientifiques		
Expérimentation		<p>Domaine Biodiversité: (Gestion alternative de la végétation sous les lignes): BELIVE Dimensionner les besoins humains et financiers pour l'organisation d'une gestion alternative de la végétation par un retour d'expérience sur les solutions à déployer à une échelle industrielle et génératrices d'économies et de bénéfices locaux (perception, entente territoriale, activités agricoles, services éco-systémiques, ...).</p> <p>Livrable: Rapport sur le REX de l'organisation du pilotage opérationnel de BELIVE.</p>	11/2020	✓
Expérimentation		<p>Domaine Eco-conception (Zéro-Phyto): Expérimentation de phyto remédiation. Activer l'alliance avec la multifonctionnalité du vivant par l'expérimentation de solutions de végétalisation dotées de capacités de phytoremédiation de notre foncier pollué.</p> <p>Livrable: rapport d'étude d'expérimentation de phyto remédiation sur 1 site de démonstration RTE.</p> <p><i>Commentaire: Le rapport livré concerne une expérimentation réalisée en laboratoire à partir des prélèvements réalisés sur le site du poste de Marsillon.</i></p> <p><i>La seconde partie de l'expérimentation, qui est prévue in situ, est reportée à 2021 (La phase test sur site a été décalée à cause des conséquences de la Covid19).</i></p>	11/2020	≈
Expérimentation		<p>Domaine Eco-conception: (Intégration des critères environnementaux dans les modèles pour le développement de réseau dans les scénarios prospectifs): Cadre méthodologique d'évaluation environnementale en cycle de vie pour le BP2050.</p> <p>Livrable: rapport d'étude</p> <p><i>Commentaire: Projet en cours. La livraison du BP a été fixée à juin 2021. Des premiers résultats d'étude ont déjà été présentés notamment lors de la concertation.</i></p>	12/2020	✗
Total	8			5/8

FONCTIONNEMENT ET EXPLOITATION

Phase de R&D et nombre de jalons-cibles en 2020	Intitulés des jalons 2020	Date prévue	Situation à fin 2020 jalon-cible atteint: ✓ Partiel. ^{nt} ≈ Non atteint: ✗
R&D Amont	<p>Domaine Optimisation de l'Exploitation: (Outils exploitation de la salle H24): Axe APOGEE-iTesla: Bilan de l'expérimentation "worst case" au CNES sur la frontière France Espagne qui vise à une meilleure prise en compte des incertitudes sur cette frontière dans nos décisions d'exploitation.</p> <p>Livrable: rapport d'études.</p>	06/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Intégration des flexibilités: (Automate de zone pour gérer les flexibilités): Axe Architecture Pilotage: Rédaction des spécifications d'un automate de gestion de congestion dans une architecture décentralisée dans le cadre du projet européen Ecsel CPS4Eu.</p> <p>Livrable: spécifications validées par le consortium européen.</p>	07/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Optimisation de l'Exploitation: (Calculs de capacités aux interconnexions): Axe Architecture Pilotage: Intégration des flexibilités dans le couplage de marché: Prise en compte des parades gratuites et payantes dans le flow based.</p> <p>Livrable: rapport d'études sur les pistes d'améliorations</p>	11/2020	✓
Expérimentation	<p>Domaine Intégration des flexibilités: (Automate de zone pour gérer les flexibilités): Axe Architecture Pilotage: Implémentation d'un contrôle en boucle fermé avec une approche « Model Predictive Control » -MPC- dans un automate de zone NAZA pour gérer les congestions sur la zone de Melle Longchamps.</p> <p>Livrable: Algorithme validée en plateforme de recettes</p>	09/2020	✓
Expérimentation	<p>Domaine Optimisation de l'Exploitation: (Outils exploitation de la salle H24): Axe APOGEE-iTesla: Rapport d'études sur la coordination exploitation/maintenance autour des retraits d'ouvrages à Nantes.</p> <p>Livrable: rapport d'étude.</p>	12/2020	✓

