



Le réseau
de transport
d'électricité

BILAN R&D 2021



SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE LA DIRECTION DE LA R&D DE RTE ET CHIFFRES CLÉS 2021	3
1.1 ORGANIGRAMME DE RTE	4
1.2 MOYENS DE LA DRD	4
1.3 ORGANISATION DE LA DRD	5
1.4 SUIVI DES ACTIVITÉS DE R&D	7
2. FAITS MARQUANTS 2021	9
2.1 ANTAREXPANSION, OUTIL STRATÉGIQUE DE CALCUL DES MIX ÉNERGÉTIQUES, PUBLIÉ EN OPEN SOURCE	10
2.2 INDEMNISATION DES ÉCRÊTEMENTS DE PRODUCTION ENRS TERRESTRES – RECHERCHE DE LA MEILLEURE MÉTHODE DE CALCUL DE L'ÉNERGIE NON ÉVACUÉE	11
2.3 PANEL ELECDOM : UNE NOUVELLE VOIE POUR L'ÉTUDE DES CONSOMMATIONS RÉSIDENTIELLES	13
2.4 UNE EXPÉRIMENTATION POSITIVE POUR DYNAWALTZ, LE NOUVEAU SIMULATEUR DE STABILITÉ LONG-TERME DE LA GAMME DYNAQO	16
2.5 OLLA, BOÎTE À OUTIL POUR LA GESTION DES CONDUCTEURS AÉRIENS	18
2.6 IMPACTS DES LIGNES ÉLECTRIQUES HT SUR LA FAUNE SAUVAGE : DES PREMIERS RÉSULTATS POSITIFS !	20
2.7 FUTURS ÉNERGÉTIQUES 2050	23
3. DÉMONSTRATEURS R&D	25
3.1 CONTRIBUTION AU PROJET H2020 OSMOSE	26
3.2 DÉMONSTRATEUR SUR LE POWER-TO-GAS : PROJET JUPITER 1000	27
4. PARTENARIATS 2021	29
4.1 RTE ET LE CEA LANCENT LE PROJET NACRE POUR ÉVALUER DIFFÉRENTES ARCHITECTURES DE CONTRÔLE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE	30
4.2 VERS UNE COLLABORATION ASSISTANTS-OPÉRATEURS POUR DES PRISES DE DÉCISION AUGMENTÉE EN SALLES H24	33
4.3 PARTENARIAT AVEC BLACKLIGHT ANALYTICS POUR AMÉLIORER L'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ TRANSITOIRE	36
5. MONTAGE DE PROJETS	37
6. PUBLICATIONS 2021	39
7. BILAN FINANCIER 2021	44
7.1 DÉPENSES 2021 DE LA R&D DE RTE	45
7.2 RÉPARTITION DES DÉPENSES PAR PROGRAMME	46
7.3 SUBVENTIONS 2021	46
7.4 RÉGULATION DU BUDGET DE R&D SUR LA PÉRIODE TARIFAIRE	47
8. TAUX DE RÉALISATION DES JALONS CIBLES 2021	48
9. REVUE DES JALONS CIBLES 2021	50
9.1 FUTURS CYBER-PHYSIQUES ET ÉCOCONÇUS DES INFRASTRUCTURES DU RÉSEAU	51
9.2 GESTION DES ACTIFS	54
9.3 ENVIRONNEMENT, SOCIÉTÉ ET PROSPECTIVE	56
9.4 STABILITÉ DU SYSTÈME	59
9.5 PILOTAGE DU SYSTÈME	60
9.6 CLIMAT, EOD ET RÉSEAU LT	61
9.7 R&D TRANSVERSE	62

1.

**PRÉSENTATION
DE LA DIRECTION
DE LA R&D DE RTE
ET CHIFFRES CLÉS
2021**

1.1 ORGANIGRAMME DE RTE

Rattachée au Pôle « Clients-Conception et opération des systèmes », la Direction Recherche & Développement (DRD) de RTE innove pour réussir les transitions énergétique et écologique, et ce en co-construisant ses solutions avec des acteurs majeurs aux domaines de compétences très variés : électrotechnique, sciences des matériaux, mécanique, économie, numérique, mathématiques appliquées, éco-conception, ou encore sciences humaines et sociales.

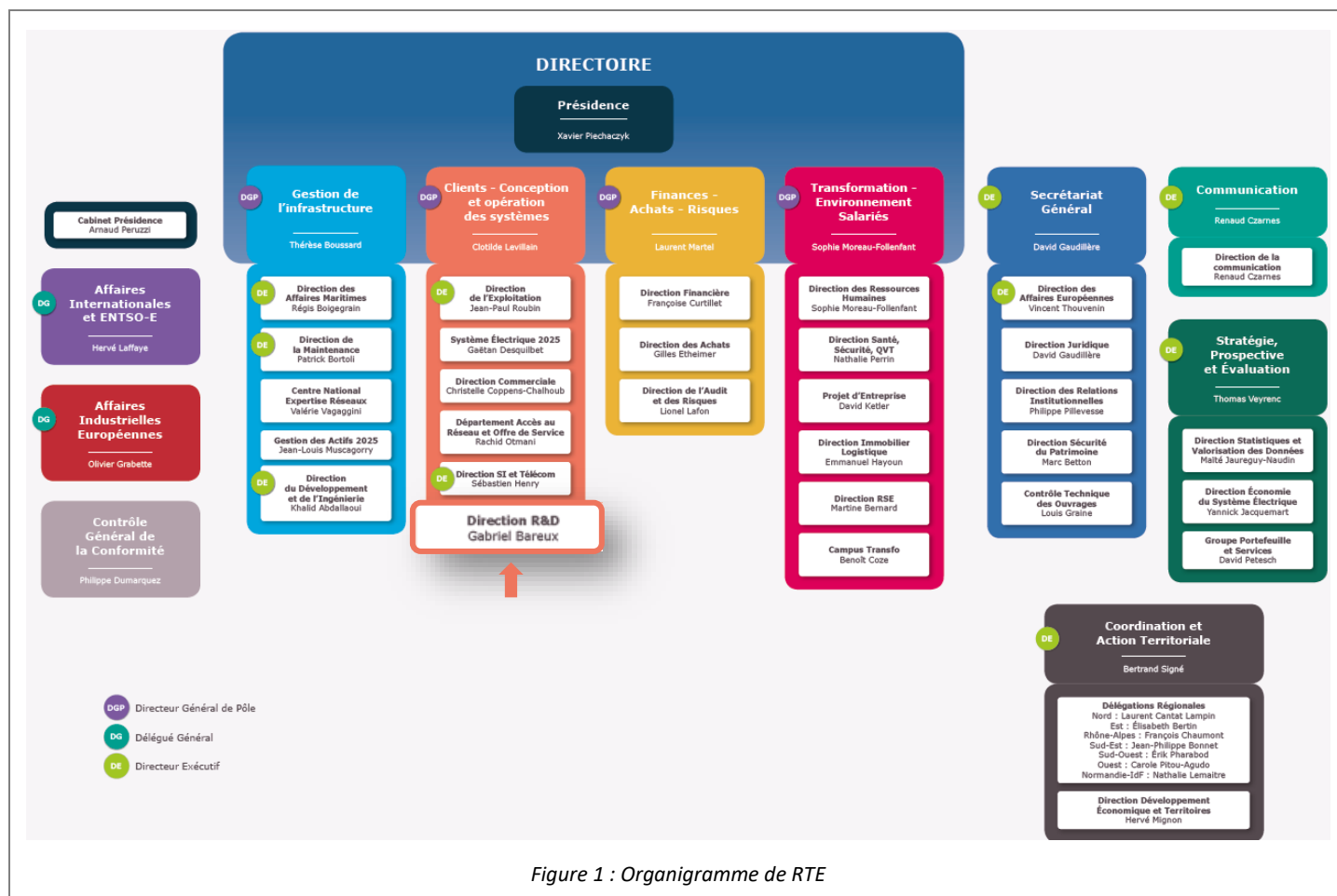


Figure 1 : Organigramme de RTE

1.2 MOYENS DE LA DRD

Pour remplir ses missions, la R&D s'appuie sur l'expertise d'**environ 130 ingénieurs** impliqués dans les activités de recherche et développement et participe à de nombreux travaux avec **plus d'une centaine de partenaires externes dans le monde entier** (des universités, des GRTs, des industriels, des services publics, etc.). D'autre part, la R&D bénéficie d'un budget d'**environ 40 M€/an** approuvé par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE).

De plus, la R&D **pilote la normalisation de RTE** à travers **50 experts mobilisés** au sein d'autres entités de RTE, comme par exemple le CNER (Centre National d'Expertise Réseaux) en faisant préciser les enjeux et les mandats de normalisation. En effet, la normalisation représente un levier important pour sécuriser les choix techniques et les achats de matériel de RTE.

1.3 ORGANISATION DE LA DRD

L'année 2021 est la première de la feuille de route de la R&D 2021-2024 de RTE, engagée dans le cadre de la période de régulation TURPE 6.

Cette feuille de route a été établie à la suite de travaux de réflexion stratégique, de consultations internes et externes, menés dans le cadre du projet CAP R&D. Ce projet visait à aborder les grands enjeux des décennies à venir pour le secteur de l'énergie et la société dans son ensemble, et leurs impacts sur le développement, la maintenance et l'exploitation du réseau : le changement climatique, l'effondrement de la biosphère, l'extraction accélérée des ressources, l'aggravation des inégalités mais également l'accélération de l'accès aux données et du partage des connaissances. Il faut s'attendre à ce que ces enjeux prennent des dimensions économiques et réglementaires structurantes d'ici 2050, et il est nécessaire que le réseau public de transport et le système électrique français y soient préparés.

Les travaux menés dans CAP R&D ont permis d'intégrer ces enjeux à une réflexion stratégique adoptant un prisme multicritère, qui combine le critère de performance technico-économique avec des critères sociaux et environnementaux. Le sujet est vaste et toutes les réflexions n'ont pas encore abouti, toutefois cette vision, plus systémique, a conduit à rechercher des solutions synergiques (avec une bonne réponse sur plusieurs critères). Ceci a permis d'une part de susciter de nouvelles questions de R&D et, d'autre part, d'élargir le regard de RTE sur les questions qu'il traite déjà, notamment l'intégration des énergies renouvelables (en particulier en mer), les besoins croissants de renouvellement des actifs, l'intégration européenne des marchés et l'électrification des usages de l'énergie (en particulier la mobilité). Ce prisme a permis également d'apporter du discernement dans les opportunités permises par les nouvelles ressources ou technologies telles que les objets connectés, les flexibilités diffuses (en particulier celles apportées par les véhicules électriques), la robotique, les calculs localisés (Edge computing), l'intelligence artificielle, le biomimétisme, etc.

Afin de consolider les axes identifiés pour sa feuille de route R&D publiée début octobre 2021, la Direction de la R&D de RTE a choisi d'organiser son activité autour de **6 programmes R&D fonctionnels** cohérents mentionnés ci-dessous en « pétales » ; au centre, **un 7^e programme R&D** porte les compétences transverses qui irriguent l'ensemble des activités.



Figure 2 : Les 7 programmes R&D

Ces programmes intègrent eux-mêmes, chacun, un certain nombre de feuilles de route thématiques. Le tableau ci-dessous présente la répartition des **24 feuilles de route thématiques** dans les 7 programmes R&D.

Programmes R&D	Feuilles de Route
01. R&D transverse	1. Numérique pour Observer, Prédire et Décider
	2. Open R&D
02. Stabilité du système	3. Simulateurs électrotechniques du fonctionnement du système
	4. Stabilité d'un système en forte mutation
03. Pilotage du système	5. Equilibre Offre-Demande (EOD), assistant salles H24
	6. Flux, assistant salles H24
	7. Prévisions Court-Terme
04. Gestion des actifs	8. Assistant Salles H24 Matériels
	9. Automatisation de l'inspection du réseau et moyens d'intervention
	10. Prédire le comportement des équipements
	11. Systèmes d'Aide à la Gestion des Actifs
05. Futurs cyber-physiques et éco-conçus des infrastructures du réseau	12. Architecture de pilotage du système hybride cyber-physique
	13. Contrôle Commande
	14. Electronique de puissance et Courant-Continu
	15. Futurs des infrastructures LIAISONS
06. Environnement, Société et Prospective	16. Futurs des infrastructures POSTES
	17. Ecoconception, analyses environnementales et de résilience
	18. Biodiversité
	19. Gouvernance et régulation en phase avec la société
	20. Société
07. Climat, Equilibre Offre Demande (EOD) et Réseau Long Terme (LT)	21. Système énergétique futur
	22. Climat, météo et impacts sur le système électrique
	23. Evolution du réseau
	24. Modélisation Equilibre Offre-Demande Long-Terme

1.4 SUIVI DES ACTIVITÉS DE R&D

Maturité technologique

Chaque projet R&D, rattaché à un programme R&D et une feuille de route R&D, a été classé par niveau de maturité technologique selon le code couleur présenté dans le tableau ci-dessous :

Maturité	Répartition visée du portefeuille de projets R&D	Technology Readiness Level ¹ (TRLs)	
01. R&D Exploratoire	~25%	TRL 1	Veille, observation du principe de base
		TRL 2	Formulation du concept technologique
		TRL 3	Preuve expérimentale de conception
02. Maquettage et validation de concept	~45%	TRL 4	Validation de la technologie en laboratoire
		TRL 5	Validation de la technologie en environnement réel
03. Démonstration	~25%	TRL 6	Démonstration de la technologie en environnement réel
		TRL 7	Démonstration du système à l'échelle prototype en environnement opérationnel
04. Pré-industrialisation	~5%	TRL 8	Qualification d'un système complet
		TRL 9	Système réel démontré en environnement opérationnel

La transposition des niveaux de maturité aux types d'activités R&D menées à RTE est présentée ci-dessous :

- **R&D exploratoire** : Preuve de concept sur des cas réduits, on s'intéresse à un domaine, on formule la question, on définit des bases de modélisation, et après on fait des premiers tests sur des *toy problems*.
- **Maquettage et validation de concept** : Validation en laboratoire sur des cas représentatifs du contexte opérationnel (ex : une simulation tourne à la R&D sur un cas réel). Les modélisations et tests exploratoires sont réalisés sur des problèmes réels mais sans sortir du laboratoire R&D. On n'a pas encore la garantie que l'approche fonctionnera en environnement opérationnel.
- **Démonstration** : Validation en contexte opérationnel. S'agissant d'un logiciel, on développe un prototype qu'on teste en environnement opérationnel (ex : test au Centre National d'Exploitation du Système (CNES) en *off line*). S'agissant d'une étude, on engage une étude tête de série (ex : Futurs Énergétiques, mobilité électrique, hydrogène) avec de bonnes chances que les résultats puissent être publiés par RTE.
- **Pré-industrialisation** : Validation opérationnelle complète et portage auprès des métiers. S'agissant d'un logiciel, on réalise des tests dont le succès permet la mise en production. S'agissant d'une étude, on capitalise l'étude tête de série et on réalise toutes les actions nécessaires (ex : documentation de la nouvelle méthodologie) pour qu'elle soit reproductible directement par les métiers sans intervention de la R&D.

¹ L'échelle des *Technology Readiness Levels* (TRL) définit les niveaux de maturité technologique sur une échelle de 1 à 9. Elle fût initiée par la NASA et fait référence en recherche technologique.

Cette échelle à quatre niveaux est désormais utilisée pour identifier la maturité des activités R&D de RTE. Elle permettra de suivre la progression des travaux de R&D durant la période TURPE 6. Une attention particulière est portée par la Direction de la R&D pour s'assurer que 70% de l'effort R&D est mené sur les niveaux de maturité (TRL 4 à 7) correspondant au maquetage, la validation de concept et la réalisation de démonstration en environnement réel. Ces phases permettent d'accompagner le déploiement de nouvelles technologies et de nouveaux concepts sur le réseau de transport d'électricité. Le quart de l'effort R&D est porté sur la R&D exploratoire, alors que 5% de l'effort est destiné à la pré-industrialisation et/ou à l'accompagnement de l'industrialisation permettant ainsi d'assurer le transfert des résultats de R&D vers les métiers opérationnels (lesquels apportent, sur leurs budgets, la part complémentaire nécessaire à la pleine réalisation de ces industrialisations).

Finalité des travaux de R&D

La création de valeur visée par la R&D peut prendre différentes formes. Ainsi, pour chaque projet R&D présenté, **un tag sera proposé afin d'identifier la finalité de l'action R&D.**

Performance industrielle : 	les projets identifiés par ce tag ont pour objectif d'améliorer la performance industrielle de RTE. Cela peut être mené au travers de différentes missions comme par exemple, celles consistant à anticiper les changements de régulation, à favoriser l'optimisation économique grâce à l'écoconception (ex : réduire l'utilisation de matières ou optimiser la maintenance) ; à favoriser l'émergence d'offres industrielles, à optimiser des coûts des services systèmes, à apporter à l'opérateur RTE une meilleure vision du parc en temps réel, pour une gestion des actifs plus efficace, y compris dans les situations de défaillance, à maîtriser la complexité de l'hybridation numérique et des approches probabilistes, permettant d'exploiter les infrastructures aux limites, et donc de dimensionner au plus juste, d'éviter du redispach, d'assurer la continuité du service, etc.
Sûreté, résilience et sécurité : 	les projets identifiés par ce tag ont pour objectifs d'améliorer la sûreté, la résilience et la sécurité du système. Cela peut être mené au travers de différentes missions comme, par exemple, celles consistant à identifier les fragilités de l'entreprise dans des situations de crises nouvelles (ex : dérèglement climatique, raréfaction des ressources), alimenter la stratégie de RTE pour un réseau futur tirant parti des nouvelles technologies, adapté au mix de production et de consommation futur, et au contexte sociétal (acceptabilité, recyclabilité, résilience, etc.), à sécuriser le fonctionnement, à réduire l'impact des situations de défaillance EOD.
Transition écologique : 	les projets identifiés par ce tag ont pour objectifs d'aider à piloter la transition énergétique, de favoriser la mobilité décarbonée, de limiter l'empreinte environnementale et développer un potentiel impact environnemental positif de RTE, d'optimiser les coûts et l'empreinte du système énergétique français et de contribuer à l'éclairage des acteurs publics nationaux et locaux au sujet de la politique énergétique nationale.
Services aux clients 	(consommateurs, producteurs, acteurs de marché, etc.) : les projets identifiés par ce tag ont pour objectifs d'ouvrir de nouveaux services en anticipant les évolutions réglementaires, d'ouvrir une option d'élargissement de la mission de RTE, susceptible de changer profondément le regard porté sur nos infrastructures, dans un contexte d'intérêt grandissant des pouvoirs publics, d'assurer la transparence de RTE sur son empreinte vis-à-vis du grand public et d'être plus en phase avec les attentes des consommateurs.
Salariés 	(prévention-sécurité, transformation des métiers, formation, qualité de vie au travail, etc.) : les projets identifiés par ce tag ont pour objectifs d'améliorer la sécurité et la qualité de vie au travail des salariés de RTE, de transformer les gestes métiers en profitant des avancées offertes par les nouvelles technologies. Cela peut être mené au travers de différentes missions comme par exemple, celles consistant à automatiser les tâches fastidieuses et libérer les opérationnels pour les questions de haut niveau.

2.

**FAITS MARQUANTS
2021**

2.1 ANTARESXPANSION, OUTIL STRATÉGIQUE DE CALCUL DES MIX ÉNERGÉTIQUES, PUBLIÉ EN OPEN SOURCE



Quels réseaux électriques faut-il développer en Europe pour **suivre la montée en puissance de l'éolien et du solaire** ? Quels besoins en **moyens de flexibilité** dans des mix énergétiques à **forte composante de renouvelables intermittentes** ? La R&D a **publié en open source en 2018 une version totalement refondue d'un outil de référence**, antaresXpansion, permettant de répondre à ce type de questions grâce au calcul du parc de production et du réseau optimaux.

Un outil au service d'études majeures, en France comme en Europe

Un prototype était utilisé depuis 2017 par les équipes de DIESE (Direction de l'Economie du Système Electrique de RTE) dans le cadre du Schéma Décennal de Développement Réseau (SDDR) et plus récemment pour le TYNDP (Ten Years Network Development Plan). Mais aussi par Elia et 50Hertz, pour montrer la nécessité d'un mécanisme de capacité dans le cadre de **l'étude de moyen terme de référence ENTSO-E, l'ERAA (European Resource Adequacy Assesment)**.

