



BILAN DES ACTIVITES DE R&D

2013-2016

Table des matières

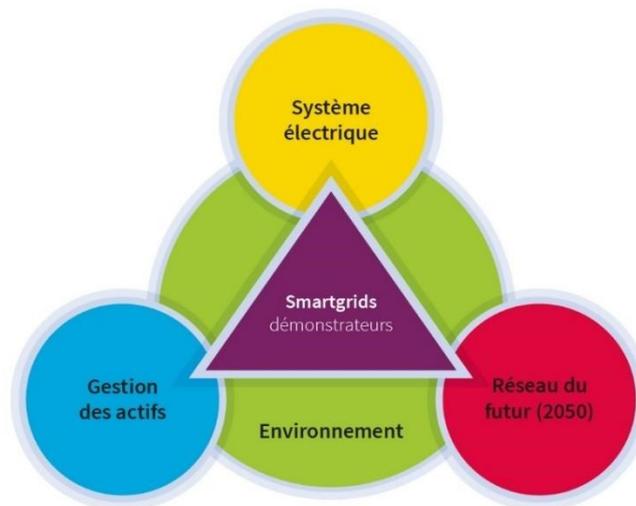
INTRODUCTION	5
<i>Rappel des objectifs du programme 2013-2016</i>	5
SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS PAR LA R&D DE RTE ENTRE 2013 ET 2016	7
PROGRAMME « RESEAU DU FUTUR »	10
LES ENJEUX DU PROGRAMME « RESEAU DU FUTUR »	10
LES OBJECTIFS DU PROGRAMME	10
LES REALISATIONS MAJEURES DE LA PERIODE ET LEURS SUITES	10
<i>Les réseaux à courant continu</i>	10
<i>Les liaisons du futur</i>	11
<i>Les postes du futur</i>	12
<i>Le contrôle-commande du futur</i>	12
PROGRAMME « GESTION DES ACTIFS »	14
LES ENJEUX DU PROGRAMME « GESTION DES ACTIFS »	14
LES OBJECTIFS DU PROGRAMME	14
LES REALISATIONS MAJEURES DE LA PERIODE ET LEURS SUITES	14
<i>La mise en place d'un écosystème</i>	14
<i>Les moyens d'observation et de diagnostic non destructif</i>	15
<i>L'étude et la prédiction du comportement des ouvrages</i>	15
<i>L'optimisation des stratégies techniques</i>	16
PROGRAMME « SYSTEME ELECTRIQUE »	18
LES ENJEUX DU PROGRAMME « SYSTEME ELECTRIQUE »	18
LES OBJECTIFS DU PROGRAMME	19
LES REALISATIONS MAJEURES DE LA PERIODE ET LEURS SUITES	19
<i>Les nouveaux outils d'exploitation</i>	19
<i>Les modèles de simulation dynamique</i>	19
<i>Les calculs de capacité</i>	20
<i>Les études de développement de réseau</i>	20
<i>La gestion de l'équilibre offre-demande</i>	21
PROGRAMME « ENVIRONNEMENT »	23
LES ENJEUX DU PROGRAMME « ENVIRONNEMENT »	23
LES OBJECTIFS DU PROGRAMME	23
LES REALISATIONS MAJEURES DE LA PERIODE ET LEURS SUITES	23
<i>La biodiversité</i>	23
<i>L'éco-conception</i>	24
<i>La santé</i>	24
<i>La sociologie</i>	24
PROGRAMME « SMART GRIDS »	27
LES ENJEUX DU PROGRAMME « SMART GRIDS »	27
LES OBJECTIFS DU PROGRAMME	27
LES REALISATIONS MAJEURES DE LA PERIODE ET LEURS SUITES	27
<i>Le projet Nice Grid</i>	27
<i>Le projet GreenLys</i>	28
<i>Le projet VENTEEA</i>	28
<i>Le projet Smart Grid Vendée</i>	28
CONCLUSION	31
<i>Des objectifs atteints pour la période 2013-2016</i>	31
<i>La suite de ces travaux sur la période 2017-2020</i>	32

INTRODUCTION

RTE a depuis très longtemps développé une culture de recherche et développement (R&D) forte au service de sa performance, technique et économique. Depuis 2013, la Commission de régulation de l'énergie (CRE¹) a spécifiquement prévu, dans le quatrième tarif d'utilisation des réseaux² (TURPE 4), un budget spécifiquement alloué à cette R&D. La période tarifaire 2013-2016 (TURPE 4) venant de s'achever, ce document dresse donc le bilan des travaux qui ont pu être menés par RTE grâce à ces budgets.

Rappel des objectifs du programme 2013-2016

La feuille de route R&D de RTE était structurée selon cinq programmes stratégiques³ :



Les cinq programmes stratégiques de la R&D de RTE entre 2013 et 2016

Ces cinq programmes stratégiques ont permis de poursuivre plusieurs grands objectifs :

1. Renforcer les capacités d'optimisation en continu de l'exploitation du système électrique pour pouvoir gérer un système électrique avec de fortes pénétrations des énergies renouvelables intermittentes (intégrer de nouvelles technologies dans le système électrique, mieux exploiter le système électrique d'aujourd'hui et de demain, manager de manière prévisionnelle les actifs de RTE, développer le réseau de transport, assurer l'équilibre offre-demande en s'appuyant sur de nouveaux concepts de marché) ;

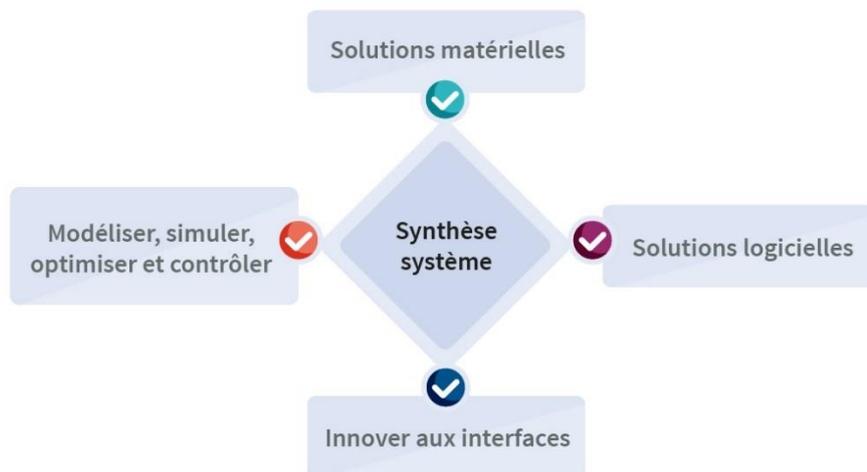
¹¹ Commission de régulation de l'énergie : le régulateur indépendant du secteur du gaz et de l'électricité.