Expérimentation	<p>Domaine Maitrise de la stabilité: (Migrate et Osmose-WP3): Axe 100% électronique de puissance (EP): Dans Le projet européen H2020 OSMOSE, qui cherche à définir le mix optimal de flexibilités et dont RTE est le coordinateur.</p> <p>RTE mettra en service à Luzenac un démonstrateur, dit « grid-forming », s'appuyant sur une batterie et un supercapacitor, afin de mettre en œuvre, pour la première fois sur le RPT français, une source de synchronisme à base d'électronique de puissance.</p> <p>Le projet européen MIGRATE, dont RTE était le coordinateur, avait fait la preuve théorique de la capacité d'un réseau grande échelle de pouvoir accueillir 100% de sources de production à base d'électronique de puissance (typiquement Eolien, PV). Ce démonstrateur OSMOSE est la mise en œuvre concrète des idées poussées dans le projet MIGRATE.</p> <p>Livrable: Mise en service du démonstrateur.</p>	09/2020	✓
Industrialisation	<p>Domaine Maitrise de la stabilité: (Dynamo): Axe 100% EP: mise en service pour parallel run du nouveau modèle de simulation dynamique « Dynawo ».</p> <p>L'objectif de ce simulateur « Dynawo » est de répondre efficacement aux enjeux de la transition énergétique en réalisant des études de réseau de qualité qui nécessitent, de modéliser de façon appropriée les Enr, les liaisons HVDC, les batteries et de simuler au plus proche de la réalité les automates (RINGO, NAZA, DLR...).</p> <p>Ce simulateur s'appuie sur une séparation modèleur/solveur, sur l'utilisation d'un langage de modélisation de haut niveau MODELICA et approche résolument OpenSource.</p> <p>Livrable: Simulateur déployé opérationnellement au Centre National d'Exploitation du Système.</p>	12/2020	✓
Industrialisation	<p>Domaine Impact des flexibilités sur l'exploitation: (Evolutions des prévisions pour la gestion court-terme de l'EOD et du réseau): Axe APOGEE-iTesla: Mise en œuvre opérationnelle d'un nouveau calcul des marges requises: MAUI.</p> <p>Livrable: Nouveau calculateur déployé opérationnellement au Centre National d'Exploitation du Système.</p>	04/2020	✓
Total	8	8/8	

PROSPECTIVE, MARCHÉ ET TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Phase de R&D et nombre de jalons-cibles en 2020	Intitulés des jalons 2020	Date prévue	Situation à fin 2020 jalon-cible atteint: ✓ Partiel. ^{nt} ≈ Non atteint: ✗
R&D Amont	<p>Domaine Prospective Economique: (Vision multi-énergie): Prospective Hydrogène et Power-to-Gas: finalisation de l'étude de l'impact du développement de l'électrolyse sur le système électrique et sur les émissions de CO2, selon différents modèles d'affaire possibles.</p> <p>Livrable: rapport d'études</p>	01/2020	✓
R&D Amont	<p>Domaine Prospective Economique: (Impacts du climat): Benchmark scénarios climatiques, entre scénarios Météo-France et scénarios open data (Copernicus).</p> <p>Résultats des premières comparaisons sur des indicateurs simples: température, vent, ensoleillement. Sont attendues des comparaisons des distributions statistiques et des queues de distribution (probabilité d'évènement extrêmes)</p> <p>Livrable: rapport d'études</p>	09/2020	✓
Expérimentation	<p>Domaine Développement optimal pour la transition énergétique: ANTARES: simulation probabiliste de l'équilibre offre-demande et du grand transport</p> <p>Antarès/hydraulique: Amélioration de la prise en compte des apports hydrauliques dans les études d'offre-demande, à un horizon long-terme, grâce à un simulateur d'apports hydrauliques utilisant les scénarios climatiques à l'horizon 2050.</p> <p>Livrable: simulateur recetté et mis en production</p>	12/2020	✓
Expérimentation	<p>Domaine Prospective Economique: (Impacts du climat): Simulateur de production photovoltaïque pour les études de réseau: descente d'échelle à la précision géographique des points de livraison du réseau de transport, en multi-situations.</p> <p>Livrable: simulateur recetté et mis en production</p>	09/2020	✓
Total	4		4/4



Le réseau
de transport
d'électricité

Immeuble Window
7C, place du Dôme
92073 Paris - la Défense Cedex
www.rte-france.com