Le nouvel outil industriel antaresXpansion, plus performant², permet de s'attaquer à des problèmes d'une très grande complexité mathématique. Il a également été utilisé pour réaliser les études des **Futurs Énergétiques 2050** afin d'optimiser le bouclage en flexibilités des scénarios en arbitrant entre des centrales à gaz vert, des batteries et le développement des interconnexions.

Un logiciel puissant, simulant la complexité du système énergétique

Les possibilités d'investissement testées par antaresXpansion peuvent être des capacités de production thermique ou renouvelable, de transport ou de flexibilité (stockage, effacement). La recherche de la combinaison optimale de ces options se fait simultanément sur les capacités de tous les candidats à l'investissement, et non pas candidat par candidat. Ce faisant, l'algorithme d'antaresXpansion est capable d'identifier et de prendre en compte l'impact de synergies entre ouvrages – par exemple une ligne A-B qui ne devient intéressante qu'une fois la ligne B-C construite – ou de compétitions – par exemple un corridor A-B-C parallèle à un autre corridor A-D-C.

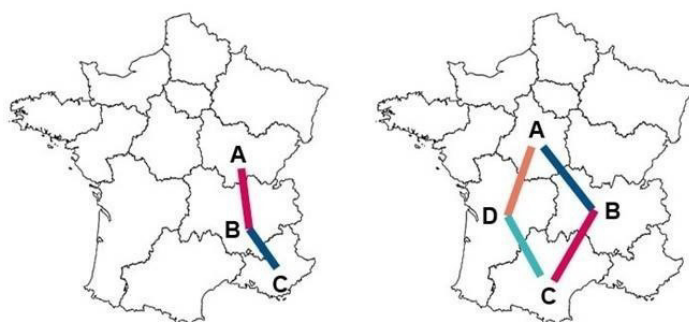


Figure 3 : Illustration de choix possibles d'investissements dans le réseau de grand transport d'électricité français

² antaresXpansion fonctionne comme une surcouche du logiciel d'équilibre offre-demande Antares. À parc de production et capacités de réseaux donnés, le cœur Antares optimise le programme de production et les échanges de manière à répondre à la demande au moindre coût. antaresXpansion permet lui de déterminer le parc de production et/ou les capacités de réseau permettant de minimiser les coûts totaux : fixes (annuités d'investissement financier, maintenance, etc.) et variables (coûts de démarrage, combustible, etc.).

Par son interaction avec le logiciel Antares, antaresXpansion permet de plus de trouver les combinaisons d'investissement optimales sur un périmètre géographique large, couvrant l'ensemble du système européen. Les capacités de production investies par antaresXpansion peuvent donc trouver des débouchés dans la zone dont elles sont issues, mais également dans les zones voisines lorsque les capacités d'échanges le permettent.

Ces facultés visent à positionner antaresXpansion comme un des outils de référence en Europe, le seul disponible en open source présentant de telles capacités de modélisation.

Pour plus d'informations :

- **Site Antares-Simulator** : <https://antares-simulator.org/news/strategic-tool-for-calculating-energy-mixes-antares-xpansion-is-now-available/>
- **Module et documentation** : <https://github.com/AntaresSimulatorTeam/antares-xpansion>

2.2 INDEMNISATION DES ÉCRÊTEMENTS DE PRODUCTION ENRs TERRESTRES – RECHERCHE DE LA MEILLEURE MÉTHODE DE CALCUL DE L'ÉNERGIE NON ÉVACUÉE



L'**évolution du mix électrique** liée notamment au développement des énergies renouvelables nécessite d'**adapter le réseau à la nouvelle répartition géographique des sources de production**. Ainsi, comme RTE l'a décrit dans son Schéma Décennal de Développement du Réseau, la mise en œuvre du dimensionnement **optimal à horizon 2035**, nécessite sur le volet technique la possibilité de recourir plus fréquemment et de manière ciblée à de **l'écèlement de production ENRs dans certaines zones**.

Dans l'immédiat, l'infrastructure de réseau actuelle et ses évolutions déjà engagées ou envisagées dans le cadre des Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables (« S3REnR »), semble globalement bien adaptée pour faire face encore pendant quelques années à l'arrivée de nouvelles installations de productions renouvelables, sans nécessiter de développements de réseau majeurs.

Toutefois, le besoin d'avoir recours à des écrêtements existe déjà. Des premiers écrêtements de production des parcs ENRs terrestres ont eu lieu en 2020 à la suite de contraintes de transit à réseau complet sur l'HTB1.

Le dimensionnement optimal, exigence de transparence et d'indemnisation

Pour mettre en place un système qui donne confiance à tous les acteurs du système électrique, il est nécessaire d'explicitier et de concerter une/des méthodes permettant de connaître la perte d'un parc due à un écrêtement de production.

Des premiers travaux internes RTE ont été menés par le Programme Ecrêtements de la production des ENRs terrestres³, en partenariat avec la R&D, pour identifier et apprécier les différentes méthodes de calcul utilisées aujourd'hui ou possibles afin d'estimer l'ENE. Les méthodes suivantes ont ainsi été identifiées :

- La méthode du rectangle simple consiste à supposer que la puissance moyenne sur la durée de l'écèlement est identique à la puissance observée juste avant l'écèlement ;

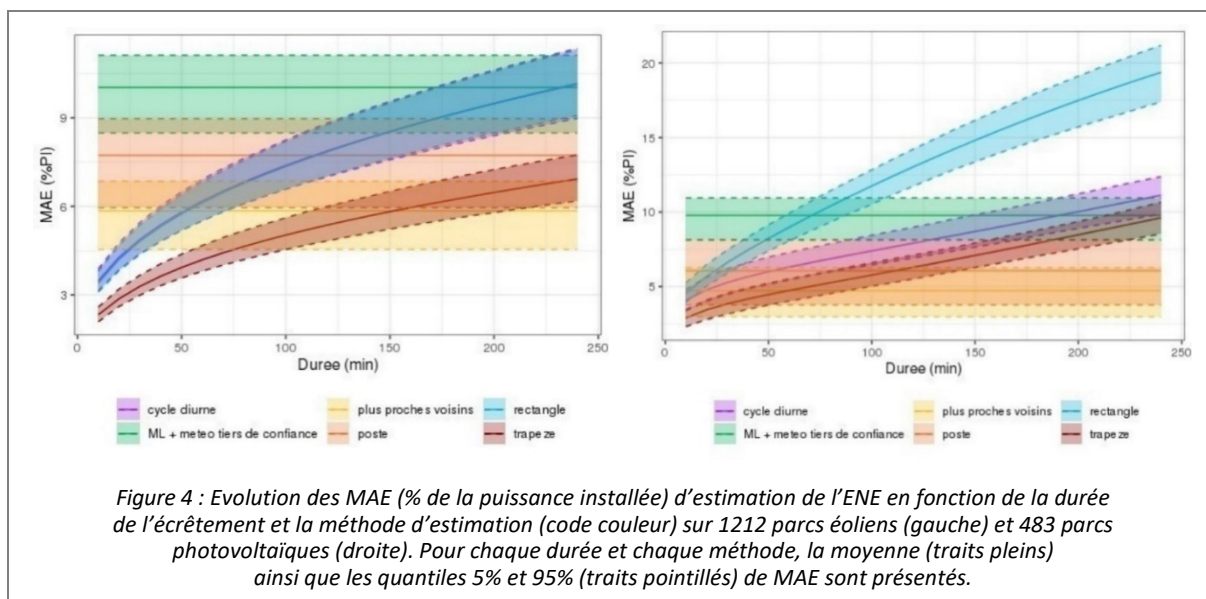
³ Le programme rassemble les entités de RTE suivantes : Direction Exploitation, Direction Economie du Système Electrique, Département Accès au Réseau et Offres de Services, Direction R&D, Centre National d'Expertise Réseau, Direction Commerciale, Direction Système d'Information et Télécom, Direction Maintenance.

- La méthode des trapèzes consiste à supposer que la puissance évolue tout au long de l'écrêtement de manière linéaire entre la puissance observée juste avant et après l'écrêtement ;
- D'autres méthodes se basent sur la production d'autres parcs, non écrêtés, observée au moment de l'écrêtement pour estimer l'ENE du parc écrêté. Le calcul peut ne tenir compte que de critères géographiques, comme par exemple le facteur de charge moyen des parcs raccordés au même poste électrique que celui du parc écrêté (poste), ou encore de critères purement statistiques (matricielle) visant à minimiser l'erreur d'estimation. La plateforme d'Insertion de la Production Éolienne et Solaire (IPES) met déjà en œuvre ces méthodes sur des données temps réel afin de permettre une bonne observabilité des filières photovoltaïque et éolienne. Enfin, une approche multicritère, combinant proximité géographique et corrélation inter-parcs, appelées k plus proches voisins géographiques, est utilisée par ENEDIS pour les indemnités contractuelles en cas d'indisponibilité du réseau ainsi que pour le contrôle du réalisé dans le cadre de leurs différentes expérimentations ;
- D'autres approches d'estimation du productible écrêté consistent à combiner mesures in-situ de vitesses de vent avec les caractéristiques physiques des modèles de turbines (physique) ou à appliquer des modèles de machine learning à des données météo fournies par un tiers de confiance (machine learning + météo tiers de confiance). Ces approches sont également utilisées sur la plateforme IPES (modules FOSPHOR et PREOLE) dans le but de mieux prévoir la production de chaque centrale sur les 2 prochains jours ;
- Enfin, les programmes d'appel/de marche transmis par les producteurs et déjà utilisés par RTE pour les offres implicites du mécanisme d'ajustement peuvent être utilisés.

L'ensemble de ces méthodes a été analysé d'un point de vue qualitatif selon trois grands axes (fiabilité, complexité de mise en œuvre opérationnelle et potentiel d'acceptabilité des producteurs). Cette analyse a permis de mettre en avant certains désavantages de méthodes prometteuses comme la fiabilité de la méthode des k plus proches voisins géographiques en cas d'écrêtements simultanés sur une vaste zone, l'interprétabilité d'approches utilisant des méthodes de machine learning complexes ou enfin la difficulté de mise en œuvre de méthodes utilisant des mesures météorologiques de bonne qualité au niveau des centrales.

Une étude quantitative de la R&D propose des solutions plus performantes

En complément, une étude menée par la R&D a permis de quantifier les performances de chacune de ces solutions pour la filière éolienne. Ces travaux ont été menés en utilisant les historiques de comptages de plus de 1 200 parcs éoliens sur l'ensemble de l'année 2019. Des écrêtements de durée allant de 10 min à 120 min ont été envisagés. Pour chacun des 52 650 pas de temps 10 min constituant l'année 2019, les méthodes ont été appliquées en vue d'estimer la production de chaque centrale hors écrêtement. Ces estimations ont ensuite été comparées aux comptages réellement observés pour permettre le calcul de métriques de performances. Ainsi, l'erreur absolue moyenne (MAE) et la moyenne des erreurs (biais), exprimés en pourcentage de la puissance installée de chaque parc éolien, ont permis de classer les méthodes entre elles.



Ces travaux ont ainsi permis de mettre en évidence les avantages de la méthode des trapèzes pour les écrêtements courts (<150 min pour l'éolien et 60 min pour le photovoltaïque) ou encore les bonnes performances des méthodes tirant profit des comptages des parcs alentours (plus proches voisins) pour les écrêtements moyens à longs. Bien que testée sur un nombre très restreint de parcs éoliens (19 sur 1212) en raison de la faible disponibilité d'historique de vitesse de vent sur site, la méthode dite physique semble tout à fait adaptée pour répondre au besoin, à condition de disposer de mesures de vent fiables. En revanche, la méthode utilisant la météo d'un tiers de confiance s'est avérée moins performante que les autres en raison de l'imprécision spatiale et temporelle des données météorologiques utilisées.

Des travaux transverses confrontés aux attentes des acteurs du système électrique

Sur la base de ces éléments élaborés par la R&D et le programme écrêtements de la production des ENRs terrestres, des échanges avec les acteurs du système électrique ont été organisés en 2021 dans le cadre des instances de concertations afin de partager et de converger sur une ou plusieurs méthodes. Cette démarche toujours en instruction permettra d'aboutir à un consensus autour d'une solution intelligible de tous, performante, et dont la mise en œuvre sera acceptable par tous.

2.3 PANEL ELECDOM : UNE NOUVELLE VOIE POUR L'ÉTUDE DES CONSOMMATIONS RÉSIDENIELLES

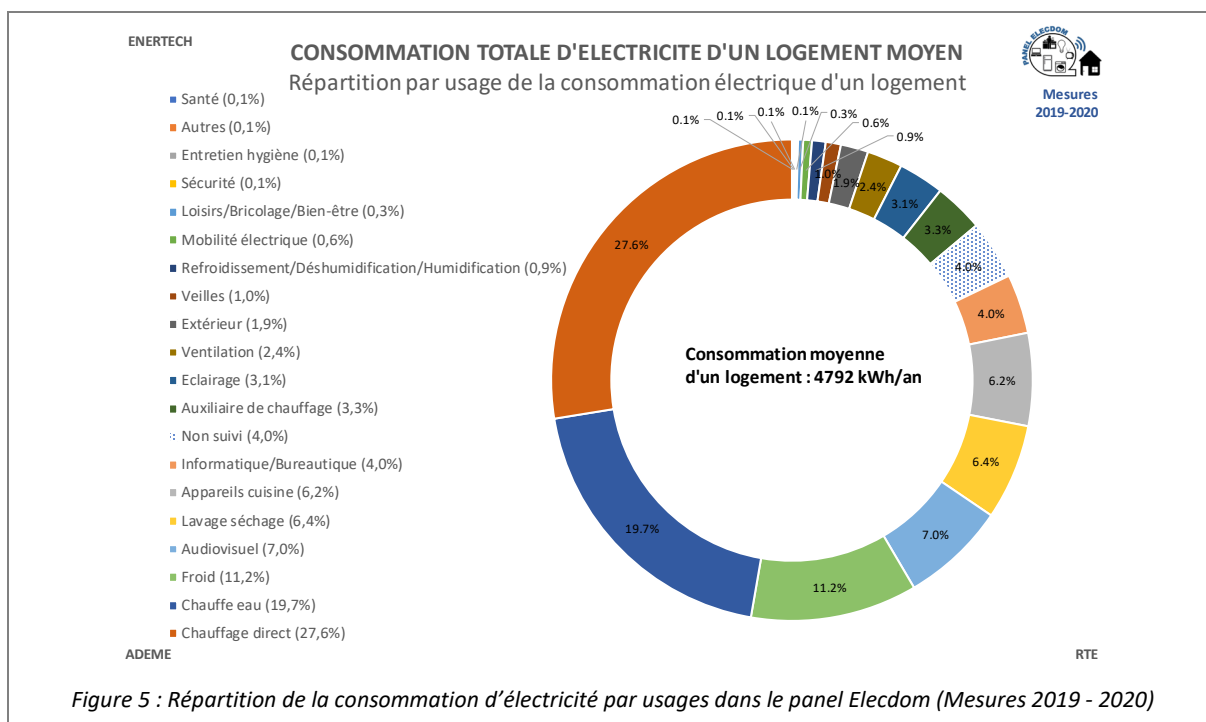


Le Panel ElecDom constitue **une nouvelle voie pour l'étude des consommations électriques résidentielles**. Cette expérimentation, mise en œuvre par l'entreprise Enertech et financée par RTE et l'ADEME, vise à mesurer finement et sur la durée les consommations des équipements électriques d'un panel de 100 foyers français. La première expérimentation a eu lieu en 2019 sur une durée d'un an, puis les résultats ont été analysés en 2021. Retour sur les premiers résultats de ce projet qui pourra servir de base pour les études prospectives de RTE.

Les consommations électriques dans le **secteur résidentiel** représentent environ **un tiers de la consommation électrique française**. Avec la diversification des équipements électriques, connaître la structure détaillée des consommations résidentielles est de plus en plus difficile, et c'est pourtant indispensable pour anticiper leurs évolutions. Au-delà des tendances nationales, une compréhension

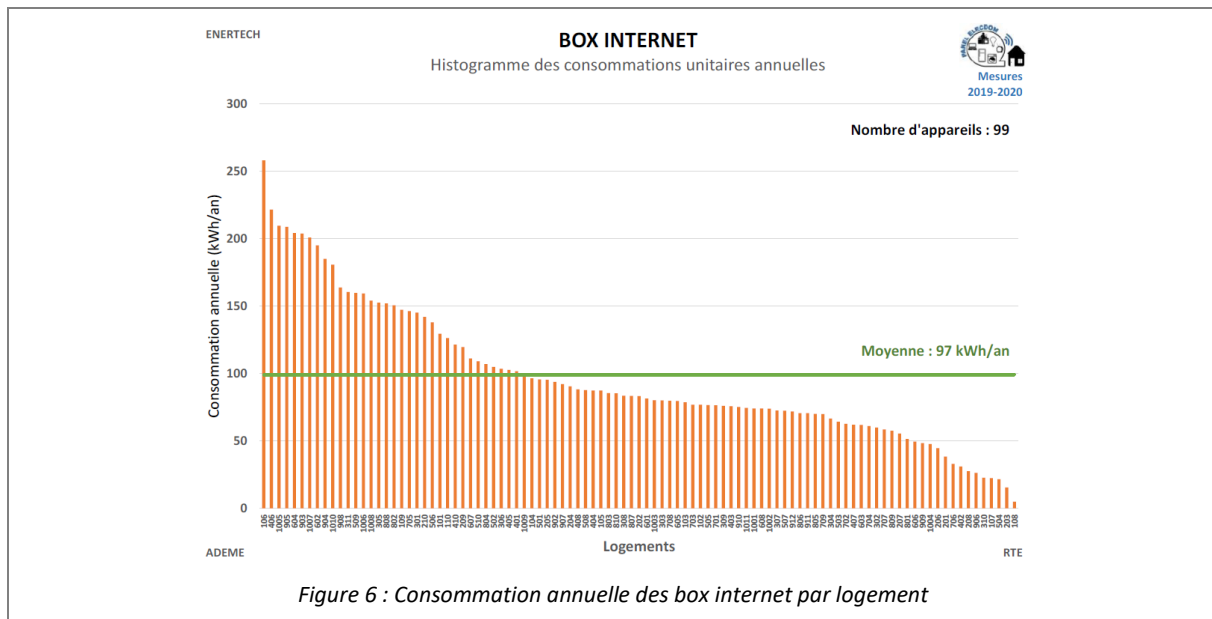
plus fine des **comportements individuels** devient également nécessaire pour appréhender des thèmes tels que l'autoconsommation ou la flexibilité des usages résidentiels.

Le projet Elecdom a débuté par le recrutement des participants, visant à constituer un panel de 100 foyers aussi représentatif que possible de la diversité des types de logement, niveaux de ressource, situations géographiques et différents taux d'équipements. Le matériel de mesure a ensuite été installé dans chaque foyer retenu et les mesures ont pu démarrer, avec l'objectif que **plus de 90% de la consommation** d'électricité des foyers (mesurée au compteur général) soit **attribuée explicitement à un équipement électrique**. Objectif largement dépassé à l'issue de cette première année de mesure !