² TURPE : Tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité. Il s'agit de la part de la facture d'électricité qui finance les gestionnaires des réseaux de transport (RTE) et de distribution (Enedis et les Entreprises locales de distribution ELD). Ce tarif est revu en profondeur tous les 4 ans.

³ Le document publié en 2013 pour présenter les axes de recherche de RTE pour la période 2013-2016 est accessible sur http://www.rte-france.com/sites/default/files/2013_10_08_feuille_de_route_rd_rte_fr_version_finale.pdf

2. progresser dans la gestion des actifs de RTE en allant vers une maintenance prédictive (obtenir des données expérimentales sur la durée de vie d'équipements critiques, prévoir par simulation le vieillissement de composants, développer des méthodes et outils d'aide à la décision pour le management des actifs de RTE) ;
3. préparer le réseau du futur (valider le potentiel de technologies nouvelles, spécifier et valider les futurs équipements, préparer leur intégration et leur déploiement, faire évoluer les plans de protection et de défense) ;
4. détecter et intégrer des connaissances scientifiques et technologiques nouvelles pour l'aide à la décision à toutes les échelles de temps (techniques de modélisation des trois couches du réseau, physique, logique et marché, aux trois échelles de temps caractéristiques des fonctions de RTE, techniques de simulation utilisant des modèles adaptés gérant le compromis difficile entre fidélité, performance et flexibilité, techniques de contrôle utilisant les nouveaux capteurs et les nouveaux actionneurs, techniques d'optimisation à la recherche de l'optimum global avec une modélisation de plus en plus détaillée et complexe du système) ;
5. évaluer et faire émerger le potentiel de flexibilité provenant des utilisateurs des réseaux intelligents (les opérateurs de réseaux comme constructeurs de flexibilité, les nouvelles offres de flexibilité) ;
6. savoir estimer et maîtriser les impacts (économiques, environnementaux, sociétaux, ...) de toute l'activité de RTE (éco-concevoir les équipements du futur et leur exploitation, anticiper les impacts du réseau sur la biodiversité, anticiper les impacts du réseau sur la santé, prendre en compte la dimension sociale des concertations avec les parties prenantes).

Pour atteindre ces objectifs, la direction R&D de RTE s'est appuyée sur quatre piliers principaux :



Les quatre piliers de la R&D de RTE

SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS PAR LA R&D DE RTE ENTRE 2013 ET 2016

Ce document a vocation à présenter l'état d'avancement des différents travaux R&D de RTE à la fin de la période tarifaire TURPE 4.

Les résultats obtenus sont classés en trois catégories :



Acquisition de connaissances sur des sujets à fort enjeu



Gain de maturité technologique et progression vers une mise en œuvre de solutions nouvelles



Mise en service de solutions nouvelles

Datascience sur le matériel

Mise en place d'un outil d'exploitation en masse de données d'origines différentes à des fins prédictives (risques météo, vieillissement des composants...)

Vieillessement des lignes et postes

Progression notamment sur la connaissance des phénomènes de corrosion de l'ensemble des équipements (conducteurs, isolateurs, câbles souterrains)

Etudes de réseau 100% ENR

Connaissance sur le comportement électrotechnique d'un système électrique intégrant massivement des productions d'électricité renouvelable connectées au réseau par électronique de puissance et sur le développement des lois de commandes des composants à base d'électronique de puissance pour permettre le fonctionnement d'un réseau 100% ENR.

Simulation des réseaux

Avancées significatives pour le traitement des systèmes de grande taille (plusieurs milliers de nœuds électriques) grâce à l'utilisation de résultats mathématiques récents de géométrie algébrique.

Impact de l'offshore

Plusieurs projets scientifiques ont été montés pour évaluer l'effet des réseaux offshore sur les écosystèmes et espèces marines.

Santé et les CEM

Veille active sur l'effet des champs électromagnétiques sur les stimulateurs cardiaques, maladie neurodégénérative et les fonctions cognitives.

Acceptabilité de nos ouvrages

Travail sur de nouvelles approches de concertation, sur la représentation sociologique de nos ouvrages et sur les facteurs d'acceptabilité.

Limiter l'effet de serre (SF6)

Travail sur l'évolution des technologies de postes sous enveloppe métallique et disjoncteur sans gaz SF6 (voir Réseau du futur)

Mortalité avifaune

Mise en évidence de la difficulté et absence de fiabilité de l'évaluation de la mortalité des oiseaux au niveau de nos lignes par des moyens humains.

Gain de maturité et progression vers une mise en œuvre de solutions

Capteurs innovants

Partenariat avec des PME sur des capteurs innovants et appui de RTE pour amener ces produits à un stade industriel.

Imagerie numérique

Premiers démonstrateurs d'imagerie aéroportée (avion, hélicoptère ou drone) avec notamment la télédétection par laser.

Stratégie de gestion des actifs

Partenariat de développement avec la société Cosmo Tech d'un outil d'aide à la gestion des actifs (simulation de système complexe) qui devrait fournir ses premiers résultats opérationnels cette année.

Localisation de défaut souterrain

Démonstrateur d'une méthode innovante et précise de localisation de défaut sur câble souterrain par analyse du signal de la fibre optique parcourant le câble.

Optimisation de l'exploitation

Développement de l'outil d'hypervision et d'automatisation de la conduite (Apogée) et de gestion des aléas ENR (I-Tesla) pour une mise en service progressive des fonctionnalités d'ici 2020.

Etudes de Développement du réseau

Avancées sur la modélisation du système électrique européen à l'échelle zonale et la simulation d'un nombre important de scénarios climatiques au pas de temps horaire s'avérant particulièrement pertinent pour les études de développement (projet E-Highway 2050).

Simulation dynamique du réseau

Développement de l'ensemble des modèles dynamiques au nouveau format MODELICA et poursuite de la stratégie visant à faire de ce format un standard européen en itérant avec des partenaires stratégiques.

Analyse cycle de vie

Méthode pour identifier les « sujets prioritaires » en matière d'empreinte environnementale dans nos matériels et activités de transport d'électricité.

Alternative aux phytosanitaires

Identification de premières solutions pour réduire ou supprimer l'usage de produits phytosanitaires dans l'entretien des postes électriques.

Emprise sous les lignes

Expérimentations sur différents moyens pour entretenir durablement les emprises des ouvrages (corridor vert sous les lignes) pour une gestion alternative de la végétation. Déploiement à venir de ces techniques sur trois territoires en France.

Mise en service de solutions

Localisation sous-marine de défaut

Amélioration très significative de la précision de la détection sur câble sous-marin par la nouvelle méthode magnétique qui a permis fin 2016 de localiser très précisément et très rapidement le point d'arrachage du câble IFA2000, accélérant ainsi sensiblement la reprise de service.

Dimensionnement des postes

Mise en œuvre de simulation numérique, pour l'étude de tenue mécanique des charpentes de postes en cas de court-circuit, qui a permis de réévaluer le référentiel de dimensionnement des postes et éviter de nombreuses reconstructions inopportunes.

Flow based en Europe

Intégration de la méthode flow based conçue et proposée par RTE dans les calculs de capacités aux interconnexions dans les réseaux très maillés. Introduction de cette méthode dans les codes de réseaux européens en cours d'élaboration (en tant que processus de calcul de capacités coordonné entre GRT européens). Lancement opérationnel en mai 2015 avec de très bons résultats ce qui concrétise les efforts de R&D consacrés à ce sujet.

TYNDP de l'ENTSOE

Promotion des méthodes issues du projet européen E-Highway 2050 auprès de l'ENTSOE pour son plan de développement de réseau décennal appelé TYNDP.

Prévision Production Photovoltaïque

Développement et mise en service d'un modèle de prévision et d'estimation à court terme de la production photovoltaïque.

Optimiseur de parades

Mise en service d'une nouvelle méthode de calcul de capacité coordonné J-2 aux frontières nord italiennes, processus pour lequel l'optimiseur de parades, développé par la R&D de RTE, est utilisé de manière opérationnelle au quotidien par les équipes de Coreso.

Protection des oiseaux

Résorption des points sensibles lignes aériennes/avifaune par pause de balises sur les câbles (à partir d'une carte de sensibilité des interactions avifaune/lignes aériennes).



Acquisition de connaissances sur des sujets à fort enjeu

RESEAU DU FUTUR

Interopérabilité Station HVDC

Pilotage du démonstrateur qui évalue l'interopérabilité des contrôles-commande des stations de conversion à courant continu dans Best Paths. RTE a évalué notamment la fiabilité des modèles numériques fournis par les constructeurs. Les constructeurs sont sensibles à la garantie de confidentialité des informations industrielles.

Interaction Réseau AC / Réseau DC

Poursuite des études de modélisation et de maquettage des interactions entre réseau à courant continu et réseau à courant alternatif.

Protection des réseaux DC

Acquisition de connaissance sur les principes de protection d'un réseau maillé à courant continu et une maquette de Disjoncteur à courant continu a été réalisée (projet TWENTIES)

Charpente de poste sans entretien

Identification d'un acier, dit auto-patiné, et ne développant pas de corrosion, et donc sans peinture de protection à renouveler, comme alternative possible aux charpentes de postes électrique en acier galvanisé.

RESEAU DU FUTUR

Nanotubes de carbone

Mise au point d'un procédé d'obtention de fils de nanotubes de carbone (bon conducteur et bonne résistance mécanique) de grande longueur, et d'épaisseur millimétriques.

Supraconductivité

Participation au démonstrateur de câble supraconducteur de 30m pour courant continu de 10kA à 320 kV du projet européen BestPath.

Limiter effet de serre (SF6)

Test d'un disjoncteur à vide (sans SF6) en 63 kV. Les études seront poursuivies sur des tensions plus hautes.

Engagement de la réalisation d'un démonstrateur de poste sans SF6 en région PACA. Un partenariat d'innovation a été préparé en parallèle avec des industriels intéressés.

Architecture contrôle-commande

Identification et étude des principes d'architecture de contrôle commande (télécom nécessaire, automate, virtualisation, protection de zone avec auto-configuration...).

Confirmation du nouveau besoin de synchronisation fine (projet COSECTIME) entre les différents équipements installés

SMART GRIDS

Nice Grid et GreenLys

Participation au calcul ex-post pour calculer la valeur des flexibilités sur les différents postes de rentabilité (équilibre offre-demande national, réseau public de distribution, réseau public de transport).

Dans NiceGrid, RTE a testé l'activation des demandes d'effacement.

VENTEEA

Test de la capacité d'une batterie de 2 MW à participer au réglage primaire.

Smart Grid Vendée

Test des mécanismes de marché impliquant des flexibilités locales avec le distributeur.



Gain de maturité et progression vers une mise en œuvre de solutions

RESEAU DU FUTUR

Gestion dynamique des lignes

Mise en place d'expérimentations de Dynamic Line Rating basée sur des mesures de capteurs installés sur les lignes pour exploiter les lignes au plus près des limites notamment pour évacuer l'énergie des éoliennes.

De plus, de nouveaux dispositifs techniques installables sur les conducteurs aériens, capables de modifier légèrement l'impédance du câble aérien ont été étudiés. Des expérimentations seront réalisées dans l'année qui vient.

Limiter le bruit et les pertes des lignes

Essai d'une méthode par sablage pour limiter l'effet couronne sur un conducteur. Deux demandes de brevets ont été déposées.

RESEAU DU FUTUR

Protection du réseau AC

Mise en évidence de certaines situations de mix énergétique pour lesquelles les protections actuelles du réseau peuvent être insuffisantes. Des analyses seront poursuivies avec les industriels spécialistes.

SMART GRIDS

Déploiement de solutions Smart Grids

Définition du socle de fonctionnalités Smart Grids pour mise en œuvre dans les projets de déploiement à grande échelle SMILE (Grand Ouest) et FLEXGRID (région PACA) puis sur d'autres territoires.