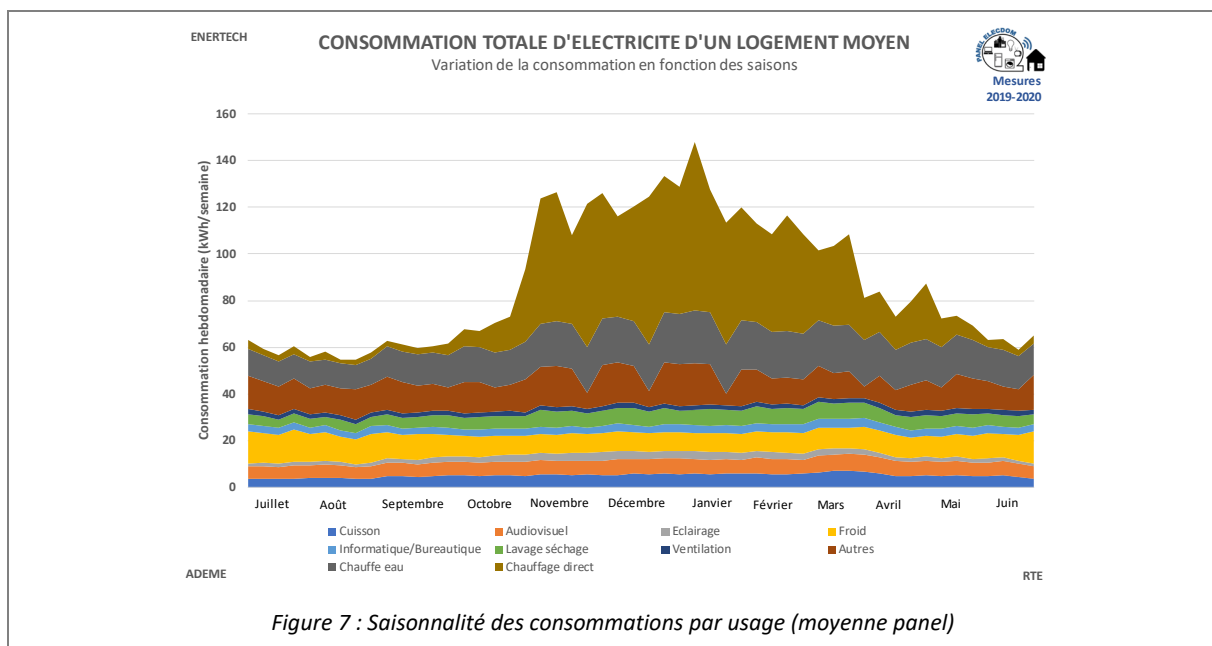
Avec une moyenne de 25 capteurs par logement, un système communicant enregistre, **au pas de temps de 10 minutes, la consommation d'énergie des appareils branchés** sur les prises de courant et celles des départs électriques au tableau dans chacun des 100 logements. La consommation totale de puissance réactive des foyers est également mesurée. Par ailleurs, **l'inventaire exhaustif des équipements** des logements a permis de collecter de nombreuses informations techniques sur les équipements en place. Enfin, **un questionnaire** visant à préciser le lien entre comportement et consommation a également été rempli en ligne par les participants en début de campagne de mesures.

A l'issue de la première année de mesure, **la consommation moyenne des logements est de 4792 kWh/an** (54 kWh/m²/an). La surface des logements, la typologie familiale et le niveau de revenu sont les principaux facteurs explicatifs des écarts de consommation entre foyers. Les usages thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire) représentent près de la moitié de la consommation, et l'usage « froid ménager » (11,2%) constitue le premier poste de consommation d'électricité spécifique. Les consommations et courbes de charge de tous les types d'équipements peuvent ainsi être étudiées. à titre d'exemple, l'analyse des mesures pour les box internet a permis de montrer d'importantes consommations de veille avec une durée moyenne de fonctionnement de 22 heures par jour. Leur consommation, en moyenne de 97 kWh/an, est d'autant plus élevée que la box propose plus de services : les modèles plus récents sont globalement plus consommateurs.



Bien que le nombre de participants appelle à la prudence pour l'extrapolation à la maille France, le panel Elecdom permet d'aborder sous l'angle quantitatif différentes questions a priori difficiles à formaliser : quels sont les équipements utilisés aux heures où la flexibilité résidentielle serait la plus utile ? Y a-t-il des différences importantes entre catégories socio-économiques ? Quelles sont les principales sources de consommations réactives dans le secteur résidentiel ? Quels ont été les effets des périodes de confinement sur les différents usages résidentiels ?

Un rapport complet réalisé par Enertech détaille les statistiques équipement par équipement pour cette première année de mesures, et RTE dispose de l'ensemble des données, permettant des analyses ciblées. C'est un apport considérable par rapport aux campagnes de mesure précédentes, qui se concentraient généralement sur quelques usages et ne donnaient accès qu'à des données bien plus agrégées.



De premières utilisations des données ont déjà eu lieu à la R&D et à DIESE pour tester l'apport de ces données dans différentes études prospectives, en lien avec les problématiques citées. Ces cas d'études vont pouvoir s'enrichir à mesure que la base de données va s'agrandir. En effet, **les mesures sont toujours en cours et le projet se poursuit jusqu'en 2022.**

2.4 UNE EXPÉRIMENTATION POSITIVE POUR DYNAWALTZ, LE NOUVEAU SIMULATEUR DE STABILITÉ LONG-TERME DE LA GAMME DYNAWO



DynaWaltz est l'outil le plus avancé et mature de la nouvelle gamme d'outils de simulation Dynawo et le fruit d'un travail important mené depuis plusieurs années par les équipes de RTE en général et celles de la R&D en particulier. Il vise à remplacer **l'actuel outil de stabilité long-terme Astre qui permet la maîtrise des situations de stress en tension du système électrique**, notamment durant les périodes de vagues de froid hivernales. Ainsi, les résultats obtenus avec cet outil servent **de base aux décisions d'imposition de moyens de production, d'armement des automates de défense (Automate de Défense Ouest, Automate de Défense Nord) ou encore au lancement des ordres -5% Un** (tension nominale) **et aux alertes sur la sûreté d'exploitation du système électrique** éventuellement nécessaires dans ces périodes de forte consommation.

DynaWaltz permet l'étude des différents phénomènes de dynamique lente⁴ tout en appliquant un **changement radical de paradigme** sur la structure des outils de simulation. En effet, pour être capable de répondre aux défis du système électrique de demain, les **concepts de flexibilité** (pour permettre les évolutions nécessaires à la simulation d'un système électrique en transformations radicales et rapides) **et de transparence** (pour continuer à maîtriser notre exploitation et avoir des résultats opposables, tout en mobilisant un écosystème de recherche le plus large possible) sont au cœur de la démarche adoptée, **en complément des concepts historiques de robustesse, qualité et performances, grâce à deux choix structurants :**

1. L'utilisation d'un langage de modélisation haut-niveau pour la modélisation du système (en l'occurrence le Modelica).
2. Une séparation stricte entre la modélisation du système et la résolution des équations.

Dans le cadre de la stabilité long terme, cette approche permet d'offrir **une modélisation plus détaillée** (représentation plus fine de la machine synchrone et de ses régulations, des ouvrages complexes – type liaisons à courant continu (HVDC) ou Compensateur Statique de Puissance Réactive (CSPR) – et des automates) **et un pas de temps plus petit** (accompagnant la dynamique de plus en plus rapide du système électrique). Après une phase de validation unitaire des modèles et un ensemble de tests de passage à l'échelle, cet hiver 2020/2021 était consacré à une expérimentation du simulateur en conditions réelles, dans l'application Convergence.

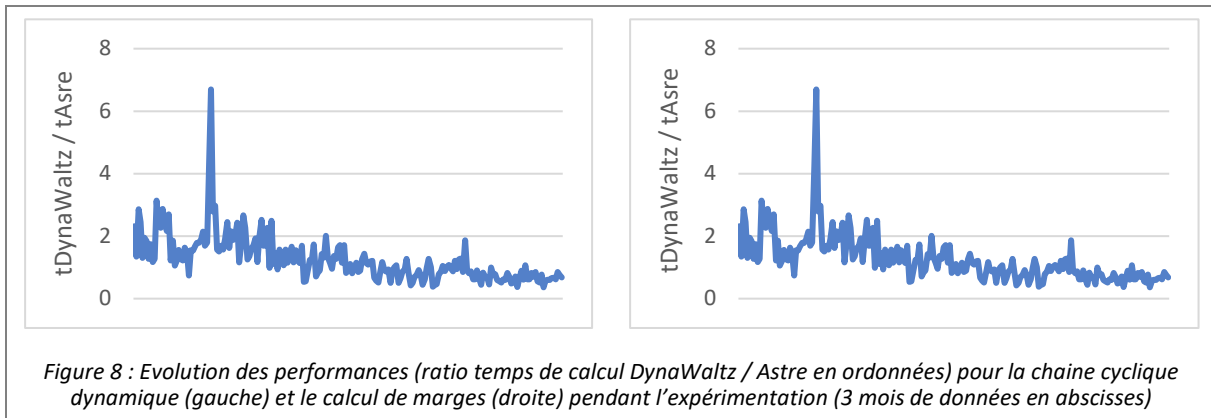
Une très bonne robustesse et des performances encourageantes pour une plus grande qualité de résultats : un cocktail gagnant ouvrant la voie au passage en opérationnel

L'expérimentation avait pour objectif de vérifier le bon comportement de DynaWaltz face à ce qui est souvent considéré comme le triangle des Bermudes des outils de simulation, à savoir le tryptique robustesse – performances – qualité.

Ainsi, pour l'aspect robustesse, le but était de valider le fonctionnement du simulateur sur un large ensemble de situations de réseau. Pour cela, des lancements automatiques de la chaîne cyclique dynamique et des calculs de marges J-1 ont été mis en place de la mi-janvier jusqu'à la fin de l'expérimentation au début du mois d'avril. Sur plus de 30 000 simulations réalisées, aucun problème de simulation n'a été détecté et les résultats obtenus étaient soit conformes à ceux obtenus avec Astre soit présentaient une

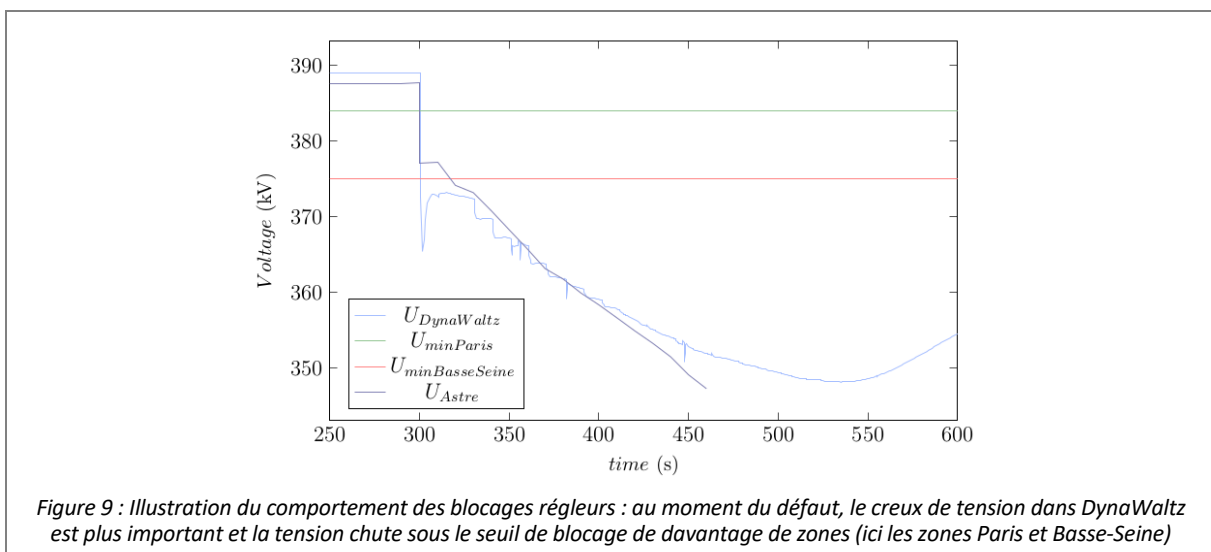
⁴ Il s'agit des phénomènes ayant des constantes de temps allant de la seconde à la minute, tels que l'action des réglages primaire et secondaire de tension ou l'effet des automatismes existant dans le système (régulateurs en charge, automates de gestion de la tension, automates de gestion du transit, etc.).

légère augmentation des marges dans le cas des calculs de marge. En complément, un outil de lancement et de comparaison automatique entre Astre et DynaWaltz a été développé et a confirmé l'excellente robustesse et le bon comportement du simulateur sur plus de 75 000 autres simulations.



Au niveau des performances, l'accent a été mis en priorité sur les processus qui lancent des simulations de manière massive, type chaîne cyclique dynamique et calculs de marge. Les progrès réalisés pendant l'expérimentation – notamment au niveau de la parallélisation des calculs, de la méthode de résolution numérique ou du paramétrage de la simulation – ont permis d'atteindre des performances similaires à celles d'Astre à la fin de la période de tests. Au niveau des simulations unitaires, le niveau de performances projeté pour l'été, à la suite d'améliorations en cours d'intégration, est compris entre [x1 ; x3] par rapport à Astre, pour un plus grand nombre de variables et un pas de temps cinq fois plus petit.

Enfin, la réponse du simulateur a été étudiée en détails, notamment par le rejeu de l'étude passage de l'hiver 2020/2021 et de plusieurs recollements du mois de février. Ces études ont permis de montrer que DynaWaltz amenait une légère augmentation des marges disponibles face aux écroulements de tension. Cette différence a été analysée par les experts R&D mais aussi les services opérationnels de RTE : le SEDRE (Service Etudes de Développement de Réseau Electrique) et le CNES (Centre National d'Exploitation du Système). Elle s'explique par la meilleure représentation de la dynamique du réglage primaire de tension, qui conduit notamment, aux niveaux de consommation proches des frontières de stabilité, à des blocages des régulateurs plus précoces et à une réponse plus rapide et plus forte du réglage secondaire de tension et permet in fine de distinguer une situation d'écroulement de tension nécessitant la mise en œuvre de mesures exceptionnelles d'une situation où la tension reste maîtrisée.



Les résultats de l'expérimentation ont confirmé la maturité et la qualité de DynaWaltz, qui a été utilisé par les métiers pour des études pilotes menées cet été 2021, avant le déploiement qui est opérationnel depuis cet hiver 2021/2022.

Un succès à confirmer sur les autres outils de la gamme

Le succès de cette expérimentation renforce la stratégie globale de renouvellement des outils de simulation sur la base de l'approche Dynawo et marque une étape importante pour le projet « Simulateurs ». Cependant, bien d'autres défis restent ouverts pour tirer tout le potentiel de cette démarche et faire en sorte que RTE soit armé pour répondre à ses besoins de simulation dans un système qui continue à se modifier fortement, parmi lesquels l'industrialisation de DynaFlow pour le calcul d'état d'équilibre.

2.5 OLLA, BOÎTE À OUTIL POUR LA GESTION DES CONDUCTEURS AÉRIENS



Les conducteurs aériens constituent l'actif majeur de RTE. D'abord parce qu'ils assurent l'essentiel de la mission de transport d'électricité, ensuite parce qu'ils constituent le principal poste budgétaire de la gestion des actifs dans les prochaines décennies. Leur renouvellement sur un simple critère d'âge est probablement sous-optimal, considérant les conducteurs n'ont pas tous la même dynamique de vieillissement. De fait, il semble plus pertinent de mettre en place une **politique de renouvellement sur critère d'endommagement** qui nécessite d'être capable de comprendre, d'estimer et, plus difficile encore, de prédire l'endommagement des conducteurs aériens. C'est l'objet du projet **OLLA (Overhead Lines Lifespan Assessment)**.

Un projet R&D qui a anticipé le besoin opérationnel

Lancé en 2015 dans le cadre de SmartLab à la suite d'ateliers conjoints R&D, CNER (Centre National d'Expertise Réseau) et métiers Ingénierie et Maintenance, OLLA est une démarche de longue haleine menée en partenariat avec l'ENS Paris Saclay et un ensemble de laboratoires universitaires et industriels (LTDS, ARMINES, LadHyx, CETIM, DERVAUX⁵). D'abord centré sur l'endommagement mécanique, OLLA s'appuie sur des études antérieures initiées en 2008, en particulier à EDF R&D, puis dans le cadre de la chaire de mécanique des lignes aériennes cofinancée par RTE à l'Université de Sherbrooke (Québec). Le projet OLLA met en cohérence l'ensemble des travaux qui ont pu être réalisés par différents acteurs de la ligne aérienne et les complète par des travaux de recherche : thèses, post-doctorats et contrats de recherche. L'idée sous-jacente est d'exploiter au maximum ce qui a déjà été fait. Ce qui conduit aux principes généraux ci-dessous.

⁵ LTDS : Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes / LadHyX : Laboratoire d'hydrodynamique / CETIM : Centre technique des industries mécaniques.

Les principes généraux de OLLA :

Après une collecte des données pertinentes disponibles (en particulier la description des portées : conducteurs, géométrie et accessoires), celles-ci sont nettoyées, structurées et consolidées. Dans un deuxième temps, un ensemble hybride (statistique et déterministe) de modèles reconstitue l'historique des sollicitations par le calcul de capteurs virtuels des grandeurs physiques significatives (tension mécanique, température, amplitude de vibration, ...) et évaluent les endommagements. Ceux-ci sont ensuite synthétisés dans un outil d'aide à la décision, Lifespan.

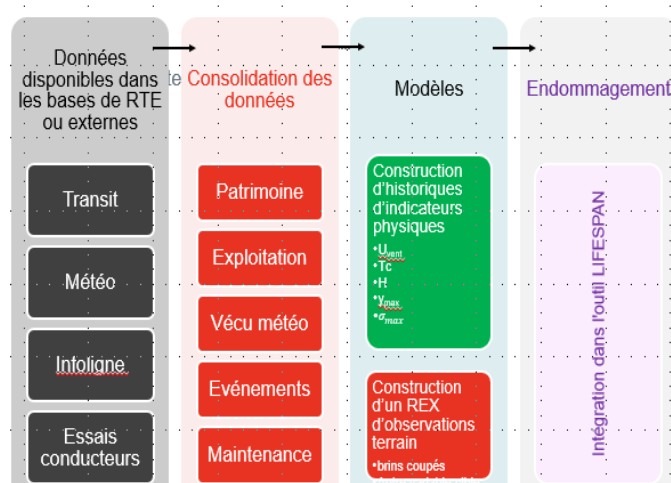


Figure 10 : La chaîne de traitement dans OLLA

Les informations collectées et les grandeurs physiques reconstituées permettent, outre la représentation des phénomènes mécaniques (usure, fatigue vibratoire, fretting fatigue, ...) l'accrétion progressive de modèles représentant les autres phénomènes comme la fatigue thermique ou la corrosion. Dans tous les cas, la chaîne de traitement permet la comparaison de modèles simplifiés, correspondant à l'état de l'art du métier comme la Safe Design Zone du CIGRE pour la fatigue vibratoire (Figure 11) et de modèles plus aboutis développés par OLLA nourris par les dernières innovations scientifiques comme l'étude d'initiation de fissure en fretting fatigue (Figure 12).

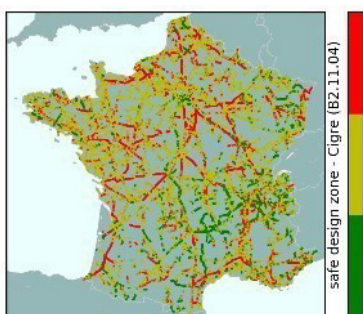


Figure 11 : Modèle CIGRE et calcul « simplifié » à bilan d'énergie (critère SDZ)

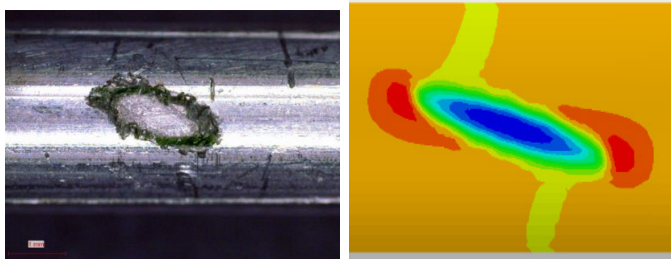


Figure 12 : Modélisation et reproduction du fretting fatigue causé par le contact des brins (critère de Crossland)

Les modèles simplifiés permettent de traiter l'ensemble du réseau et de fixer des priorités. Les modèles détaillés permettent de mieux comprendre les phénomènes et de mener des études particulières, pour un coût de calcul parfois prohibitif. **La « réduction de modèle » (au sens mathématique) pour permettre les traitements de masse avec les modèles détaillés est un axe de recherche pour le futur.**

En fin de chaîne, il y a Lifespan : un outil d'aide à la décision vis-à-vis des mécanismes de dégradation pouvant survenir durant la vie des conducteurs. Il permet de dialoguer avec la boîte à outils pour lancer des études et visualiser les résultats. **La conception des fonctionnalités de Lifespan pour correspondre au besoin des experts a été un enjeu fort de 2021.**

Pour le futur, le projet OLLA Up étendra les méthodes développées sur d'autres configurations (Almelec, ACSS, amortisseurs, faisceaux multiples, etc.) et intégrera la compréhension de nouveaux phénomènes d'intérêt sur le réseau.