Mise en service de solutions

RESEAU DU FUTUR

Poste intelligent

Mise en service des fonctions élémentaires (contrôle-commande numérique) du poste intelligent de Blocaux depuis mi-2016 :

- Architecture centralisée en bâtiment industriel et redondance en conteneur.
- Réseau de poste tout numérique en fibre optique
- Nouveaux transformateurs numériques basses puissance
- Batterie lithium-ion en service auxiliaire d'énergie

Le monitoring sera livré en 2017 ainsi que la mise en observation d'une fonction de gestion dynamique de transit basée sur des données de vent et température.

PROGRAMME « RESEAU DU FUTUR »

Les enjeux du programme « Réseau du futur »

Le programme « Réseau du futur » doit préparer le choix des ouvrages et des équipements qui seront installés à moyen long terme sur le réseau en fonction de leur maturité technologique et inciter les constructeurs de matériel à développer les solutions répondant le mieux aux besoins de RTE. Les enjeux de ce programme ont été :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique des liaisons aériennes ou souterraine : comment diminuer les pertes joules ou les pertes par effet couronne ?
- la prise en compte de l'écoconception dans les postes électriques : quelles alternatives au gaz isolant SF6 pour les disjoncteurs et les postes sous enveloppe métallique ?,
- l'amélioration de la flexibilité du contrôle commande des installations électriques : comment la numérisation permet-elle de créer de nouvelles fonctions, comment les équipements d'électronique de puissance vont-ils modifier le comportement des fonctions ?
- l'étude des réseaux maillés à courant continu : Comment protéger un réseau à courant continu contre les défauts électriques, comment faire inter opérer leurs systèmes de commande ?

Les objectifs du programme

Le programme « Réseau du Futur » visait à identifier, faire émerger et valider les futures solutions technologiques qui s'intégreront dans le réseau électrique du futur.

Ces solutions technologiques ont été étudiées dans leurs différents niveaux de maturité :

- intérêt potentiel d'une technologie en développement (par exemple, optimisation de capacité de transit des liaisons),
- caractère industriel de leur utilisation (interopérabilité, fiabilité et résilience, sécurité),
- intégration de ces technologies par des démonstrations à des échelles permettant des déploiements à coûts maîtrisés, dans le système existant.

Les réalisations majeures de la période et leurs suites

Les réseaux à courant continu

RTE développe de plus en plus de liaisons à courant continu, en particulier des projets d'interconnexion, et se prépare à la multiplication de ces projets, souvent de taille importante, et au possible développement d'un réseau maillé à courant continu, en particulier autour de la mer du Nord.

La R&D de RTE s'est ainsi engagée depuis 2014 dans le projet européen [Best Paths](#). RTE pilote le démonstrateur qui évalue l'interopérabilité des contrôles-commande des stations de conversion à courant continu. Déjà deux enseignements ont été obtenus sur l'ensemble des scénarios d'étude d'interfonctionnement utilisant les modèles numériques fournis par les constructeurs partenaires du projet :

- environ 15 % des tests présentent un comportement inattendu et dont la reproduction et l'origine doivent être approfondies dans la seconde phase du projet BestPaths ;



- la garantie de la confidentialité des informations industrielles entre les différents constructeurs appelés à participer à une étude mixte est confirmée comme un point sensible pour traiter des questions d'interopérabilité des matériels.

Les résultats ont été présentés lors de l'événement de dissémination publique de l'ensemble du projet organisé par le gestionnaire de réseau de transport allemand 50Hz en novembre 2016 à Berlin.

Le travail portera par la suite sur la mise au point d'une plate-forme de tests représentative fonctionnant en temps réel. Ces tests auront lieu du second semestre 2017 au premier semestre 2018. Les futurs résultats permettront d'une part aux GRT de renforcer la spécification des interfonctionnements pour de prochains achats, et d'autre part, aux groupes de normalisation de préparer une future norme sur le sujet.

Afin de réaliser la fiabilité d'un réseau maillé à courant continu, une thèse concernant les principes de protection d'un réseau maillé à courant continu et la mise au point de maquette de Disjoncteur à courant continu a été réalisé dans le cadre du projet européen TWENTIES terminé en 2014.



Enfin, la mise au point d'un contrat de collaboration pluri annuel a été entrepris avec le laboratoire d'électronique de puissance (L2EP de l'école Centrale de Lille et ENSAM), et a été signé début 2017, pour poursuivre les études de modélisation et de maquettage des interactions entre réseau à courant continu et réseau à courant alternatif.



Les liaisons du futur

Afin de diminuer l'effet joule des conducteurs aériens, RTE a collaboré avec le CEA et obtenu la mise au point d'un procédé de laboratoire de fabrication de fils de nanotubes de carbone de grande longueur, et d'épaisseur millimétriques. Les caractéristiques de résistivité électrique ont été mesurées, mais s'avèrent moins prometteuses que celles obtenues à l'échelle nanotube, tandis que celles de résistance mécaniques se confirment. La prochaine étape est l'étude de la faisabilité d'un câble aérien incorporant ces fils et exploitant au mieux leurs propriétés.



Afin de diminuer l'effet joule des conducteurs souterrains, RTE a inscrit son intérêt pour les câbles souterrains supraconducteurs. dans le cadre du projet européen Best Paths, avec un lot concernant la mise au point d'un démonstrateur de câble supraconducteur de 30 mètres pour faire circuler du courant continu d'environ 10 kA sous 320 kV avec un refroidissement à hélium gazeux pour le conducteur et à azote liquide pour l'enveloppe externe du câble. La conception du câble, du dispositif de refroidissement, du dispositif d'alimentation et la mise au point du processus de fabrication des conducteurs sont terminées. Les résultats de la deuxième année de travaux au sein de ce démonstrateur ont été présentés lors de l'événement de dissémination publique de l'ensemble du projet organisé par 50Hz en novembre 2016 à Berlin. La démonstration est prévue en 2018.



Concernant la réduction de l'effet couronne qui contribue aux pertes joules et à l'émission de bruit en présence d'humidité, RTE a fait procéder à des tests de différents sablages sur des portions (de quelques mètres) de conducteur pour en modifier le texturage de surface et a fait procéder à des mesures électrotechniques et acoustiques. Deux demandes de brevets ont été déposées. L'étape suivante est la réalisation de ce texturage sur une plus grande longueur (300 m) de câble, avec un procédé industriel reproductible, puis son installation en site représentatif, afin d'effectuer des mesures nouvelles « in situ ».



Enfin, dans le cadre de notre veille technologique, de nouveaux dispositifs techniques, proposés par un fournisseur, installables sur les conducteurs aériens, capables de modifier légèrement l'impédance du câble aérien ont été étudiés afin de pouvoir réaliser de la « gestion dynamique de transit » de puissance active. Les premiers équipements seront testés en site représentatif en 2017.



Les postes du futur

Sur le thème des postes électriques en haute et très haute tension, RTE, avec les fournisseurs, a fait progresser :

- l'étude des alternatives au gaz isolant SF6 dans les disjoncteurs : RTE a expérimenté en site représentatif une solution de disjoncteur à ampoule vide en 63 kV pour l'extinction de l'arc électrique lors de la séparation des pôles lors de l'ouverture contact. Des études complémentaires concernant le taux d'harmoniques émis sur le matériel adjacent puis sur la faisabilité d'un niveau de tension plus élevé seront initiées en 2017 ;
- l'étude des alternatives au gaz isolant SF6 dans les postes compacts : après étude des solutions disponibles, RTE a choisi de réaliser un démonstrateur de poste sous enveloppe métallique (PSEM) de nouvelle génération, équipé d'un nouveau gaz isolant avec un potentiel de réchauffement climatique bien inférieur au gaz SF6 utilisé actuellement (gaz diélectrique isolant ayant un fort pouvoir à effet de serre). Il sera installé sur le futur site de Grimaud 63 kV (région PACA) dont la construction démarre en 2018. En parallèle, une démarche d'achat dite de partenariat d'innovation avec des industriels intéressés, pour l'obtention de nouveaux concepts de poste compact de nouvelle génération sera construite en 2017 ;
- un acier, dit auto-patiné, et ne développant pas de corrosion, et donc sans peinture de protection à renouveler, a été identifié comme alternative possible aux charpentes de postes électrique en acier galvanisé. Des études complémentaires de comportement dans la durée, de caractérisation chimique et de mise en œuvre dans l'environnement électrique d'un poste doivent faire l'objet d'une thèse qui débutera en 2017.



Le contrôle-commande du futur

La numérisation des futurs composants et installations de contrôle-commande en poste électriques ont fait l'objet d'un important démonstrateur à l'échelle d'un poste 225/63 kV complet, dans le cadre d'un projet ADEME, avec un consortium d'industriels (projet Poste Intelligent, voir l'encadré ci-dessous). Les premiers éléments sur le terrain ont été réceptionnés et la mise en service a débuté en 2016 et se poursuivra en 2017 et 2018 pour les fonctions avancées.



Durant la période RTE a identifié et étudié les principes d'architecture de contrôle commande en protocole IEC 61850, les automates nécessaires aux fonctions d'exploitation et les perspectives d'usages des réseaux de télécommunication associés à ces fonctions. En parallèle, RTE a confirmé le nouveau besoin de synchronisation fine (projet COSECTIME) entre les différents équipements installés et a évalué les besoins de mesures de précision pour les transformateurs de mesure à basse puissance, à base de capteurs en fibre optique et délivrant une information numérique et non plus analogique. L'approfondissement des points techniques identifiés sera poursuivi par des preuves de concept à partir de 2017: la virtualisation des algorithmes, les algorithmes de protection sans paramètres de réglage, le fonctionnement des protections différentielles de liaisons sur un réseau de télécommunications en protocole IP.



Par ailleurs, concernant les futurs plans de protection et de défense du système électrique, RTE a étudié et réalisé des simulations pour définir les principales caractéristiques physiques à surveiller lors d'un défaut électrique dans différentes hypothèses de mix énergétique. Il apparaît que, dans certaines situations, les algorithmes actuels de protection de distance ou de détection de rupture de synchronisme peuvent être insuffisants. Dans la prochaine période, une modélisation complémentaire plus précise et plus ciblée doit être entreprise en même temps que le questionnement des industriels spécialistes de ces protections afin de pouvoir vérifier et le cas échéant, établir de nouvelles parades ou exigences de performances.



Zoom Le projet « Poste intelligent »

Le projet « *Poste intelligent* » est mené par un consortium d'industriels basés en France et piloté par RTE. L'objectif de ce projet est d'explorer les fonctionnalités permises dans les postes par les évolutions technologiques en matière d'équipements haute tension, de systèmes de contrôle-commande numérique et de systèmes de communication, de les réaliser, les installer et les tester sur un démonstrateur en conditions d'exploitation réelles.

Les fonctions élémentaires du projet « *Poste intelligent* » de Blocaux (poste RTE) sont en exploitation depuis avril 2016 et les départs d'ouvrage (ligne et transformateurs) ont ensuite été mis en service les uns après les autres jusqu'en juin 2017.

Les lots de nouvelles fonctionnalités seront progressivement livrés durant l'année 2017, en particulier le monitoring / surveillance de certains équipements primaires, ainsi qu'une fonction locale de gestion dynamique des

transits combinant données de puissance électrique et données de température et de vent. L'installation d'un mode « observation » pour cette fonction est maintenant prévue en fin 2017, et en cas de retour d'expérience positif, un mode « action » est envisagé en 2018.



Le « *Poste Intelligent* » préfigure la nouvelle génération d'ouvrages où la fonction de « *nœud numérique* » rejoint la fonction de « *nœud de flux électrique* »



Photo au poste électrique de Blocaux en cours d'installation : en arrière-plan, le contexte éolien, en premier plan : les nouveaux transformateurs de mesure à capteur à base de fibres optiques et leurs armoires de connexion au réseau local informatique industriel de l'ouvrage

PROGRAMME « *GESTION DES ACTIFS* »

Les enjeux du programme « *Gestion des actifs* »

La gestion des actifs constitue l'ensemble des gestes de planification et de réalisation de la maintenance (notamment préventive), de la réhabilitation et du renouvellement des actifs industriels du réseau public de transport (RPT). Avec plus de 100 000 kilomètres de liaisons et près de 3 000 postes, le RPT représente un patrimoine considérable (plus de 13 milliards d'euros) dont RTE assure directement le développement, la maintenance et l'exploitation.