OLLA et les politiques opérationnelles de gestion des actifs, une articulation forte...

Outre la valorisation à grande échelle des critères de priorité établis par les experts, comme en 2019 pour les diagnostics, OLLA est assez abouti pour déjà contribuer significativement aux politiques opérationnelles de gestion des actifs déployées par RTE, et sur plusieurs axes. Cela va de la définition et l'amélioration des données nécessaires à la décision, à la consolidation entre diagnostic, connaissances locales, nationales et internationales. De plus, la capacité à prédire les phénomènes de fatigue mécanique sur les conducteurs aériens permet de quantifier les différents dispositifs antivibratoires.

Réciproquement, des actions engagées pour mieux comprendre les autres phénomènes de dégradation comme la corrosion, ainsi que le recueil de nombreuses données de terrain (comme l'endommagement des entretoises et les résultats des diagnostics robotisés) permettront l'enrichissement du modèle et sa validation.

... qui doit se prolonger dans une approche globale du risque

En permettant de prédire la proximité de l'évènement redouté (fragilité, puis rupture du conducteur) OLLA constitue une pièce de l'assemblage formé par une approche fondée sur le risque, pour une gestion des lignes aériennes réalisable et globalement optimisée.

La construction d'un référentiel des conséquences, puis l'utilisation de la théorie de la fiabilité, décrite dans le « Handbook KAPLA » récemment publié pourra définir des politiques optimales par type d'actif (conducteurs, supports, accessoires, fondations...). Celles-ci seront ensuite consolidées et confrontées aux contraintes budgétaires et techniques par la simulation.

Un travail conséquent qui sert un enjeu vital pour RTE, et dont les grandes lignes sont déjà assez bien dessinées.

2.6 IMPACTS DES LIGNES ÉLECTRIQUES HT SUR LA FAUNE SAUVAGE : DES PREMIERS RÉSULTATS POSITIFS !



En 2019, lors de l'élaboration des SRADDET (Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires), **RTE a été confronté à des dispositions écrites problématiques concernant son rôle potentiellement négatif sur les continuités écologiques.**

Si le réseau de transport d'électricité peut occasionner des accidents pour l'avifaune, qu'en est-il de son impact sur la continuité des écosystèmes ?



Figure 13 : Lignes électriques HT dans la faune sauvage



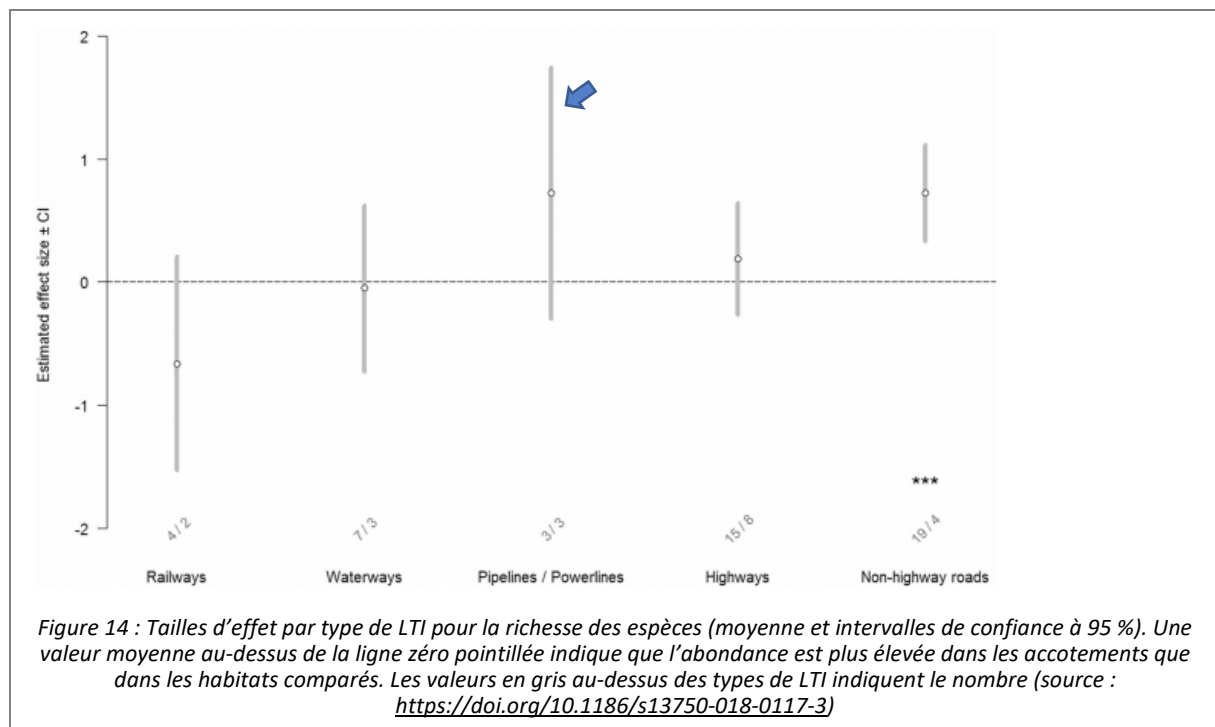
Depuis 2014, la R&D finance le projet de recherche ITTECOP sur les infrastructures linéaires de transport (ILT), porté par le Ministère de la Transition écologique. Il intègre des questions relatives aux écosystèmes et aux paysages lors de l'élaboration et de la réalisation de projets d'infrastructures de transport.

Lors des appels à projets de recherche (en 2014, 2017 et 2020), une équipe de chercheurs (MNHN⁶, Irstea⁷, UPMC⁸, Cerema⁹ et Inra¹⁰) s'est intéressée au potentiel d'habitat et de corridor des dépendances de ces infrastructures¹¹. Grâce à une revue systématique des articles scientifiques publiés¹², ils ont fait état des connaissances actuelles sur le sujet pour ce qui concerne les insectes, les oiseaux, les mammifères.

Quelques résultats publiés et partagés par la communauté scientifique sont présentés ci-dessous.

Effets de l'infrastructure sur la richesse en espèces d'insectes

Premier résultat : D'une façon générale, les dépendances vertes semblent héberger des communautés de pollinisateurs aussi riches, voire plus riches, que les milieux environnants. Cependant, les chercheurs notent le faible nombre d'études existantes – trois à date de la publication (Figure 14).



Une nouvelle étude publiée en 2020 dans la grande revue scientifique *Nature*¹³ par des chercheurs suédois confirme aussi la relative neutralité des emprises de lignes sur les papillons et les bourdons. Leur étude très intéressante met à jour une augmentation de la diversité végétale sous les lignes électriques (Figure 15). Les chercheurs vont jusqu'à supposer que les lignes électriques seraient des sortes de refuges : le déclin des espèces végétales y seraient moins rapides.

⁶ MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle.

⁷ Irstea : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

⁸ UPMC : Université Pierre et Marie Curie.

⁹ Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

¹⁰ Inra : Institut national de la recherche agronomique.

¹¹ https://ittecop.fr/fr/content_page/item/244-cohnecs-it-phase-2

¹² <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s13750-020-00196-7.pdf>

et https://ittecop.fr/images/docman-files/docman-files/rapport-final/2014/RF_2014_COHECS-IT.pdf

¹³ Dániel-Ferreira, J., Bommarco, R., Wissman, J. et al. Linear infrastructure habitats increase landscape-scale diversity of plants but not of flower-visiting insects. *Sci Rep* 10, 21374 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78090-y>

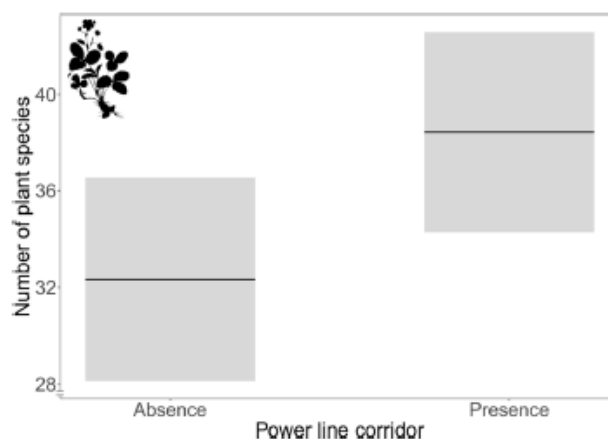


Figure 15 : La richesse en espèces végétales est en moyenne de -6 espèces plus élevée dans les paysages avec corridors de lignes électriques que dans les paysages sans corridors de lignes électriques. Les bandes grises représentent les intervalles de confiance à 95%. Notez que l'axe des y ne commence pas à zéro. (source : <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78090-y>) L'image de la silhouette est disponible sous licence du domaine public à PhyloPIC (<http://phylopic.org>)

Deuxième résultat : la richesse et l'abondance des espèces d'oiseaux ou de petits mammifères sous les lignes électriques ne sont statistiquement pas différentes de celles situées à l'écart des lignes électriques.



Figure 16 : Diversité des espèces de pollinisateurs sauvages

Par ailleurs, le projet POLLINEAIRE financé également dans le cadre d'ITTECOP a étudié le Potentiel des dépendances vertes d'infrastructures linéaires de transport pour la préservation et la dispersion des insectes pollinisateurs sauvages. Ce rapport précise que « Dans les tranchées forestières (total de 96 espèces sur un ensemble de 31 sites), la moyenne des richesses spécifiques était de $6,8 \pm 0,5$, avec une abondance moyenne de $12,0 \pm 0,9$ abeilles/site. Les mêmes équivalences d'abondances et de richesses spécifiques entre emprises de lignes électriques en tranchées forestières et prairies semi-naturelles environnantes ont été observées en Suède pour des bourdons (ensemble de 19 espèces). »

Ainsi, les dépendances vertes (DV) de LHT offrent des conditions de quiétude et de surface d'habitat disponible a priori particulièrement intéressantes pour leur adoption par les abeilles sauvages et papillons de jour. Le maintien d'un milieu ouvert à l'endroit des LHT, associé en même temps à une pression d'entretien des DV moins forte que pour les autres ILT, fait des LHT en milieu forestier une composante potentielle importante de la configuration HC¹⁴. L'ensemble de ces résultats de recherches a été intégré dans une fiche pratique sur la contribution de RTE au SRADDET en phase enquête publique ouvrant la possibilité de proposer une rédaction plus objective des écrits provisoires contenus dans les SRADDET.

¹⁴ LHT : Lignes Haute Tension / ILT : Infrastructures Linéaires de Transport / DV : Dépendances Vertes / HC : sites d'étude Habitat-Conduit, par opposition aux sites d'étude Habitat-Source, HS.

2.7 FUTURS ÉNERGÉTIQUES 2050



RTE a lancé en 2019 **une large étude sur l'évolution du système électrique** intitulée « Futurs Énergétiques 2050 ». Cette étude implique une démarche inédite en matière de concertation et de transparence impliquant les parties prenantes intéressées à tous les stades de la phase de construction des scénarios jusqu'à la publication de leur analyse complète.

Après deux ans de travail et de concertation afin d'étudier les chemins possibles pour atteindre la neutralité carbone, RTE a publié les principaux enseignements des « Futurs Énergétiques 2050 » en octobre 2021.

Les 18 enseignements des Futurs Énergétiques 2050 couvrent plusieurs thématiques : Consommation, transformation du mix, économie, système et technologie, espace et environnement.

Le résumé exécutif ainsi que l'ensemble des chapitres sont accessibles directement sur le site de RTE : https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-10/Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats_0.pdf, <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques#Lesdocuments>.

Les experts de la R&D de RTE ont été mobilisés pour apporter leur expertise dans le cadre des travaux menés pour les « Futurs Énergétiques 2050 ». **Les principales contributions de la R&D sont présentées ci-dessous :**

Climat, Météo et impacts sur le système électrique

Le lot « **Climat** » des « Futurs Énergétiques 2050 » a été piloté par la R&D avec la réalisation de l'analyse effectuée d'un point de vue météo sur les sorties des simulations Antares et notamment les périodes engendrant des risques de défaillance (stress test), de l'étude sur les effets du changement climatique sur les indisponibilités du nucléaire, du modèle physique pour la production de l'offshore, etc.

Modélisation multi-énergie du fonctionnement du système électrique, intégrant les vecteurs hydrogène et gaz

L'étude « Futurs Énergétiques 2050 » s'est attachée à **décrire, suivant différents scénarios, le système électrique européen en interaction avec les autres vecteurs énergétiques**. Dans la suite des travaux précédents menés en collaboration avec GRT-gaz, les modèles utilisés dans l'outil de simulation Antares ont été adaptés pour représenter les interactions avec les vecteurs gazeux : hydrogène et méthane. Il restitue ainsi les possibilités de « Power-to-Gas », via l'électrolyse et la méthanation, et plus classiquement les possibilités de « Gas-to-Power » via les CCG (Cycle Combiné Gaz) et TAC (Turbine à Combustion). Les systèmes gaziers européens de méthane et d'hydrogène sont approchés par des modèles simplifiés présentés en concertation avec les parties prenantes. Ils ne tiennent pas compte de contraintes réseaux éventuelles mais restituent, par des valeurs d'usage, la gestion des capacités existantes de stockage en intégrant les alternatives à l'électrolyse et la méthanation tels que les imports. Ainsi, la modélisation ne vise pas à représenter l'ensemble des contraintes du système énergétique, mais bien à prendre en compte les principales interactions avec le système électrique.

Analyse économique

Les « Futurs Énergétiques 2050 » visaient à qualifier les systèmes électriques décrits, pour différents scénarios, suivant plusieurs axes : techniques, économiques, sociétal et environnemental. En particulier, **les analyses économiques ont fait l'objet d'une large concertation avec les parties prenantes**. Cette concertation s'est faite sur la base d'une proposition d'indicateurs et de méthode, débouchant sur le calcul d'une part des investissements et d'autre part des coûts complets annuels au périmètre

des acteurs du système électrique. Les hypothèses d'évolution des coûts d'investissement, des durées de vie et des coûts d'exploitation fixes et variables ont fait l'objet d'analyses bibliographiques et d'échanges avec les acteurs. Enfin les taux d'actualisation déterminant les coûts de financement du système ont été identifiés comme un paramètre particulièrement important, et largement débattu.

Gisements ENRs : intégration de critères réglementaires, sociétaux et techniques dans une approche cartographique

L'étude porte sur l'identification des **gisements de surfaces potentiellement mobilisables** au sol et sur toiture à l'échelle de la France pour accueillir la production électrique éolienne et solaire. Cette identification des gisements permet d'une part de vérifier la disponibilité de chaque filière pour les différents scénarios d'étude et d'autre part de caractériser les scénarios vis-à-vis des enjeux environnementaux et sociétaux. De possibles répartitions géographiques des puissances installées à la maille départementale ont aussi été étudiées pour alimenter les études d'adaptation du réseau. L'approche combine de multiples critères réglementaires, sociétaux et techniques, par exemple la distance aux habitations, les zones Natura 2000, les zones d'exclusion militaire, etc.

Acceptabilité des infrastructures de production et de réseau

Le travail a d'abord consisté en la définition du terme **acceptabilité**, sujet à controverse dans le monde des sciences sociales. Dans un deuxième temps, des revues de littérature ont permis d'identifier des facteurs transverses de l'acceptabilité des infrastructures de production et de réseau ainsi que de développer chaque facteur pour chaque technologie. Les facteurs identifiés sont au nombre de six : planification, réglementation, gouvernance, environnement, économiques et sociaux et culture, lieux, identités.

Ce travail a permis d'objectiver les dynamiques d'acceptabilité autour de ces six facteurs. Les revues de littérature ont été complétées par des entretiens en interne RTE.

Dimensions sociales des usages de l'énergie : sobriété énergétique et flexibilité

- **Flexibilité** : Une revue de littérature a été faite sur les facteurs d'accessibilité des gisements de flexibilité de la demande résidentielle. Les facteurs identifiés sont au nombre de cinq : démographiques, résidentiels, socio-économiques, politiques et aménagement du territoire, techniques et technologiques. La revue de littérature permet d'identifier également les leviers d'accessibilité des gisements identifiés dans le groupe de travail « flexibilité » de « Futurs Énergétiques 2050 ».
- **Sobriété** : Un travail a été engagé avec deux chercheurs de Polytechnique et l'Université de Nantes. Le travail a permis de définir la sobriété. Ensuite, un travail de revue de littérature a été effectué pour identifier les dynamiques sociales en faveur de modes de vie sobres. L'approche méthodologique a consisté à quantifier les effets possibles de la sobriété mais également à expliciter les évolutions sociétales sous-jacentes dans les différents secteurs de l'économie (industrie, transport, tertiaire, résidentiel).

Analyse environnementale du système électrique, notamment son empreinte matière

Afin de mieux évaluer les **impacts environnementaux positifs et négatifs** des possibles systèmes électriques futurs, des Analyses environnementales en Cycle de Vie (ACV) ont été réalisées. En collaboration avec le laboratoire MinesParisTech OIE (Observation Impact Énergies), une méthode à la pointe de l'état de l'art, dite « ACV paramétrique », qui donnera lieu à une publication dans une revue à comité de lecture, a été développée et pratiquée. De plus, des analyses de criticité des métaux du système électrique, en collaboration avec le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) ont été menées.

3.

**DÉMONSTRATEURS
R&D**

Conformément aux travaux pilotés par la CRE en 2021 consistant à harmoniser les bilans établis par les opérateurs régulés, seront considérés comme démonstrateurs R&D, les projets multipartenaires bénéficiant de subventions européennes ou de l'ADEME et donnant lieu à expérimentation terrain.

Les retours d'expérience et les enseignements sur la viabilité technique et économique des démonstrateurs R&D impliquant RTE en 2021 sont présentés ci-dessous :

3.1 CONTRIBUTION AU PROJET H2020 OSMOSE

Lancé en 2018 pour une durée de 4 ans, le projet OSMOSE (Optimal System-Mix Of flexibility Solutions for European electricity) est un projet européen qui vise à identifier et développer le mix optimal de flexibilités. Il dispose d'un budget de 28 M€ dont 21,8 M€ de subvention de l'Union Européenne. Le budget apporté par RTE est de 5,3 M€, il inclue une subvention de 3,7 M€.

Six GRT, onze partenaires de recherche, ainsi que seize acteurs de l'industrie (fabricants, fournisseurs de solutions) et du marché (producteurs, ESE) se penchent sur l'identification et le développement des flexibilités requises pour permettre la transition énergétique vers une part élevée d'énergies renouvelables. Cette approche permet de saisir les synergies entre les besoins et les sources de flexibilités, comme les services multiples à partir d'une seule source, ou l'hybridation des sources, ce qui permet d'obtenir un système électrique rentable.

OSMOSE propose quatre démonstrations dirigées par des GRT (RTE, REE, Terna et ELES) visant à accroître le potentiel technico-économique d'un large éventail de solutions de flexibilité et couvrant plusieurs applications, à savoir : la synchronisation de grands systèmes électriques par un stockage hybride multiservice ; des services multiples fournis par le contrôle coordonné de différents dispositifs de stockage et FACTS ; des services multiples fournis par des dispositifs de réseau, une réponse à la demande importante et une production d'énergie renouvelable coordonnée dans un système de gestion intelligent ; le partage transfrontalier de sources de flexibilité par un marché transfrontalier de l'énergie en temps quasi réel.

Démonstrateur R&D sur les contrôles grid-forming :



Le volet développé en France (le Work Package 3 « WP3 ») a pour but de démontrer qu'il est possible d'exploiter un réseau sans machines tournantes. Pour cela RTE, leader de ce WP3, a montré que des dispositifs comme des installations de stockage avaient la capacité d'imposer une fréquence aux réseaux (« grid-forming »), tout en fournissant des services complémentaires (approches multi-services dans un objectif de réduction des coûts). RTE a ensuite démontré que les algorithmes pouvaient être utilisés sur différents matériels. Ces travaux alimentent RTE pour la rédaction de futurs codes réseau.

Plus précisément, deux démonstrateurs - un dans les locaux de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, l'autre codéveloppé par RTE et Ingeteam* - ont ainsi été mis en place et ont montré :

- La faisabilité du grid-forming sans surdimensionner le convertisseur ni impacter les autres services fournis par la batterie ;
- Les meilleures performances pour lisser la fréquence du contrôle en grid-forming comparées à celles du grid-following utilisé habituellement, grâce à une réponse aux perturbations inférieure à 5ms.