Développé en phases successives au cours du vingtième siècle, et notamment depuis la fin de la Seconde guerre mondiale, le RPT approche de l'heure de son renouvellement. Ce dernier, s'il était fondé uniquement sur la durée de vie théorique des équipements, générerait des contraintes et des coûts prohibitifs. Il importe donc de mettre en œuvre les avancées technologiques d'observation, de diagnostic, de calcul et d'optimisation pour mieux caractériser le vieillissement des ouvrages et franchir cet obstacle.

Les objectifs du programme

Le programme « *Gestion des Actifs* » avait vocation à susciter, détecter et mettre au service de RTE les avancées des sciences et techniques pour :

- anticiper les vagues de renouvellement des ouvrages en élaborant des solutions alternatives pour mieux faire face aux investissements associés. Il s'agit de rechercher un optimum global des stratégies de gestion prenant en compte, outre l'efficacité économique, la fiabilité et la qualité du transport d'énergie, la sécurité des intervenants et des tiers, la réduction de l'empreinte environnementale ; Cela nécessite donc d'intégrer pleinement les équipes de maintenance pour leur connaissance du vieillissement des ouvrages, et celles de l'exploitation du système pour définir les meilleures stratégies de gestion.
- situer les actifs sur leur courbe de vie en utilisant les nouveaux moyens d'observation, de diagnostic et d'imagerie ; favoriser la maintenance prédictive grâce aux nouvelles techniques numériques de simulation et de *datascience* ;
- améliorer la performance et les conditions de travail des métiers de RTE dans la gestion des ouvrages.

Les réalisations majeures de la période et leurs suites

La mise en place d'un écosystème

Une des priorités de la période tarifaire qui s'est achevée a été de recréer un écosystème de partenaires de recherche dans le domaine des études de matériels. Plusieurs partenariats stratégiques ont été montés pendant la période, avec des équipes innovantes de toutes sortes :

- de grands laboratoires comme le CEA DEN (direction de l'énergie nucléaire du CEA) pour l'étude du comportement des matériaux, ou plus récemment le CEA Tech (pôle de recherche technologique du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) dans le domaine des capteurs innovants et des techniques avancées d'électronique et d'informatique ;
- plusieurs universités dans leurs domaines d'excellence en France comme l'université de Montpellier et celle de Toulouse (vieillesse des polymères), celle de Compiègne (électro-

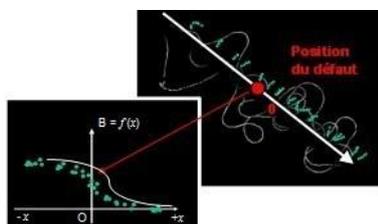
vibroacoustique), l'École nationale supérieure de Cachan (simulation multiphysique), ou à l'étranger comme celle de Manchester (papier huile) ou de Sherbrooke (lignes aériennes) ;

- des start-ups à la suite des processus d'*open innovation* dans le domaine de la *datascience* (Bluestone), des systèmes complexes (CoSMo Tech), des capteurs innovants (Sensor, Visuel Concept, Hikob, Intesens, lauréats du concours sur le monitoring organisé en 2015 dans le cadre du Plan Réseaux électriques intelligents de la Nouvelle France industrielle),
- ou des industriels comme Prysmian (mesure des effets de l'inversion de polarité dans les Liaisons à courant continu).

Les moyens d'observation et de diagnostic non destructif

Cet axe de R&D recouvre plusieurs volets :

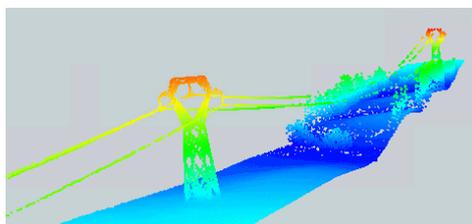
- la localisation de défauts sous-marins ou souterrains. Dans un cas comme dans l'autre, la R&D a amélioré très significativement la précision de la détection. Dans le cas sous-marin, la nouvelle méthode magnétique a permis fin 2016 de localiser très précisément (à 30 mètres près) et très rapidement (en deux jours ce qui a permis de gagner entre deux et quatre semaines sur la remise en service) le point d'arrachage du câble IFA2000, accélérant ainsi sensiblement la reprise de service ;



- le monitoring des équipements, qui est la base d'une construction de l'internet industriel et de la maintenance conditionnelle. Dans le cadre du plan « Réseaux électriques intelligents » de la Nouvelle France industrielle, RTE a organisé un concours auprès de Pacte PME sur des capteurs innovants. RTE appuie aujourd'hui les lauréats pour amener leurs produits à un stade industriel ;



- les moyens d'observation et d'imagerie numérique. Les premiers démonstrateurs d'imagerie aéroportée (avion, hélicoptère ou drone) ont prouvé le potentiel de ces techniques, en particulier l'imagerie LIDAR (LIght Detection And Ranging - télédétection par laser). RTE s'équipe désormais de ces outils.



L'étude et la prédiction du comportement des ouvrages

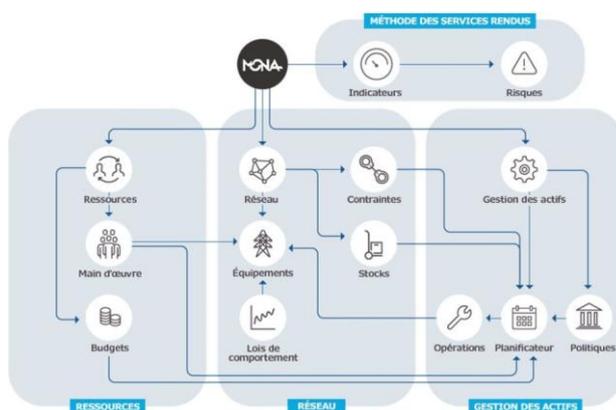
Cette étude s'appuie sur la mise en œuvre articulée :

- de simulation numérique, comme dans l'étude de tenue mécanique des charpentes de postes en cas de court-circuit, qui a permis de réévaluer le référentiel de dimensionnement des postes et éviter de nombreuses reconstructions ;
- de *datascience*, au service de laquelle la R&D de RTE a développé un prototype de DataLab (voir encadré ci-après) permettant d'exploiter en masse des données d'origines différentes à des fins prédictives (vieillesse des transformateurs de mesure, application AMELIE d'alerte ciblée des risques météorologiques, ...)
- de techniques expérimentales, indispensables à la validation des modèles et également sources d'informations. Les études réalisées en collaboration avec le CEA DEN ont notamment permis de progresser sensiblement sur les phénomènes de corrosion de l'ensemble des équipements (conducteurs, isolateurs, câbles souterrains). Dans ce but, la R&D de RTE a mis en place un système de prélèvement, de stockage et à terme d'expertise de matériels du réseau.