Le démonstrateur co-développé par RTE le cadre du WP3, n'a pu aller jusqu'au bout, pour cause d'incendie du dispositif (sans lien avec l'expérimentation prévue). Malgré l'incident sur le site RTE (*Rapport d'Enquête – CGEDD disponible sur internet), RTE et ses partenaires du lot 3 ont démontré que des installations de stockage pouvaient fournir un service pour le maintien de la fréquence du réseau s'assimilant à celui des machines tournantes grâce au démonstrateur installé sur le site de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Ce démonstrateur a été réalisé sur un réseau de distribution et permet de valider la maturité technologique du contrôle « grid forming » en environnement réel. Elle

signifie qu'il pourrait être possible d'exploiter de grands réseaux sans (ou avec moins de) machines tournantes à plus long terme.

Démonstrateur sur les échanges transfrontaliers sous contraintes réseau :



La R&D de RTE participe au Work Package 6 du projet H2020 OSMOSE visant à développer et tester en conditions réelles des échanges transfrontaliers quasi-temps réel sous contraintes réseau à la frontière italo-slovène. Ce marché appelé « FlexEnergy Market » permet d'exploiter la capacité résiduelle des sources de productions renouvelables jusqu'à 15 minutes avant le temps réel. Elle s'inscrit dans la thématique de l'Équilibre Offre – Demande Réseau.

RTE a participé au développement de l'algorithme de sélection optimale des offres sous contrainte de sécurité réseau.

La démonstration de l'ensemble du processus s'est finalisée en janvier 2021, montrant l'activation transfrontalière efficace des producteurs.

3.2 DÉMONSTRATEUR SUR LE POWER-TO-GAS : PROJET JUPITER 1000

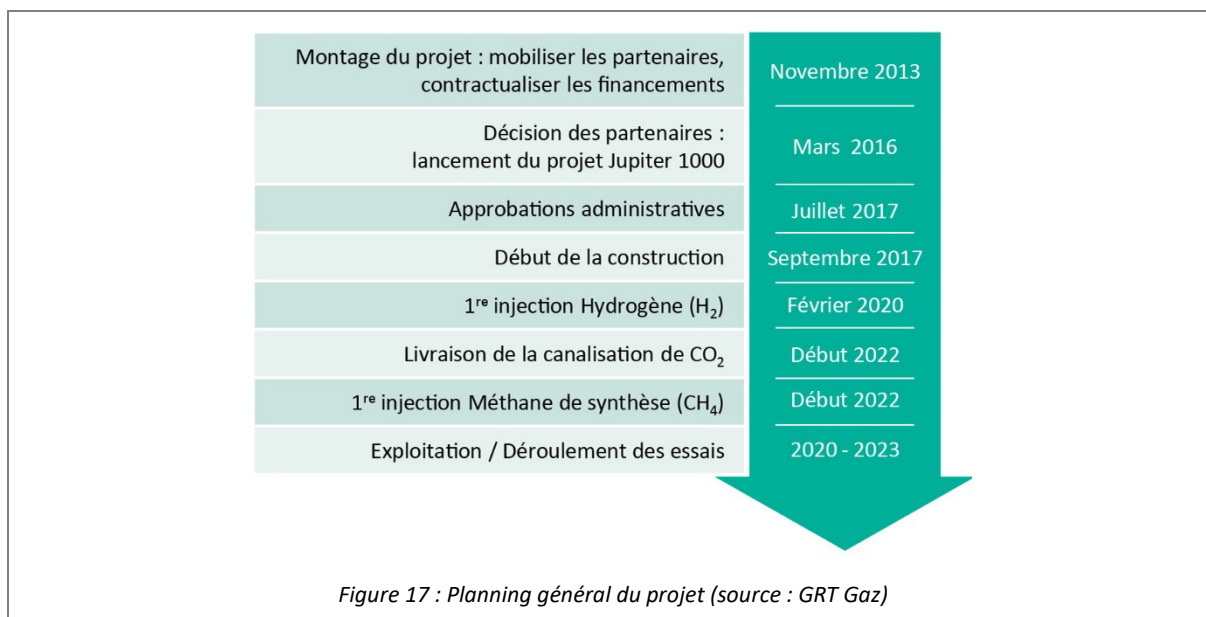


Le projet Jupiter 1000 a pour objectif d'expérimenter chacune des briques constituant une installation de Power-to-Gas afin d'en démontrer la faisabilité technique et amorcer la structuration de cette filière en France. Plus précisément, le démonstrateur permettra de :

- Améliorer les connaissances sur la conversion d'électricité en hydrogène par électrolyse via deux technologies différentes d'électrolyseurs qui seront testées, alcaline et PEM (Membrane Échangeuse de Protons) ;
- Expérimenter une brique de méthanation pour produire du méthane de synthèse à partir de l'hydrogène, injectable sans limite dans le réseau de transport de gaz naturel ;
- Éprouver des technologies sur le marché ou en développement en conditions réelles et à l'échelle industrielle ;
- Expérimenter l'injection d'hydrogène dans le réseau existant de transport de gaz naturel ;
- Tester le mélange, la mise aux spécifications et l'injection d'hydrogène et de méthane de synthèse ;
- Étudier les modèles technico-économiques de la technologie ;
- Lancer une filière française de Power-to-Gas.

Le montant du projet s'élève à 30 M€, dont près des deux tiers supportés par les partenaires industriels et un tiers financé sous forme de subventions par l'Union Européenne (FEDER), l'Etat (investissements d'avenir confiés à l'ADEME) et la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Le projet a démarré en mars 2016 ; les essais doivent se dérouler jusqu'en 2023.

La participation de RTE à ce démonstrateur vise à approfondir les enjeux de complémentarité des réseaux de transport électrique et gazier pour un système énergétique global, travailler sur les besoins de flexibilité du réseau et développer l'intégration des énergies renouvelables.



Avec le fonctionnement de la brique hydrogène, les partenaires ont pu lancer la phase d'essai prévue pour 3 ans à partir de juillet 2020. Les principaux enseignements scientifiques seront délivrés au fil du projet jusqu'en juillet 2023.

Les réalisations de 2021 consistent en la poursuite de la phase de tests et le lancement de l'électrolyseur PEM.

4.

**PARTENARIATS
2021**

4.1 RTE ET LE CEA LANCENT LE PROJET NACRE POUR ÉVALUER DIFFÉRENTES ARCHITECTURES DE CONTRÔLE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE



L'arrivée massive des énergies renouvelables décentralisées et intermittentes avec des interfaces à électronique de puissance, ainsi que l'accroissement significatif du nombre d'acteurs et d'interfaces entraînent une **profonde mutation de notre système électrique**. Fort heureusement des solutions technologiques comme le stockage, les flexibilités de consommation et la numérisation généralisée des équipements apportent des possibilités nouvelles.

Dans ce contexte, la R&D de RTE a choisi le CEA, qui possède une expertise des systèmes complexes, pour lancer le projet **NACRE : Nouvelles Architectures de Contrôle**. Ce projet de 3 ans vise à **explorer les opportunités** offertes par **de nouvelles architectures de**

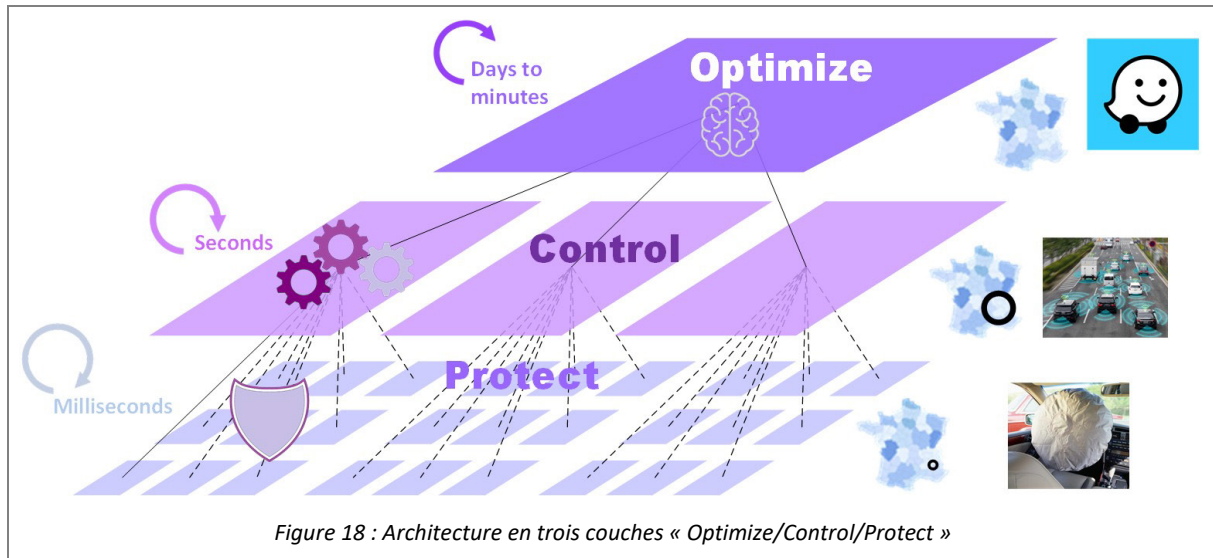
contrôle plus décentralisées et distribuées, qui pourraient permettre de piloter, dans cette période de fortes mutations, le système de façon performante, robuste, résiliente et en adéquation avec les attentes sociétales sur les questions de sobriété des ressources mises en œuvre. Cette collaboration vise en particulier à se doter d'une méthode rigoureuse permettant, par la modélisation et la simulation, de comparer les performances des différentes architectures selon les différents critères mentionnés ci-dessus.

Confirmer et quantifier les apports d'une architecture hiérarchique décentralisée en trois couches

Ce projet a pour objectif **d'analyser différents types d'architectures** implémentant plusieurs principes de contrôle pour les grands systèmes électriques qui deviennent plus que jamais des Systèmes de Systèmes Cyber-Physiques¹⁵, et de **développer une approche rigoureuse** et les outils associés.

Il permettra de **confirmer le choix de l'architecture en trois couches « Optimize, Control, Protect »** et de **quantifier son apport** par rapport à d'autres architectures, notamment en termes de résilience, de performance, d'évolutivité et de sobriété.

¹⁵ Un « système cyber-physique » se caractérise par la capture d'un flux important de données, l'intelligence répartie de bout en bout du système et des niveaux de connectivité interne et externe élevés avec une emprise directe, en temps réel, sur le monde physique. Quand de tels systèmes interagissent entre eux selon une dynamique complexe, on parle de « système de systèmes cyber-physique ».



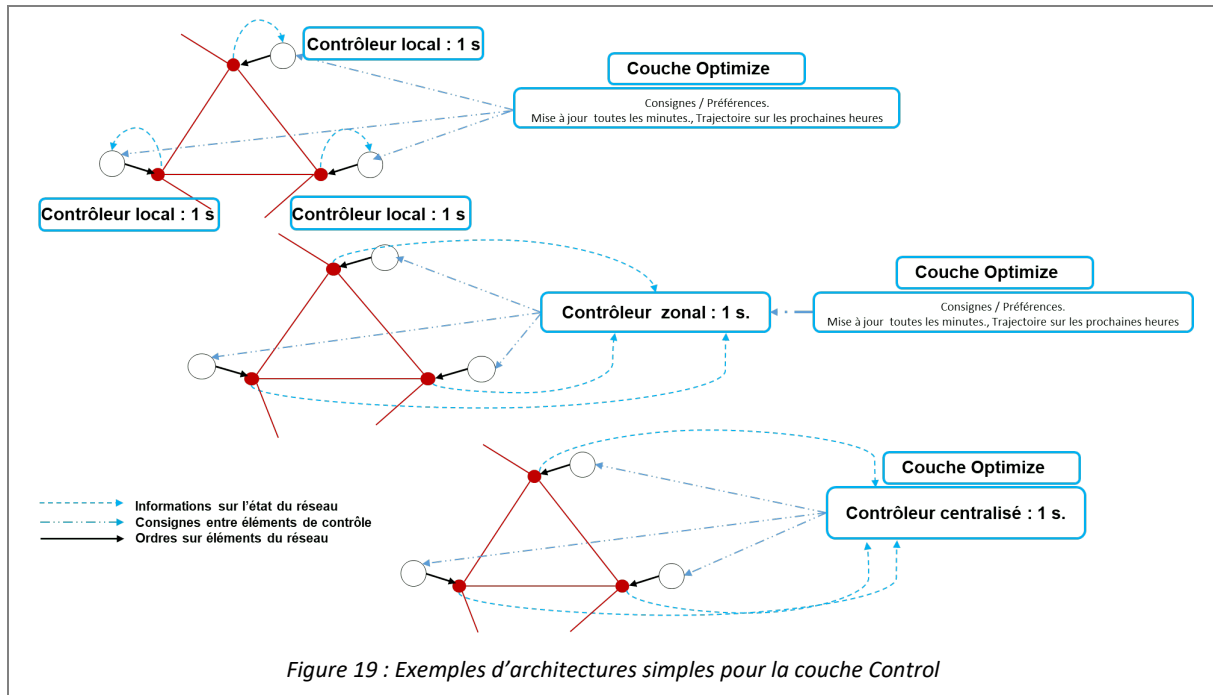
- **Optimize** - Optimisation avec dynamique lente et une vision géographique étendue en anticipant grâce à des prévisions (dispatching) ;
- **Control** - Contrôles sur une zone avec bonne réactivité et vision géographique réduite à quelques postes (type automate NAZA), permettant une gestion fine des contraintes en tirant avantage par exemple des capacités dynamiques de nos ouvrages (DLR) ;
- **Protect** - Protection avec action instantanée sur critères locaux, pour garantir la sécurité des biens et des personnes dans nos ouvrages ou à leur proximité.

Une approche en trois phases

La première phase lancée en 2021 a permis à RTE de disposer d'un premier état de l'art des « systèmes de systèmes », de la définition de cas d'usages et d'une première modélisation du système en quatre couches (automates, échanges d'informations, ressources informatiques et télécommunications, réseau électrique) qui servira de base à l'environnement de simulation.

La deuxième phase permettra la construction d'une méthodologie et d'outils d'analyse de différentes architectures avec une grille d'évaluation calquée sur les enjeux : performance du système, résilience, impact écologique, sobriété, solidarité.

Enfin, lors de la troisième phase, la méthode et les outils seront appliqués à deux ou trois architectures représentatives et contrastées en termes de centralisation (exemples ci-dessous) afin de les évaluer et d'éprouver la méthode. Ces outils seront utilisables par RTE de manière autonome.



Des problématiques actuelles et partagées

Ces réflexions sur les architectures de contrôle sont partagées avec de multiples secteurs, comme l'automobile, l'industrie 4.0, les « smart cities », les applications militaires. Elles répondent aux mêmes difficultés comme les volumes exponentiels de données à rapatrier, aux problématiques de latence et à la vulnérabilité des systèmes. En revanche, elles doivent être déclinées sur les applications spécifiques au système électrique, dont le traitement est actuellement plutôt cantonné au domaine académique. Par exemple, la décomposition d'un problème de grande taille ou de grande complexité en plusieurs problèmes de plus petite taille est une solution largement partagée.

Il s'agit donc de trouver les meilleurs compromis de coordination entre différents éléments de contrôle, avec un couplage plus ou moins fort. **La question n'est pas « centralisée ou décentralisée ? » mais comment placer la bonne fonction au bon endroit, au bon moment.** Les méthodologies déjà utilisées et maîtrisées dans d'autres domaines comme le nucléaire, nous permettront une évaluation objective et structurée des différentes possibilités.

Un ensemble de travaux complémentaires

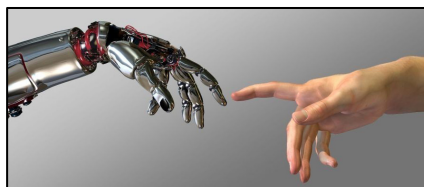
Ces travaux s'inscrivent naturellement dans la feuille de route R&D « Architecture de pilotage du système hybride cyber-physique », tout comme le projet européen CPS4EU¹⁶. Ils seront complétés par un autre projet de plateforme de cosimulation à Jonage qui permettra de tester les systèmes implémentés selon ces principes dans des conditions proches du système réel, en intégrant le comportement des réseaux électrique et de télécommunication.

¹⁶ L'Union européenne a lancé le 1^{er} juillet 2019 le projet CPS4EU (Cyber Physical Systems for Europe) qui regroupe de grandes entreprises (VALEO, THALES, TRUMPF, RTE, LEONARDO et SCHNEIDER ELECTRIC), des PME innovantes et des centres de recherche (FHG, CEA, DLR, INRIA, KIT, CNRS).

4.2 VERS UNE COLLABORATION ASSISTANTS-OPÉRATEURS POUR DES PRISES DE DÉCISION AUGMENTÉE EN SALLES H24



RTE, en collaboration avec la SNCF, Dassault et Orange, s'inscrit dans le **projet Cockpit et Assistant Bidirectionnel (CAB)** initié dans le cadre du programme IA (**Intelligence artificielle et ingénierie augmentée**) de l'IRT SystemX, Institut de Recherche Technologique en sciences des données, calcul scientifique et optimisation, infrastructure et réseaux ingénierie système et logicielle, situé à Palaiseau (91).



En hybridant **Intelligence Artificielle (IA)** et **Interaction Homme-Machine (IHM)**, le projet CAB a pour objectif d'**améliorer la coopération homme-machine**. Il vise à développer un démonstrateur de **cockpit intelligent**, intégrant **un assistant virtuel bidirectionnel et multimodal pour accompagner l'opérateur dans ses prises de décisions** et ainsi limiter les pertes opérationnelles liées à des prises de marges supplémentaires pour gérer la complexité croissante de l'exploitation.

Un assistant qui apprend « de » et « à » l'opérateur

L'objectif du projet CAB est le **développement et le prototypage d'un cockpit – ouvert en termes d'applications industrielles** -, dans lequel il sera possible d'évaluer les formes d'échanges entre l'opérateur et une IA qui apprennent l'un de l'autre en continu, à partir d'informations reçues mais aussi des décisions prises par la personne. L'explicabilité des recommandations de l'IA est centrale dans ce projet : l'opérateur reste responsable de la décision, la recommandation doit donc lui être exprimée de manière directement intelligible. L'assistant virtuel adaptera les flux d'informations remontés vers l'opérateur en vue de gérer dans les meilleures conditions une situation classique mais aussi complexe et/ou atypique.

Ces travaux de recherche qui articulent les domaines de l'IA et de l'IHM (Interface Homme Machine) sont inédits et répondent à une demande croissante de la part des opérateurs de systèmes critiques ou de réseaux sensibles.

LE PROJET CAB EN QUELQUES MOTS

- Un des 6 projets du programme IA2
- Secteur applicatif : Industrie du futur
- Domaines scientifiques et technologiques :
- Science des données et IA, Interaction Homme-machine
- Partenaires industriels : RTE, SNCF, Dassault, Orange
- Durée : 48 mois
- Coût du projet global : 4,8 M€
- Part financée par RTE : 150 k€/an sur 4 ans
- Effort total : 26,8 ETP

Un projet guidé par des cas d'usage concrets

Ce projet de R&D collaboratif s'articule autour des 4 cas d'usage suivants :



Proposer aux opérateurs un assistant apprenant s'adaptant à leur niveau d'expertise et à la criticité de la situation, pour aider à la prise de décision dans le cadre de la conduite des réseaux électriques en anticipation et en temps-réel et faciliter la coopération au sein de la salle de conduite, entre différents métiers et lors du passage de relais d'une équipe à une autre en 3/8.



Concevoir une preuve de concept d'un agent virtuel bidirectionnel permettant d'augmenter en temps réel les capacités des opérateurs (Superviseurs et/ou Conducteur) dans le cadre de la supervision de trains autonomes et faisant face à des situations complexes et/ou atypiques sous contrainte temporelle forte.



Proposer une assistance aux équipages d'avions au regard de l'augmentation de la complexité des missions, tout en consolidant la sécurité.



Bénéficier d'un assistant bidirectionnel qui regroupe les mesures permettant de vérifier que les applications et infrastructures télécoms sont opérationnelles et performantes, avertir en cas de dysfonctionnement en cours ou anticipé, et afficher les mesures ayant atteint un seuil critique pour repérer et réparer la cause du dysfonctionnement.

Des enjeux partagés

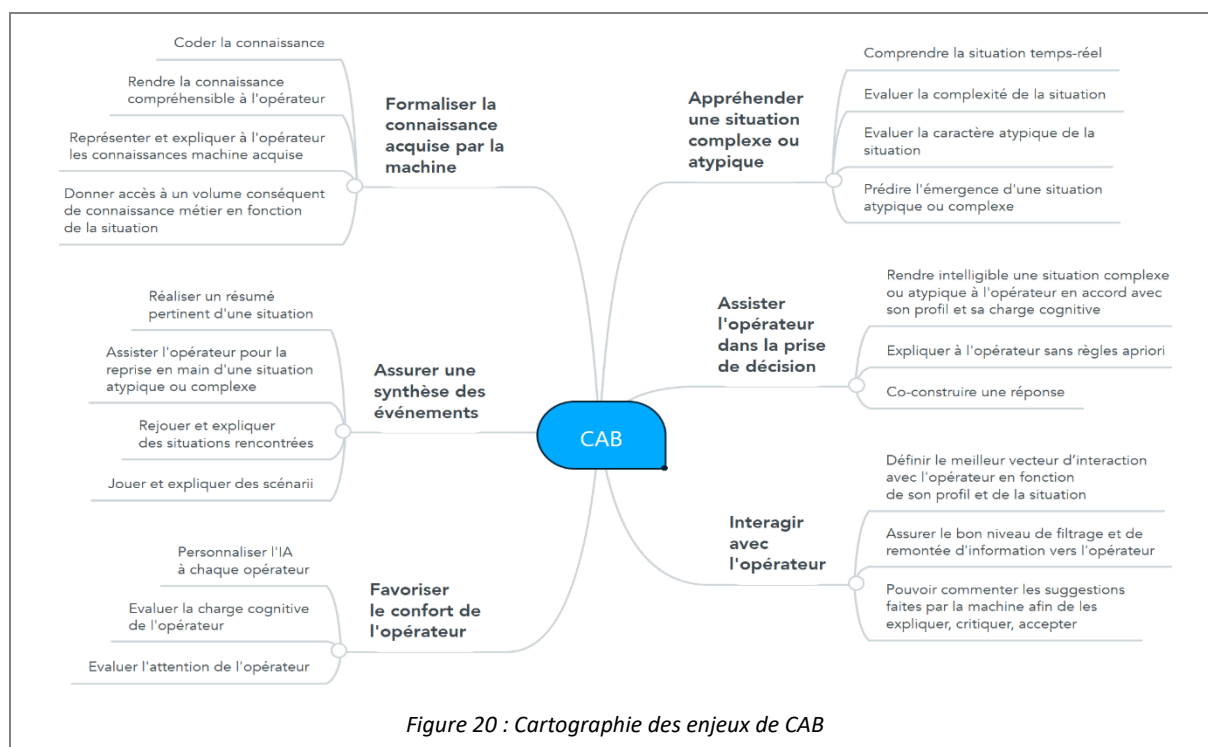
Les principaux verrous scientifiques adressés sont :

- La représentation et le développement de modèles de connaissances ;
- L'apprentissage bidirectionnel entre l'opérateur et l'IA ;
- La caractérisation et compréhension d'une situation complexe par l'assistant virtuel et la pertinence de l'analyse ;
- La personnalisation des recommandations à la situation et au niveau d'expertise de l'opérateur (junior, senior) ;
- L'explicabilité des recommandations faites par l'assistant virtuel ou encore l'acceptabilité par humain.

Sera également étudiée dans ce projet la notion de multimodalité, pour comprendre avec quel(s) sens il est le plus pertinent de faire interagir l'assistant bidirectionnel : modes d'interaction visuels, auditifs/vocaux, tactiles ou combinés, ou encore état de l'opérateur (eye tracking, données biométriques, etc.)

Au terme du projet, seront développés/proposés : un démonstrateur de cockpit intelligent ouvert pour adresser des cas d'usages variés, des datasets et une formulation des données pour échanger avec un assistant, des algorithmes pertinents pour l'hybridation de l'IA avec des IHM multimodales et la preuve de concept des cas d'usage proposés par les 4 partenaires industriels.

La généricité de la solution permet à RTE d'envisager à terme des cas d'usage couvrant les enjeux des salles H24 : supervision (comme pour la SNCF) EOD/flux (dans la logique de la démarche Apogée), SI/télécom (comme pour Orange), gestion des actifs, etc.



Des bénéfices transverses

Les compétences au sein du projet CAB sont diverses, complémentaires (entre elles et avec celles internes chez RTE). Une vraie émulation et dynamique constructive entre tous s'est mise en place pour répondre aux enjeux. L'exercice imposé de généralisation permettra de bénéficier de l'expérience, des synergies et des forces des autres industriels afin d'aboutir à une solution ouverte.



Attirer des référents et des compétences rares en IA autour de nos sujets



Profiter de la structure projet, de l'expertise et du réseau de l'IRT SystemX



Collaborer entre industriels afin de confronter, croiser, mutualiser et généraliser nos approches



Bénéficier de ce vecteur pour pré-industrialiser et diffuser de manière pérenne ces solutions

Nous sommes appuyés sur le projet par Wendy Mackay, experte mondiale de l'interaction humain-machine, qui a notamment travaillé et développé des outils pour les contrôleurs aériens (domaine qui avait été une source d'inspiration initialement pour la démarche Apogée). Dans CAB, Wendy Mackay pilote aussi une thèse autour du Use Case RTE. Pour plus de détails : article RTE « Towards an AI assistant for human grid operators ».

Côté RTE, nous bénéficions directement du savoir opérateur grâce au Centre Exploitation de Nantes ; ainsi un dispatcheur junior et un dispatcheur senior ont intégré l'équipe projet et participent d'ores et déjà aux ateliers de travail et à la thèse.

Les réflexions de CAB alimentent dès aujourd'hui une thèse R&D intitulée : « Machine learning interactif pour les opérateurs du réseau électrique ».

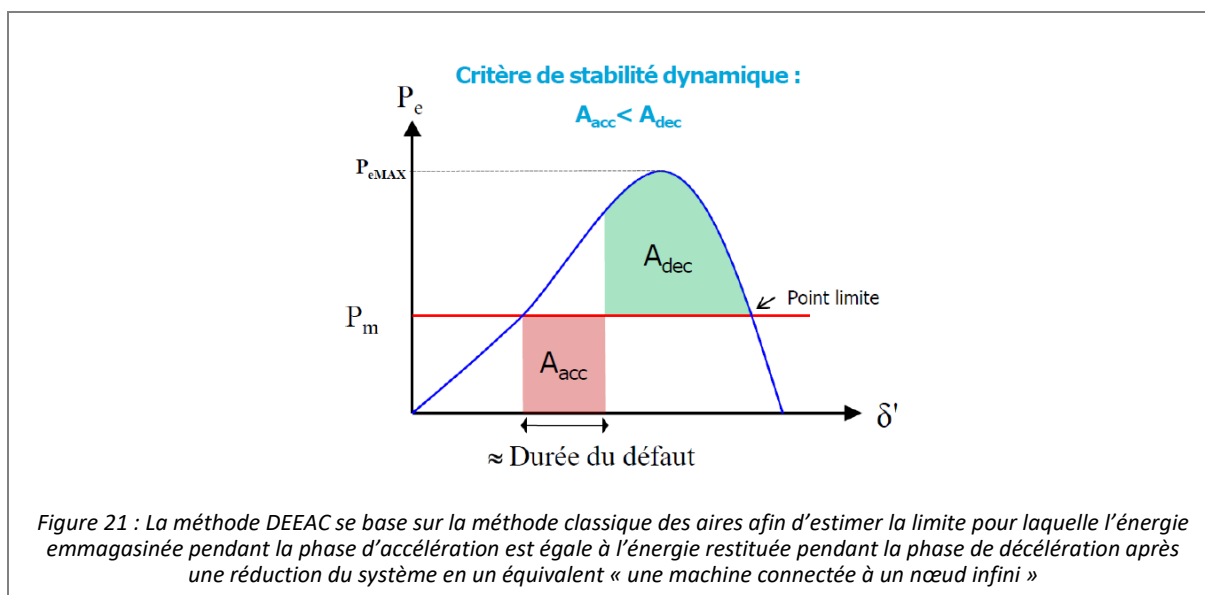
Enfin l'assistant sera basé sur l'outil open-source LF Energy : Operator Fabric, gage de capitalisation facilitée et fluide pour les métiers RTE. Les expérimentations sur la prise de décision en collaboration avec une IA seront assurées sur la base d'un framework construit par la R&D.

4.3 PARTENARIAT AVEC BLACKLIGHT ANALYTICS POUR AMÉLIORER L'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ TRANSITOIRE



La méthodologie actuellement utilisée à RTE pour l'évaluation de la stabilité transitoire, qui s'appuie sur le logiciel de simulation temporelle Eurostag, a déjà montré **ses limites dans certaines situations en exploitation proche du temps réel**. En effet, les facteurs influençant la stabilité des groupes étant de plus en plus difficiles à prévoir, il faudrait balayer un nombre important de scénarios afin de garantir la pertinence d'une étude de stabilité en anticipation. Or, les simulations Eurostag sont gourmandes en capacités de calculs en plus de nécessiter une expertise concernant les données d'entrée ainsi que l'interprétation des résultats.

Une piste envisagée pour **faire évoluer notre méthodologie** et mieux répondre aux besoins des opérateurs proche du temps réel consiste à avoir recours à l'emploi d'une méthode directe de calcul du temps critique. Celle-ci permettrait d'estimer très rapidement si une situation présente un risque ou non pour la stabilité, au prix d'une perte de précision que l'on espère acceptable, et par conséquent de couvrir un nombre important de situations en anticipation. Après un état de l'art des différentes méthodes d'évaluation de la stabilité transitoire, **notre choix s'est porté sur la méthode DEEAC (Dynamic Extended Equal Area Criterion)**.



Dans le but de mettre à l'épreuve la méthode DEEAC, RTE a signé en juin 2020 un partenariat avec BlackLight Analytics (BLA), un spin-off de l'université de Liège spécialisée dans le développement de logiciels intelligents pour le secteur de l'énergie. Ce partenariat a été renouvelé en 2021 et court désormais jusqu'en mai 2022.



La contribution de BLA porte sur l'analyse, la spécification, l'implémentation, et la validation d'une implémentation logicielle de la méthode DEEAC. Fin 2021, BLA a livré une première version du logiciel, et a également publié un article de journal dans la revue Energies intitulé « *Extended Equal Area Criterion Revisited : A Direct Method for Fast Transient Stability Analysis* » présentant de manière exhaustive la méthode. En parallèle, la R&D de RTE a démarré une phase de test avec l'appui du CNES afin de valider que DEEAC offre des résultats satisfaisants pour analyser le réseau français.

5.

**MONTAGE
DE PROJETS**

L'objectif de cette partie est de présenter la dynamique de montage de projets multipartenaires et de recherche de subventions par la R&D de RTE.

Au niveau européen, RTE participe à de nombreux échanges pour candidater à des projets financés, notamment les projets du programme Horizon Europe. Le nombre de projets soumis et le succès sont fonction de nombreux paramètres liés entre autres à la mobilisation nécessaire d'autres partenaires autour de projets communs ainsi qu'au processus de sélection compétitif.

RTE, au sein du Groupe de Travail National (GTN) Français auprès de l'UE (mission du Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)), participe activement au soutien de l'écosystème français vis-à-vis de l'UE.

Par ailleurs, des propositions ont été initiées en 2021 dans le cadre du Plan d'Investissement France 2030 et le PIA4 (4^e Programme d'investissements d'avenir), au sein du Comité Stratégique de Filière Nouveaux Systèmes Energétiques. A titre d'exemple, nous citons le projet « Architecture de pilotage du réseau et des flexibilités » qui a vocation d'identifier et mettre en œuvre des actions de soutien à court terme pour accélérer le développement de la filière des réseaux électriques. RTE, en participation avec les autres membres de la filière française réunis au sein du Groupe de Travail Réseaux, a identifié des applications pour lesquelles le soutien à des projets ou démonstrateurs est de nature à ancrer un avantage compétitif pour la filière française. Ces applications constituent une opportunité pour la filière française de prendre une avance ou une opportunité de se différencier.

En 2021, les 4 projets suivants ont été retenus :

- Sélectionné en 2021 et lancé en 2022 pour une durée de 2 ans, le projet READY4DC a pour objectif de rédiger une feuille de route des projets R&D à lancer au niveau européen sur la thématique de « Modélisation, cadre de simulation et partage des données pour les études HVDC et la simulation des transitoires électromagnétiques (EMT) à grande échelle ». Le montant total du projet est de 1 M€. ENTSOE est partenaire de ce projet, ce qui amène RTE à y participer, en tant qu'adhérent de l'ENTSOE, avec un rôle moteur et prépondérant dans cette action pour préparer l'intégration de l'éolien offshore sur le réseau européen.
- Le projet POSYTIF, pour une durée de 3 ans et demi, vise à étudier le regroupement de différentes sources d'énergie renouvelables (SER) pour constituer un portefeuille de SER acheminables / non acheminables, permettant de redistribuer les ressources de manière optimale. Le projet rassemblera des partenaires provenant de quatre pays de l'UE.
- StoRIES est un projet de recherche pour l'amélioration des technologies de stockage d'énergie et les systèmes énergétiques hybrides. Ce projet a commencé en 2021 pour une durée de 4 ans.
- Le projet RaccorD est un projet piloté par la SNCF. RTE est membre du consortium attributaire dans le cadre de la manifestation d'intérêt CORIFER 2021. Ce projet a pour objectif de réaliser une étude de raccordement en courant continu avec la SNCF. Il a été lancé en 2021 pour une durée de 5 ans.

Les 3 projets READY4DC, POSYTIF et StoRIES sont financés par l'Union Européenne dans le cadre des deux programmes H2020 et Horizon Europe. Quant au projet RaccorD, il est financé par BPI France.

D'autre part, la R&D avait remis des offres pour les projets « INTEROPERA » et « Advanced data-driven monitoring of building stock energy performance » dans le cadre des programmes de recherche de la Commission Européenne mais ces derniers n'ont pas été retenus.

6.

**PUBLICATIONS
2021**

*Nos experts R&D ont contribué à la rédaction de **44 articles scientifiques en 2021** dans les divers domaines d'expertise de RTE (piloteage du système, stabilité du système, gestion des actifs, environnement, réseau long terme, etc.). La liste des références de ces articles par programme R&D est détaillée ci-dessous :*

Programme R&D : Futurs cyber-physiques et écoconçus des infrastructures du réseau

Giraud G., Arnaud M., Bannour B., Lapitre A. (2021), Investigating Process Algebra Models to Represent Structured Requirements for Time-sensitive CPS, In The 33rd International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering, <http://ksiresearch.org/seke/seke21paper/paper147.pdf>.

Maeght J., Panciatici P., Ruiz.M (2021), Modeling the Partial Renewable Power Curtailment for Transmission Network Management, In 2021 IEEE Madrid PowerTech, <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494993>.

Maeght J., Panciatici P., Ruiz.M (2021), Predictive Control for Zonal Congestion Management of a Transmission Network, In 2021 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), <https://doi.org/10.1109/MED51440.2021.9480270>.

Nunes M., Bortrugno D. (2021), Eco-design as a systemic innovation method for offshore substations, In CIGRE Symposium Ljubljana nov. 2021, C3.

Ruiz M. (2021), Grid operation-based outage maintenance planning, In Special issue of the journal Electric Power Systems Research, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779620304855>.

Programme R&D : Gestion des actifs

Belkhabbaz A., Gueguin M., Hafid F., Yang C., Allix O., Ghidaglia J-M. (2021), Surrogate model based approach to predict fatigue stress field in multi-stranded cables, In International Journal of Solids and Structures, <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2021.111168>.

Chaspierre G., Ghazavi Dozein M., Denis G., Panciatici P., Van Cutsem T. (202), Dynamic equivalent of a real distribution grid hosting photovoltaic and synchronous generators, In CIGRE Science and Engineering, <http://hdl.handle.net/2268/251188>.

Amroun H., Ammi M., Hafid F. (2021), Proof of Concept: Calibration of an Overhead Line Conductors' Movements Simulation Model Using Ensemble-Based Machine Learning Model, In IEEE Access, 9, 163391-163411.

Zhang L., Redford J., Hafid F., Ghidaglia J. M., Gueguin M. (2021), VIV modelled using simplified cable dynamics coupled to sub-critical cylinder flow simulations in a moving reference frame, In European Journal of Mechanics-B/Fluids, 85, 214-231.

Guillon T. (2021), Théorie de la fiabilité, analyse du risque et élaboration des politiques de gestion d'actifs, Conférence CIFRAMI 2021.

Guisse L., Cormenier T., Blumental S., Baumier N., Dehouck A., Lambert E., Cutting-Decelle A.-F., Rayon J.-L., Tailhades P., Zouiti M. (2021), A standardized knowledge model for high-voltage equipment catalogue data contributes to simplify the life of end users and manufacturers, IET Conference Proceedings, 2021, p. 152-156, <https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/icp.2021.2001>.

Yahyaoui H., Castellon J., Agnel S., Hascoat A., Frelin W., Moreau C., Hondaa P., Roux D.I., Eriksson V., Andersson C.J. (2021), Behavior of XLPE for HVDC Cables under Thermo-Electrical Stress: Experimental Study and Ageing Kinetics Proposal, In Energies 2021, 14, 7344, <https://doi.org/10.3390/en14217344>.

Programme R&D : Environnement, société et prospective

Degret V., Saffroy D., Taormina B., Quillien N., Lejart M., Carlier A., Desroy N., Laurans M., D'Eu J.-F., Reynaud M., Perignon Y., Erussard H. (2021), Potentiels des câbles électriques sous-marins associés aux projets d'énergies marines renouvelables, FEM.

Devulder N. (2021), Entretien « Paysage comme vecteur d'une entrée en dialogue », Ouvrage « Paysages et énergie - une perspective historique » -S. Allemand -Editions Hermann.

Garnier L. (2021), Biodiversité marine et R&D : la science pour accompagner, préserver, régénérer, La mer, nouvelle frontière pour l'environnement et l'économie.

Girod M., Terrier V., Dussartre V., Bourmaud J.-Y., Bortolotti S., Jouini O., Perez Y. (2021), Assessment of short-term congestion management techniques most suited to near real-time European balancing platforms, In IEAA.

Heggarty T. (2021), Optimisation technico-économique du mix de flexibilité d'un système électrique, Thèse de doctorat.

Montjoie, L., Roques, F. (2021) Designing efficient capacity mechanisms: bidding behavior and product definition. CEEM Working Paper 54.

Rozé C., Doukkali N., Guecem M., Lafragette A., Lelong C., Cordonnier M., Schiel J.-C., Rivière N., Dupouy P.-E., Guzzini P. (2021), Vegetation encroachment lidar detection with drone and carbon footprint reduction, In CIGRE Symposium Ljubljana nov. 2021, B2/C3.

Programme R&D : Stabilité du système

Cardozo C., Prevost T., Zubiaga M., Sanchez-Ruiz A., Olea E., Izurza P., Khan Siam H., Arza J. (2021), Enhanced TVI for Grid Forming VSC under Unbalanced Faults, In Energies – MDPI, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6168/htm>.

Denis G., Cardozo C., Prevost T., Guiu E., Lepour D., Paolone M. (2021), Performance assessment of Synchronous Condensers vs Voltage Source Converters providing grid-forming functions, In Conference PowerTech, <https://arxiv.org/abs/2106.03536>.

Guiu E., Panciatici P., Peruffo A., Abate A. (2021), Aggregation and Control of a Heterogeneous Population of Solar Panels Over the Grid Frequency, In Control System Technology, Vol 29, Number 4, IETTE2 - p. 1420-1436, ISSN 1063-6536, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9186359>.

Prevost T. (2021), Implementation and Validation of a Model Predictive Controller on a Lab-scale Three-Terminal MTDC Grid, In IEEE Transaction on Power Delivery, <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2021.3107485>.