L'optimisation des stratégies techniques

RTE a identifié la simulation de systèmes complexes comme la voie la plus appropriée pour comparer différentes stratégies de gestion d'actifs et retenir en conscience la plus efficace en termes de service rendu. Il a conclu avec la société The Cosmo Tech un partenariat de développement de l'application MONA, qui devrait fournir ses premiers résultats opérationnels en 2017.

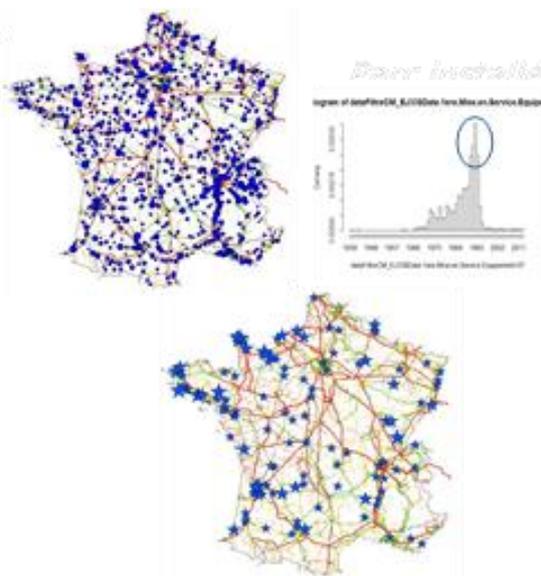


Zoom Le projet DataLab



RTE manipule quotidiennement de grandes quantités de données générées en interne (données patrimoniales, d'exploitation, de maintenance, etc.) ou acquises (données météorologiques, cadastrales, géographiques, etc.). Ces données sont en général structurées pour l'usage optimisé du métier qui les produit ou les utilise, et absolument impropres au traitement en masse.

Ainsi, répondre à une question aussi simple que « quel est l'âge moyen des lignes proches d'une ville de plus de 20000 habitants et exploitées à plus de 50% de leur capacité » relève de la gageure. Le prototype de Datalab développé par la R&D permet de lever cet obstacle. Il répond maintenant à des usages multiples (observation des données, dimensionnement d'outils de maintenance, modèles de survie de classes d'appareils, ...). Il est en cours d'industrialisation.



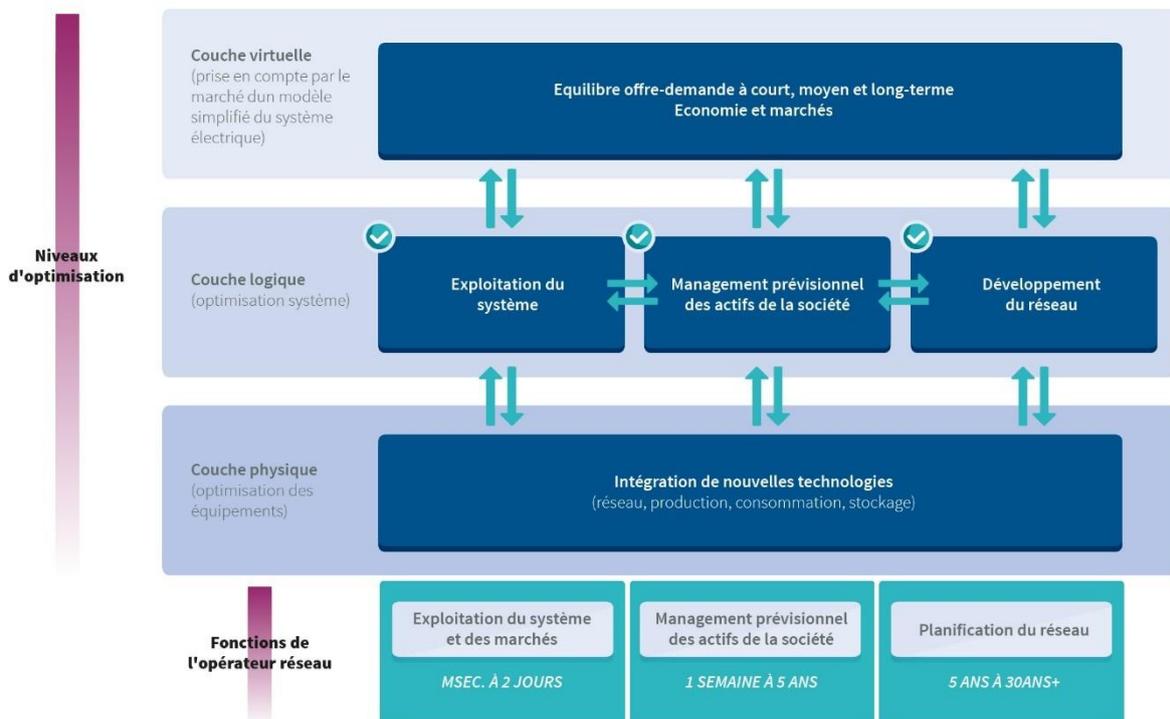
PROGRAMME « SYSTEME ELECTRIQUE »

Les enjeux du programme « Système électrique »

Le programme « *Système électrique* » visait à accompagner la transition énergétique en permettant d'intégrer dans le mix énergétique une quantité significative d'énergie renouvelable, en mutualisant à l'échelle européenne les différentes sources d'énergie et modes de consommation, en favorisant les échanges et la solidarité entre zones. Les recherches ont consisté à développer de nouvelles méthodes et outils d'étude, de contrôle, d'optimisation en vue de leur utilisation pour le développement, la maintenance et l'exploitation des réseaux électriques français et européen.

L'optimisation en continu du système électrique nécessitait d'examiner toutes les sources d'amélioration sur les trois couches du réseau (matériel, logiciel et marché) et ceci pour les trois constantes de temps du système : exploitation court terme, management des actifs moyens termes, et développement réseau long terme.

Le schéma ci-dessous résume les interactions entre les cinq pôles de compétences, qui, en combinant les fonctions de l'opérateur et les niveaux d'optimisation, permettent de proposer des options nouvelles d'optimisation aux directions opérationnelles de RTE.