Prevost T., Matevosyan J., MacDowell J., Miller N., Badrzadeh B., Ramasubramanian D., Isaacs A., Quint R., Quitmann E., Pfeiffer R., Urdal H., Vittal V., Woodford D., Huang Shun H., Osollivan J. (2021), A Future With Inverter-Based Resources: Finding Strength From Traditional Weakness, In IEEE Power and Energy Magazine, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9586388>.

Taccho M. (2021), Approximations ensemblistes à grande échelle par hiérarchie moment-SOS, Application à l'analyse de stabilité transitoire de systèmes électriques, Thèse de doctorat.

Xavier F., Xing Y., Marinescu B. (2021), Advanced Control to Damp Power Oscillations with VSC-HVDC Links Inserted in Meshed AC grids, In International Transactions on Electrical Energy Systems, <https://doi.org/10.1002/2050-7038.13252>.

Programme R&D: Pilotage du système

Crochepierre L., Boudjeloud-Assala L., Barbesant V. (2021), Approche interactive d'extraction de variables interprétables et explicatives pour la gestion des contraintes du réseau électrique français, RNTI, <https://hal.inria.fr/hal-03118725/>.

Programme R&D : Climat, EOD et réseau LT

Bloomfield H.C., Brayshaw D.J., Troccoli A., Goodess C.M., De Felice M., Dubus L., Bett P.E., Saint-Drenan Y.-M. (2021), Quantifying the sensitivity of european power systems to energy scenarios and climate change projections, In Renewable Energy, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.125>.

Elias T., Ramon D., Dubus L., Am-Shallem M., Kroyzer G. (2021), DNI and slant path transmittance for the solar resource of tower thermal solar plants: The validation of the ASoRA method and impact in exploiting a global data set, In Solar Energy, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.064>.

Sliwak J. (2021), Résolution de problèmes d'optimisation pour les réseaux de transport d'électricité de grande taille avec des méthodes de programmation semi-définie positive, Thèse de doctorat.

Straub C. (2021), Gestion des congestions et prise de décision dans les réseaux électriques maillés en utilisant des batteries électriques, Thèse de doctorat.

Programme R&D : R&D transverse

Bahmanyar A., Ernst D., Vanaubel Y., Gemine Q., Pache C., Panciatici P. (2021), Extended Equal Area Criterion Revisited: A Direct Method for Fast Transient Stability Analysis, In Energies – MDPI, <https://doi.org/10.3390/en14217259>.

Chaspierre G., Denis G., Panciatici P., Van Cutsem T. (2021), A Dynamic Equivalent of Active Distribution Network: Derivation, Update, Validation and Use Cases, In IEEE Open Access Journal of Power and Energy, <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2021.3102499>.

Cossart Q., Chiaramello M., Guirionne A., Panciatici P. (2021), A Novel Approach for the Calculation of Steady States in Transmission Systems Using Simplified Time-Domain Simulation, In Conference Paper : 2021 IEEE Madrid PowerTech, <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494933>.

Crognier G., Tournebise P., Ruiz M., Panciatici P. (2021), Grid operation-based outage maintenance planning, In Electric Power Systems Research, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106682>.

Ghazavi Dozein M., Chaspierre G., Mancarella P., Panciatici P., Van Cutsem T. (2021), Frequency Response From Solar PV: A Dynamic Equivalence Closed-Loop System Identification Approach, In IEEE Systems Journal, <https://doi.org/10.1109/JSYST.2021.3051938>.

Hoang D. T., Olaru S., Lovine A., Maeght J., Panciatici P., Ruiz M. (2021), Power Congestion Management of a sub-Transmission Area Power Network using Partial Renewable Power Curtailment via MPC, In Control and Decision Conference.

Hoang D. T., Olaru S., Lovine A., Maeght J., Panciatici P., Ruiz M. (2021), Predictive Control for Zonal Congestion Management of a Transmission Network, In 2021 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), <https://doi.org/10.1109/MED51440.2021.9480270>.

Karangelos E., Panciatici P. (2021), Cooperative games' inspired approach for multi-area power system security management taking advantage of grid flexibilities, In Philosophical Transactions of the Royal Society A, <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0426>.

Lovine A., Hoang D. T., Olaru S., Maeght J., Panciatici P., Ruiz M. (2021), Modeling the partial renewable power curtailment for transmission network management, In Conference Paper : 2021 IEEE Madrid PowerTech, <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494993>.

Marot A., Donnot B., Dulac-Arnold G., Kelly A., O'Sullivan A., Viebahn J., Awad M., Guyon I., Panciatici P., Romero C. (2021), Learning to run a Power Network Challenge: a Retrospective Analysis, In Proceedings of Machine Learning Research, 2021 NeurIPS 2020 Competition and Demonstration Track, <https://arxiv.org/abs/2103.03104>.

Rasouli M., Sun T., Pache C., Panciatici P., Maeght J., Johari R., Rajagopal R. (2021), Cloud Electricity Storage for Multi-Service Battery Operation: Case of RTE, In SSRN, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3848288>.

Zhang C., Lasaulce S., Hennebel M., Saludjian L., Panciatici P., Poor H V. (2021), Decision-making oriented clustering: Application to pricing and power consumption scheduling, In Applied Energy, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117106>.

Zhang C., Zou H., Lasaulce S., Varma V., Saludjian L., Panciatici P. (2021), Optimal Pricing Approach Based on Expected Utility Maximization with Partial Information, In International Conference on Network Games, Control and Optimization, https://doi.org/10.1007/978-3-030-87473-5_25.

Zou H., Zhang C., Lasaulce S., Saludjian L., Panciatici P. (2021), A Game-Theoretical Approach for Energy Efficiency in Multiuser MIMO System, In International Conference on Network Games, Control and Optimization, pp. 8-16, https://doi.org/10.1007/978-3-030-87473-5_2.

7.

**BILAN FINANCIER
2021**

7.1 DÉPENSES 2021 DE LA R&D DE RTE

Dans sa délibération du 21 janvier 2021 relative au TURPE 6 HTB, la CRE a doté RTE d'un budget de **160,4 M€** sur quatre ans (2021-2024) de charges d'exploitation consacrées aux activités de R&D : 155,8 M€ financés par le TURPE (avec un mécanisme régulateur ; voir plus bas) et 4,6 M€ de subventions prévisionnelles (1,1 M€/an), apportées par des tiers aux projets de R&D de RTE.

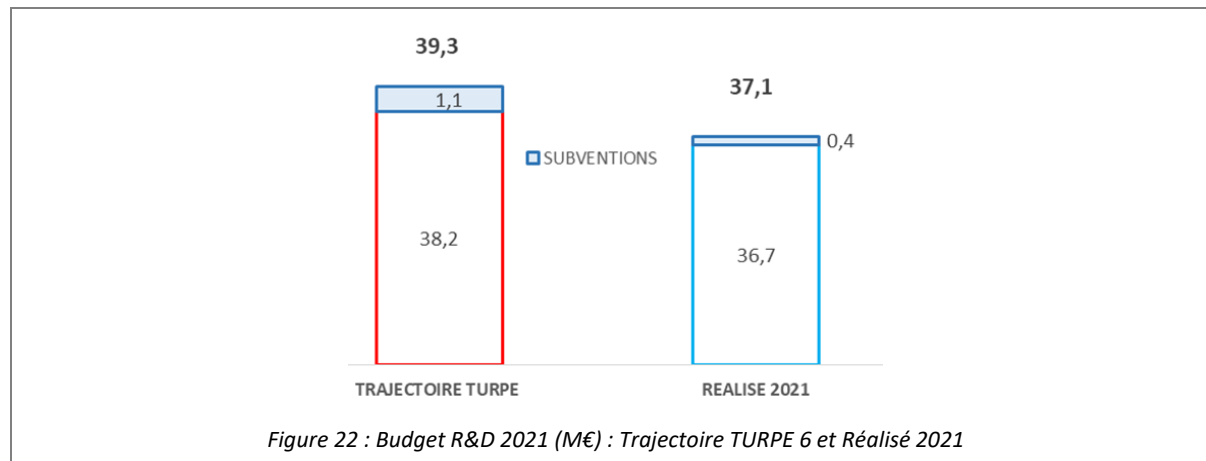
Toutefois ces montants, publiés début 2021, étaient exprimés sur la base d'une inflation prévisionnelle qu'il convient désormais de réapprécier sur la base (i) de l'inflation réalisée en 2021 et (ii) d'une réestimation de l'inflation à venir (i.e. +1,50 %/an en 2022, 2023 et 2024).

Compte tenu de ces actualisations, les budgets alloués par la CRE aux activités de R&D de RTE sont désormais revalorisés comme suit :

Dépenses R&D en M€ courants	2021	2022	2023	2024	TOTAL
Dépenses brutes	39,3	40,4	41,0	42,1	162,8
<i>Dont Subventions</i>	<i>1,1</i>	<i>1,1</i>	<i>1,2</i>	<i>1,2</i>	<i>4,6</i>
Dépenses nettes	38,2	39,3	39,8	40,9	158,2

Le budget des charges d'exploitation consacrées aux activités de R&D de RTE est donc désormais (à date) de **162,8 M€** sur quatre ans (2021-2024) dont **158,2 M€** financés par le TURPE.

Le montant réalisé des **dépenses** de l'année **2021** est de **37,1 M€** (36,7 M€ financés par le TURPE et 0,4 M€ de subventions) pour une prévision initiale, après actualisation de l'inflation, de **39,3 M€** (38,2 M€ financés par le TURPE et 1,1 M€ de subventions).



L'écart à la baisse (-1,5 M€) entre les dépenses 2021 financées par le TURPE (36,7 M€) et la prévision (38,2 M€, hors subventions) est pour l'essentiel dû à l'impact de la crise COVID ainsi qu'à des pénuries de composants, pénalisant ainsi certaines activités du programme R&D Futurs cyber-physiques et éco-conçus des infrastructures du réseau. De plus, les déplacements sur le terrain ont été restreints du fait de la pandémie, entraînant un ralentissement de nombreux chantiers.

Ainsi, les 1,5 M€ non consommés en 2021 sont essentiellement dus à des décalages de prestations en 2022 (ou sur les années suivantes). Ce montant sera donc reporté sur les enveloppes budgétaires annuelles des activités de R&D durant la période TURPE 6.

Le montant total des subventions perçues par RTE en 2021 au titre de ses activités de R&D s'est élevé à 0,4 M€ en 2021, pour un montant prévu de 1,1 M€.

Par ailleurs, la forte activité de montage de projet sur appel à financement menée par la DRD en 2021, pourrait permettre d'augmenter la part de subvention annuelle perçue par RTE dès 2022 (si les projets déposés étaient bien retenus).

7.2 RÉPARTITION DES DÉPENSES PAR PROGRAMME

M€	2021
Gestion des Actifs	7,95
Environnement, Société et Prospective	7,3
Futurs cyber-physiques et éco-conçus des infrastructures du réseau	6,1
Pilotage du système	4,6
Stabilité du système	3,2
Climat, EOD et Réseau LT	3,0
R&D Transverse	4,95
TOTAL	37,1
Subventions	-0,4
TOTAL net de Subventions	36,7

7.3 SUBVENTIONS 2021

Les **subventions** réalisées sont en dessous de l'enveloppe annuelle de **1,1 M€** en atteignant **0,4 M€**, décomposés comme suit :

Programme R&D	Nom du projet	Financement	Montant
Futurs cyber-physiques et écoconçus des composants du réseau	BEST PATHS	Commission Européenne	0,18 M€
Futurs cyber-physiques et écoconçus des composants du réseau	PROMOTION	Commission Européenne	0,07 M€
Futurs cyber-physiques et écoconçus des composants du réseau	CPS4EU	Commission Européenne et BPI	0,13 M€
Gestion des Actifs	CQFD	ADEME	0,03 M€

7.4 RÉGULATION DU BUDGET DE R&D SUR LA PÉRIODE TARIFAIRE

La régulation des dépenses d'exploitation de R&D vise à ce que l'enveloppe des dépenses d'exploitation financées par le tarif durant la période TURPE 6 (2021-2024) soit au moins égale à 158,2 M€ (compte tenu de l'inflation réalisée et prévue, à date). Si le réalisé sur la période tarifaire est *in fine* inférieur à cette cible, l'écart constaté sera restitué aux utilisateurs du RPT.

Hors apport des subventions, la trajectoire prévue des dépenses de R&D financées par le TURPE 6 sur la période 2021-2024 est présentée ci-dessous.

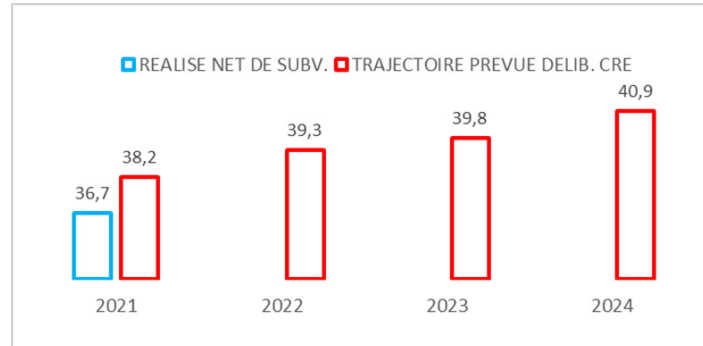


Figure 23 : Trajectoire prévue pour le TURPE 6 (en M€)

En 2021, première année de la période tarifaire TURPE 6, les dépenses de R&D nettes de subventions se sont élevées à 36,7 M€. Ce total est inférieur de 1,5 M€ au montant prévu de 38,2 M€, après actualisation de l'inflation.

Comme indiqué plus haut, les trois années restantes de la période tarifaire actuelle devraient permettre d'absorber cette sous consommation initiale.

8. ■

**TAUX DE
RÉALISATION
DES JALONS
CIBLES 2021**

En 2021, les 49 jalons-cibles ont été répartis entre ces 7 nouveaux programmes :

- **11 Jalons pour « Futurs cyber-physiques et écoconçus des infrastructures du réseau » ;**
- **12 Jalons pour « Gestion des actifs » ;**
- **13 Jalons pour « Environnement, société et prospective » ;**
- **2 Jalons pour « Stabilité du système » ;**
- **4 Jalons pour « Pilotage du système » ;**
- **3 Jalons pour « Climat, EOD et réseau LT » ;**
- **4 Jalons pour « R&D transverse ».**

Sur 49 jalons prévus en 2021, 42 ont été pleinement réalisés, 5 ne l'ont été que partiellement et 2 n'ont pas été atteints, soit un taux de réussite de 90,8%.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de jalons-cibles par programme ainsi que le taux de réussite pour les années 2021 à 2024 :

Programme	2021	2022	2023	2024	TOTAL
Nombres de jalons					
Futurs cyber-physiques et écoconçus des infrastructures du réseau	10,5/11	/10	/	/	/
% de réalisation	95,5%	%	%	%	
Gestion des actifs	9,5/12	/12	/	/	/
% de réalisation	79,2%	%	%	%	
Environnement, société et prospective	12,5/13	/13	/	/	/
% de réalisation	96,2%	%	%	%	
Stabilité du système	1,5/2	/5	/	/	/
% de réalisation	75%	%	%	%	
Pilotage du système	3/3	/8	/	/	/
% de réalisation	100%	%	%	%	
Climat, EOD et réseau LT	3/3	/4	/	/	/
% de réalisation	100%	%	%	%	
R&D transverse	4,5/5	/6	/	/	/
% de réalisation	90%	%	%	%	
TOTAL	44,5/49	/58	/	/	/
	90,8%	%	%	%	%

9.

**REVUE DES
JALONS CIBLES
2021**

Les intitulés des jalons-cibles prévus pour l'année 2021 sont rappelés ci-dessous. Leur situation au terme de l'année écoulée est identifiée dans la colonne de droite (colonne « Situation »), par la terminologie 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 2021 sont commentés.

9.1 FUTURS CYBER-PHYSIQUES ET ÉCOCONÇUS DES INFRASTRUCTURES DU RÉSEAU

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Architecture de pilotage du système hybride cyber-physique » 	Activité : Livrable CPS4EU : D9.4 « Use cases implementation v2 » - Description de l'implémentation NAZA en version décentralisée. Livrable : Rapport D9.4 du projet européen CPS4Eu.	Prévu : Septembre 2021 Réalisé : Septembre 2021	ATTEINT
« Futurs des infrastructures POSTES » 	Activité : Domaine Postes Electriques : poste offshore flottant – Projet MOSSIS avec France Energie Marine. Etude du monitoring nécessaire à surveillance des composants électrotechniques et de structure mécanique d'un poste offshore flottant. Livrable : Rapport d'étude (état de l'art – risques à surveiller – choix des cas d'étude). Commentaire : Rapports d'étude produits en septembre et décalage de la finalisation à avril 2022.	Septembre 2021 Reporté à avril 2022	PARTIEL
« Electronique de puissance et DC » 	Activité : Etude de concepts (courant continu moyenne tension – supraconducteur en courant continu ou alternatif de raccordement de parcs de fermes éoliennes en mer). Livrable : Rapport d'étude. Commentaire : Tous les livrables ont été réceptionnés et validés. Présentation finale aux métiers RTE réalisée.	Prévu : Septembre 2021 Réalisé : Septembre 2021	ATTEINT
« Futurs des infrastructures LIAISONS » 	Activité : Ligne de vie marine : Etude de développement de solution bio-inspirée issue de la démarche prospective BIOMIM – Lignes de Vie Marine. Livrable : Rapport étude du cas d'application et Manuel méthodologique associé. Commentaire : La recherche d'industriels intéressés par la mise au point de maquette de solution à partir des concepts identifiés est prévue en 2022.	[Report] Reprévu et réalisé : Avril 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Futurs des infrastructures LIAISONS » 	Activité : Etude d'opportunité d'utilisation de composants FACTS en poste (type SMART VALVE) pour modifier les flux en ligne sur situation de réseau particulière en région parisienne. Livrable : Rapport d'étude. Commentaire : Le rapport est finalisé et partagé entre les acteurs. Une solution évitant in fine l'investissement a été proposée.	Prévu : Novembre 2021 Réalisé : Novembre 2021	ATTEINT
« Contrôle Commande » 	Activité : Virtualisation : Maquette d'une protection différentielle de liaison avec INPG-G2ELab. Livrable : Maquette + rapport d'étude. Commentaire : INPG et RTE travaillent à mettre en place en 2022 une collaboration pluriannuelle dans le domaine des algorithmes de protection contre les défauts d'isolement et la virtualisation des équipements de contrôle commande.	Prévu : Septembre 2021 Réalisé : Septembre 2021	ATTEINT
« Contrôle Commande » 	Activité : Virtualisation : Maquette de contrôle commande d'un poste électrique 225 kV / HT validé en plateforme et retour d'expérience. Livrable : Maquette + rapport d'étude. Commentaire : Maquette installée et testée par le CNER-Dpt Contrôle Commande au site de Jonage depuis mai. le bilan technique est très positif et permet de travailler en 2022 sur une plateforme ouverte basée sur ces principes.	Prévu : Juin 2021 Réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
« Electronique de puissance et DC » 	Activité : (Etudes/prototypage/essai de composants spécifiques aux technologies à courant continu) : Collaboration avec Centrale - Supélec, sur la faisabilité de limiteurs à supraconducteur de courant pour accroître la stabilité des réseaux à courant continu et réguler les flux de puissance. Livrable : Maquette à échelle réduite de laboratoire. Commentaire : Visite finale du labo et démonstration du fonctionnement des bobines supra validé (hors maquette de réseau DC). Livrable finalisé en novembre. A noter : Publication à l'« European Conference on Power Electronics and Applications » ayant obtenu un young author best paper Award « Feasibility Study of a Superconducting Power Filter for HVDC Grids ».	[Report 2020] Réalisé : Novembre 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Futurs des infrastructures LIAISONS » 	Activité : BIOMIMÉTISME - 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. Livrable : Rapport d'étude. Commentaire : Réalisation des essais en laboratoire menée sur la caractérisation de la solution en fonction de la nature du terrain. Les résultats encourageants en laboratoire (carottes et petites tranchées) ont permis de passer aux tests en site représentatif non opérationnel. L'objectif de faisabilité est atteint ; Retour d'expérience et choix de poursuivre en juin 2022.	[Report 2020] Prévu : Octobre 2021 Réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
« Futurs des infrastructures POSTES » 	Activité : Mise en service en doublure avec accès distant du monitoring, contrôle commande et protections (PDL, PDB) tout numérique IEC 61850 au poste de NOVION 63 KV. Livrable : Ouverture de la période de REX. Commentaire : Après des travaux perturbés par les restrictions de déplacement Allemagne – France, l'ouverture de la période de retour d'expérience REX a été prononcée. Une publication d'article CIGRE est prévue pour la session Paris 2022.	Prévu : Novembre 2021 Réalisé : Novembre 2021	ATTEINT
« Architecture de pilotage du système hybride cyber-physique » 	Activité : Intégration d'une fonction automate en boucle fermée s'appuyant sur une approche « Model Predictive Control », développée avec la chaire CentraleSupélec, au démonstrateur NAZA de Jalancourt. Livrable : Mise à disposition du projet NAZA de cette brique. Commentaire : Le Code MPC livré à la DSIT est maintenant intégré au démonstrateur NAZA de Jalancourt et répond aux attentes ; des ajouts fonctionnels sont prévus en 2022.	Prévu : Juin 2021 Réalisé : Juin 2021	ATTEINT
Total			10,5/11 95,5%

9.2 GESTION DES ACTIFS

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Prédire le comportement des actifs » 	Activité : Signature de la convention pour la chaire de recherche en physique des liaisons aériennes (ENS Saclay, Dervault, Nexans). Livrable : Convention signée.	Prévu : Octobre 2021 Reporté à Mars 2022	PARTIEL
« Automatisation de l'inspection du réseau et moyens d'intervention » 	Activité : Etude de faisabilité de la thermographie infrarouge des liaisons aériennes par drone. Livrable : Rapport. Commentaire : Le contrat avec l'ONERA a bien été signé en novembre 2021 et l'étude lancée en décembre 2021.	Prévu : décembre 2021 Reporté à Décembre 2022	NON ATTEINT
« Systèmes d'aide à la gestion des actifs » 	Activité : Publication de la méthode KAPLA (théorie de la fiabilité appliquée à la gestion des actifs). Livrable : Article dans une revue scientifique. Commentaire : La livraison de l'article est reportée à 2022 pour des raisons de charge de travail.	Prévu : Décembre 2021 Reporté à Avril 2022	NON ATTEINT
« Automatisation de l'inspection du réseau et moyens d'intervention » 	Activité : Livraison de l'outil de simulation météo pour l'utilisabilité des vecteurs d'inspection des liaisons aériennes. Livrable : Un logiciel.	Prévu et réalisé : Janvier 2021	ATTEINT
« Assistant Salles H24 Matériels » 	Activité : Révision de la stratégie concernant l'utilisation d'une DAS (Distributed Acoustic Sensor) pour la localisation de défaut sur liaison souterraine, concernant le très faible nombre de défauts pour lesquels ce dispositif aurait été avantageux. Livrable : Rapport de retour d'expérience et décision.	Prévu et réalisé : Février 2021	ATTEINT
« Automatisation de l'inspection du réseau et moyens d'intervention » 	Activité : Etude d'optimisation technico-économique du Diridrone. Livrable : Rapport d'étude.	Prévu et réalisé : Octobre 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Systèmes d'aide à la gestion des actifs » 	Activité : SCOOP (Schedule of operations optimisation) : calcul des métriques de risque sur au moins six centres d'exploitation sur sept. Livrable : Fichiers décrivant les distributions du risque (en termes de coûts de congestion, ENE, redispatching) lié à la consignation de chaque ouvrage du réseau.	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
« Systèmes d'aide à la gestion des actifs » 	Activité : Simulation dans MONA des trajectoires SF6 (masse installée et rejets) en fonction des stratégies de gestion des PSEM et des disjoncteurs SF6. Livrable : Modèle de prévision et logiciel associé dans MONA, rapport d'étude.	Prévu : Juin 2021 Réalisé : Novembre 2021	ATTEINT
« Automatisation de l'inspection du réseau et moyens d'intervention » 	Activité : Lancement de l'expérimentation d'inspection robotisée dans la station de conversion de Baixas. Livrable : Robot d'inspection installé sur site.	Prévu et réalisé : Novembre 2021	ATTEINT
« Comportement des actifs » 	Activité : 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.	Prévu et réalisé : Mai 2021	ATTEINT
« Systèmes d'aide à la Gestion des Actifs » 	Activité : Réception de la version EDISON de MONA, portant la capacité de modéliser toutes les politiques de RTE. Livrable : Un logiciel.	Prévu et réalisé : Juin 2021	ATTEINT
« Systèmes d'aide à la Gestion des Actifs » 	Activité : Mise en Open Source de la bibliothèque RE-LIFE, boîte à outils pour calculer des politiques optimales de renouvellement. Livrable : Un ensemble de logiciels.	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
Total			9,5/12 79,2%

9.3 ENVIRONNEMENT, SOCIÉTÉ ET PROSPECTIVE

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Biodiversité » 	Activité : Impact des liaisons sous-marines : OASICE. Cette activité vise à 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. Livrable : Rapport sur les états initiaux et pendant la période des travaux d'IFA2.	Prévu et réalisé : Février 2021	ATTEINT
« Biodiversité » 	Activité : Synthèse bibliographique des effets et impacts des postes électriques en mer sur l'environnement. L'activité a pour objectif la compilation de données des impacts de postes en mer (ou de structures similaires), au sein d'environnements différents (avec par exemple, des postes posés sur des substrats meubles ou durs) tels qu'il peut en avoir à l'étranger, en particulier sur des sites en exploitation. Livrable : Remise de la synthèse bibliographique.	Prévu : Octobre 2021 Réalisé : Novembre 2021	ATTEINT
« Ecoconception, analyses environnementales et de résilience » 	Activité : Stratégie soutenable de consommation de ressources naturelles par RTE. Il s'agit d'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. Livrable : Rapport d'étude et proposition de stratégie de soutenabilité de consommation de ressources naturelles du réseau RTE. Commentaire : Ce jalon est partiellement atteint avec la production du volet matières du rapport Futurs Energétiques 2050, qui fait l'état de la consommation de matières, mais sans aller jusqu'à la stratégie de soutenabilité.	[Report] Prévu et réalisé : Décembre 2021	PARTIEL
« Gouvernance et régulation en phase avec la société » 	Première étape d'exploration de la comptabilité en triple capital : état de l'art et retours d'expériences (benchmark) pour une première qualification de l'applicabilité à RTE. Livrable : Rapport d'étude.	Prévu et réalisé : Novembre 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Gouvernance et régulation en phase avec la société » 	Activité : Thèse : la solidarité électrique : Comment préserver des principes de solidarité dans un régime d'innovation intensive (Chaire Théorie de l'entreprise – Mines ParisTech). La recherche étudiera les limites des modèles classiques de solidarité en situation d'innovation ainsi que les couplages possibles entre les conceptions de réseau et les logiques de solidarité. Elle s'efforcera d'en déduire des outils adaptés pour un opérateur doté d'une mission d'intérêt collectif en régime d'innovation. Livrable : Dépôt de demande de financement CIFRE auprès de l'ANRT.	Prévu et réalisé : Février 2021	ATTEINT
« Biodiversité » 	Activité : Etude des effets de la gestion alternative de la végétation sur les emprises forestières et les postes électriques de RTE sur la biodiversité. Cette activité comprend : 1) Proposition d'un plan d'échantillonnage pour réaliser une étude comparative de l'activité des chauves-souris sur site en Gestion Alternative de la Végétation (GAV) et Gestion classique 2) Proposition d'un protocole de gestion et d'analyse des données récoltées dans les postes électriques en zéro phyto 3) une phase de récolte de données sous les lignes électriques 4) un rapport indiquant via un indicateur de biodiversité les effets des pratiques de gestion de la végétation sur la biodiversité. Livrable : Proposition d'un plan d'échantillonnage pour réaliser une étude comparative de l'activité des chauves-souris sur site en GAV et Gestion classique en fonction de l'hétérogénéité des portées déterminées.	Prévu et réalisé : Juin 2021	ATTEINT
« Biodiversité » 	Activité : BELIVE – Gestion alternative de la végétation : dimensionnement des 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 écosystémiques...). Livrable : Rapport sur le REX financier de BELIVE.	Prévu et réalisé : Novembre 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Gouvernance et régulation en phase avec la société » 	Activité : Chaire Paysage et énergie : Comment mieux intégrer l'approche paysage dans nos projets ? L'activité a pour objectif de tirer parti des 20 recherches-actions qui ont été menées depuis 2016 dans le cadre de la Chaire Paysage Energie, et de l'analyse qui en a été faite par Sophie Dulau, pour transférer les enseignements dans nos pratiques/process. Livable : Plan d'action détaillé des actions à court, moyen et long terme, des échéances, contributeurs et ressources associées.	Prévu et réalisé : Juin 2021	ATTEINT
« Ecoconception, analyses environnementales et de résilience » 	Activité : Diagnostic ressources minérales critiques. Il s'agit d'évaluer et mettre en évidence le niveau de criticité de ressources minérales pour RTE. Livable : Rapport d'étude sur la criticité des matières principales pour RTE.	Prévu et réalisé : Novembre 2021	ATTEINT
« Ecoconception, analyses environnementales et de résilience » 	Activité Expérimentation de phyto remédiation : L'activité vise à activer l'alliance avec la multifonctionnalité du vivant par l'expérimentation de solutions de végétalisation dotées de capacités de phytoremédiation de notre foncier pollué. Livable : Rapport d'étude d'expérimentation de phyto remédiation sur 1 site de démonstration RTE.	[Report] Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
« Ecoconception, analyses environnementales et de résilience » 	Activité : Cadre méthodologique d'évaluation environnementale en cycle de vie pour le BP2050. L'activité a pour objectif de produire une étude environnementale en cycle de vie des scénarios du BP2050, avec une méthode réutilisable pour les prochains exercices. Livable : Publication de l'analyse environnementale du BP2050.	[Report] Prévu et réalisé : Septembre 2021	ATTEINT
« Système énergétique futur » 	Activité : BP2050 : Modélisation et étude des interactions entre électricité et hydrogène. Livable : Rapport d'étude.	Prévu et réalisé : Octobre 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Energie, Réseau et Société » 	Activité : BP2050 : Identification des facteurs sociétaux relatifs à la production, la consommation et la flexibilité ; définition d'indicateurs à intégrer aux études et mise en récit des scénarios. Livrable : Rapport d'étude.	Prévu et réalisé : Octobre 2021	ATTEINT
Total			12,5/13 96,2%

9.4 STABILITÉ DU SYSTÈME

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Simulateurs électro-techniques du fonctionnement du système » 	Activité : Insertion opérationnelle de l'outil de simulation dynamique pour la stabilité en tension « DynaWaltz ». Livrable : Décision concernant le déploiement du modèle.	Prévu et réalisé : Avril 2021	ATTEINT
« Stabilité d'un système en forte mutation » 	Activité : Expérimentation au CE Toulouse autour du réglage secondaire de tension avec de nouveaux contrôles (en lien avec la Chaire Centrale Nantes). Livrable : Lancement de l'expérimentation. Commentaire : Le déploiement de la version du RST-N embarquant les nouveaux contrôles à tester est décalé à avril 2022. En effet, l'expérimentation est en préparation mais ne pourra débuter avant mi-2022.	Prévu et réalisé : Septembre 2021 Prévu : Avril 2022 Reporté à juin 2022	PARTIEL
Total			1,5/2 75%

9.5 PILOTAGE DU SYSTÈME

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Flux, Assistant salles H24 » 	Activité : Mise à disposition d'une première version de méthode rapide d'évaluation de la stabilité transitoire sur le réseau français à l'issue de la collaboration avec Blacklight Analytics. Livable : Rapport à destination du CNES sur les apports de cette méthode pour la gestion de stabilité transitoire. Commentaire : Le rapport a été édité sous forme d'une publication scientifique dans le journal Energies : « Extended Equal Area Criterion revisited: a direct method for fast transient stability analysis » (publié le 3/11/21). Ce rapport détaille la méthode rapide d'évaluation de la stabilité transitoire développée dans le cadre de la collaboration avec Blacklight Analytics et l'Université de Liège, et présente des premiers résultats obtenus sur le réseau français.	Prévu : Juin 2021 Reporté à Novembre 2021	ATTEINT
« Prévisions CT » 	Activité : Expérimentation du nouveau soft prototype en parallèle de l'opérationnel visant à tester les nouveaux algorithmes de prévision nationale de consommation électrique et de production ENRs (éolien et photovoltaïque) sur les 13 prochains jours. Ces nouveaux algorithmes de machine learning supervisé utilisant de nouvelles données météorologiques fourniront des prévisions avec incertitudes à une résolution temporelle de 5 à 15 min et pourront être réactualisées plusieurs fois par heure. Livable : Lancement de l'expérimentation.	Prévu et réalisé : Octobre 2021	ATTEINT
« EOD, Assistant salles H24 » 	Activité : Industrialisation du module « Worst Case », expérimenté en 2020 avec le CNES, pour gérer les incertitudes sur la frontière FR-ES Livable : Lancement de l'industrialisation.	Prévu et réalisé : Septembre 2021	ATTEINT
Total			3/3 100%

9.6 CLIMAT, EOD ET RÉSEAU LT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Climat, Météo et impacts sur le système électrique » 	Activité : Etude d'opportunité d'intégration des prévisions mensuelles du European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) dans les passages de saison. Livrable : Rapport d'étude. Commentaire : Une étude d'opportunité afin d'intégrer des prévisions mensuelles de température dans les passages de saison a été menée. Ces prévisions sont disponibles 2 fois par semaine et portent sur les 32 jours suivants avec possibilité d'étendre à 45 jours. la validation des prévisions montre qu'elles apportent plus d'informations qu'une prévision basée sur des données climatologiques. les performances sont particulièrement bonnes en hiver pour la prévision des périodes froides, et en été pour les périodes chaudes. Une méthode a été implémentée pour combiner ces prévisions avec les 200 scénarios Météo-France utilisés dans les passages de saison, de manière à pouvoir re-simuler le passage de l'hiver avec ANTARES en changeant uniquement les données de consommation. les résultats, quoique complexes à analyser, montrent un intérêt évident. en particulier, les prévisions peuvent être utilisées pour surveiller le risque d'approcher les températures de vigilance établies dans la simulation de référence. Ces travaux vont se poursuivre dans le cadre d'une alternance.	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
« Modélisation EOD LT » 	Activité : Simulateur du planning de maintenance des groupes nucléaires prenant en considération l'évolution du parc nucléaire français pour les études LT. Livrable : Prototype à disposition des utilisateurs. Commentaire : Un module a été développé pour optimiser le placement des maintenances du parc thermique, dans un contexte d'évolution importante de ce parc qui fait qu'au-delà de 2035 (échéance PPE), il ne serait pas satisfaisant de produire ces chroniques en se basant sur les historiques. la V1 du module a été livrée aux entités métiers de RTE (DIESE et SEDRE) en février 2021. Cette version, dite « déterministe », génère un unique scénario de ces maintenances, année après année, en se basant sur les durées moyennes observées des maintenances par typologie de maintenance et de réacteur. Le travail s'est poursuivi avec le développement et la livraison d'une V2, dite « stochastique », qui propose une scénarisation des aléas sur la durée de ces maintenances. la V1 et la V2 ne gèrent que le parc nucléaire. le module a été présenté aux entités métiers (DIESE et SEDRE).	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Evolution du réseau, restructuration de zones » 	Activité : Restructuration de zones : méthodes et prototypes mis à disposition des utilisateurs avancés pour gérer la combinatoire des stratégies de restructuration possibles (caractérisation des options, filtrage des combinaisons possibles, estimation OPEX). Livrable : Prototype à disposition des utilisateurs. Commentaire : La R&D a mis à disposition des métiers un prototype sur les restructurations de zone. Dans certaines zones d'étude, les chargés d'étude font face à une augmentation de la combinatoire des stratégies pour des contraintes patrimoniales ou autre enjeu de gestion des actifs représentant une opportunité de restructurer en profondeur la zone. Un prototype a été développé et a été déployé sur l'infrastructure POKER¹⁷ afin d'enrichir les analyses des chargés d'études et d'objectiver leurs choix (Classification des stratégies les moins chères et affichage des stratégies). Ce prototype a pu être utilisé par plusieurs chargés d'études de SEDRE dont les retours sont très positifs et ont permis d'ajouter de nouvelles fonctionnalités.	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
Total			3/3 100%

9.7 R&D TRANSVERSE

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Numérique pour Observer, Prédire et Décider » 	Activité : Note de cadrage autour d'une gestion conjointe EOD RSO. Livrable : Rédaction d'un plan d'actions pour embrasser la thématique. Commentaire : Les principes de l'étude (données d'entrée, briques de calcul, indicateurs à analyser) ont été définis. Le cœur du travail réside dans le développement d'un Probabilistic Security Constrained Optimal Power Flow (pSCOPF) dont une première version a été développée mais pour lequel plusieurs questions de modélisation sont encore à l'étude. Il faudra ensuite un travail de validation du modèle avant de lancer l'étude sur les cas envisagés. la note de cadrage est reportée en mars 2022 et sera poursuivie par un prototype de probabilistic Optimal Power Flow (pSCOPE).	Prévu : Novembre 2021 Reporté à mars 2022	PARTIEL

¹⁷ POKER est le nom qui fait référence à la plateforme de Datalab basée sur R. Des utilisateurs et projets dans différentes entités ont besoin de solution pour mener des études et analyses de données avancées et elles ont choisi R et son écosystème comme outils pour la manipulation de donnée.

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Open R&D » 	Activité : Partenariats et Innovation ouverte. L'activité a pour premier objectif d'accompagner les projets menés par la R&D de RTE pour identifier, construire et faire fonctionner des partenariats. Elle a également pour ambition de concevoir et d'expérimenter de nouveaux modèles de collaboration fondés sur l'innovation ouverte. Livable : Mise en place le cadre de collaboration RTE-Enedis pour le projet STAR, sélection du ou des prestataires de service et démarrage des développements du démonstrateur. Commentaire : Collaboration avec Enedis opérationnelle. Appel d'offres ayant abouti à la contractualisation en août avec IBM et MC2I. Développements démarrés en septembre.	Prévu et réalisé : Juillet 2021	ATTEINT
	« Open R&D »  Activité : Construction d'un écosystème de partenaires pour le co-développement de logiciels en open source. Cette activité vise le développement d'un écosystème de partenaires impliqués, productifs et pertinents, notamment autour de la fondation LF Energy créée à l'initiative de RTE. Elle implique aussi l'accompagnement de projets logiciels à fort enjeu industriel afin d'identifier les opportunités de collaborations open source et les mettre en œuvre le cas échéant. Livable : Adhésion à LF Energy de 3 partenaires GRT et GRD européens et 2 fournisseurs de RTE, ayant une implication active dans la communauté. Commentaire : Adhésion de 5 GRD/GRD (Alliander, TenneT, Energinet, Statnett, Vattenfall) parmi lesquels Alliander a une forte implication, et Energinet, TenneT et Vattenfall montrent un début de participation active. Adhésion de 4 fournisseurs de RTE (GE, Hitachi-ABB, Savoir-faire Linux, Unicorn).	Prévu et réalisé : Juin 2021	ATTEINT

Feuille de route	Intitulés des jalons 2021	Date prévue et date de réalisation (ou de report)	Situation Jalon-cible
« Open R&D » 	Activité : Identification, expérimentation et validation de nouveaux modes d'organisation des activités logicielles pour les collaborations open source. Cette activité comprend : 1) l'animation interne, la pédagogie à tous les niveaux de l'entreprise, le partage des bonnes pratiques, l'analyse des retours d'expérience ; 2) la transformation des activités de développement logiciel internes incluant l'adaptation des compétences requises, des cursus de formation, des processus d'achat logiciel, et l'identification et l'expérimentation des nouveaux outillages requis. Livable : Mise en place d'une organisation open source opérante pour 4 projets de développement logiciel à fort enjeu industriel. Commentaire : Des gouvernances et fonctionnements open source communautaires opérants ont été mis en place pour 5 projets (PowSyBI, OperatorFabric, CoMPAS, SEAPATH, FledgePower).	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
« Open R&D » 	Activité : Normalisation. Livable : Publication des normes permettant la mise en œuvre des codes réseaux et règles de marché au niveau européen. Commentaire : Une première version des normes a été publiée. Une seconde version est en révision.	Prévu et réalisé : Décembre 2021	ATTEINT
Total			4,5/5 90%



Le réseau
de transport
d'électricité

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