Une organisation matricielle pour optimiser le système électrique en continu

Les objectifs du programme

Durant la période TURPE 4, les objectifs du programme « *Système électrique* » étaient :

- de disposer d'une boîte à outils de simulation qui permette de modéliser, simuler et optimiser l'impact de toute nouvelle technologie intégrant le système électrique (courant continu, électronique de puissance) ;
- d'améliorer en continu les outils actuels d'exploitation du système électrique et de préparer de nouveaux outils d'exploitation qui intègrent la dimension européenne des interactions entre systèmes électriques ;
- de disposer de méthodes de développement de réseau tenant compte des évolutions de contexte du système électrique européen ;
- de disposer d'outils de modélisation, simulation et optimisation pour pouvoir estimer et prévoir la production renouvelable et la consommation afin de mieux gérer l'équilibre offre/demande.

Les réalisations majeures de la période et leurs suites

Les nouveaux outils d'exploitation

S'agissant de nouveaux outils d'exploitation, le projet APOGEE (Anticipation du Poste Opérateur pour une Gestion Évolué du système Électrique) sur les systèmes de conduite du futur a été engagé en avril 2015. Le concept de ce projet est d'utiliser les techniques d'hypervision pour passer d'un pilotage majoritairement manuel à un système de navigation mettant l'accent sur l'anticipation via la configuration d'un plan de conduite, tel un plan de vol, et de proposer l'automatisation de certaines actions, tel le pilotage automatique d'un avion. Une première session d'expérimentation offline impliquant des opérateurs a été réalisée. Il s'agissait de faire tester le module « *manœuvres périodiques* » sur la console Apogée expérimentale à des dispatchers du centre exploitation RTE de Nancy. Cette première session fut un franc succès, tant par les bons résultats, les évolutions identifiées que par l'engouement des dispatchers. Cette expérimentation sera suivie d'une version sur site, directement dans le dispatching du centre exploitation RTE de Nancy, en 2017.



L'année 2016 a également marqué aussi le renforcement de travaux en commun entre différents outils de l'écosystème « *Exploitation du Futur* » tout particulièrement entre les projets APOGEE, iTesla (qui consiste à développer une plate-forme logicielle de nouvelle génération permettant d'analyser des situations prévisionnelles du réseau couvrant un horizon temporel allant de 48h avant au temps réel - voir encadré ci-après) et les plates-formes aujourd'hui en opération dans les dispatchings de RTE.

La Commission européenne a salué, lors de la final review iTesla, la qualité des travaux engagés durant les quatre années du projet financé par le 7^e programme cadre de recherche et développement (FP7) : « *le projet iTesla est une grande réussite de par les concepts ambitieux qu'il a su développer* ». Ce projet a d'ailleurs été retenu par la Commission européenne comme « *success story* » et a fait l'objet d'une communication *ad hoc*⁴. Une grande part des développements du projet a fait l'objet d'un dépôt de sources en *open source* sous [licence Mozilla Public Licence](#). Une communauté, pour animer et faire vivre ce dépôt, s'est construite autour de RTE avec cinq industriels et trois centres de recherche issus du consortium initial. Il s'agit pour cette communauté de faire fructifier les travaux passés en disséminant les concepts iTesla et en poursuivant les développements tout en cherchant de nouveaux contributeurs. Durant l'année 2016, de nombreux développements ont été réalisés afin d'industrialiser les sources de ce dépôt, sur lesquels seront basés les développements futurs.

Les modèles de simulation dynamique

Les évolutions dans le domaine des mathématiques appliquées permettent aujourd'hui de travailler sur une nouvelle gamme de simulateurs dynamiques permettant de simuler des systèmes de plus grande taille tout en gardant un excellent compromis entre précision, performance et flexibilité. L'insertion massive, au sein du système électrique, de composants d'électronique de puissance, d'automates complexes et de nouvelles régulations a conduit RTE à étudier l'intégration de ces composants, à en valider les



⁴ [La Commission européenne a publié, dans les success story de son site Internet, un article sur le projet iTesla.](#)

modélisations effectuées et à engager le renouvellement de sa gamme d'outils utilisés pour la simulation dynamique. Ces développements répondent à quelques principes essentiels pour RTE :

- Conserver un besoin de transparence dans la modélisation mathématique de façon à bien comprendre les simplifications réalisées dans les simulations,
- Utiliser autant que faire se peut des outils de résolution mathématique disponibles en open source (KLU, IDA...) afin de bénéficier de leurs évolutions,
- Utiliser des langages de modélisation mathématique standards émergents qui ouvre les possibilités de faire des études communes avec d'autres partenaires.

En matière de modèles de simulation dynamique, les réalisations ont concerné :

- le développement de l'ensemble des modèles dynamiques au nouveau format MODELICA nécessaires pour les études en dynamique lente et intégration à la librairie officielle *open source* iPSL ;
- la poursuite de la stratégie visant à faire du format MODELICA un standard européen en itérant avec des partenaires stratégiques.

En 2016, le travail « *Optimisation polynomiale appliqué aux problèmes d'optimisation actif/réactif des grands réseaux électriques* » a été concrétisé par la soutenance d'une thèse en juillet 2016, « *Application of Polynomial Optimization to Electricity Transmission Networks* ». Cette thèse a permis des avancées significatives pour le traitement des systèmes de grandes tailles (plusieurs milliers de nœuds électriques) grâce à l'utilisation de résultats mathématiques récents de géométrie algébrique.



Les calculs de capacité

Les calculs de capacités aux interconnexions dans les réseaux très maillés bénéficient de la méthode « *Flow-Based* » conçue et proposée par RTE. Elle est désormais introduite dans les codes de réseaux européens (en tant que processus de calcul de capacités coordonné entre GRT européens). Le lancement opérationnel a eu lieu en mai 2015 avec de très bons résultats ce qui concrétise les efforts de R&D consacrés par RTE à ce sujet depuis plusieurs années.



L'année 2016 a été marquée par la mise en service d'une nouvelle méthode de calcul de capacité coordonné J-2 aux frontières nord italiennes (projet Central South Europe J-2). Dans ce processus, l'optimiseur de parades, développé par la R&D de RTE, est utilisé de manière opérationnelle au quotidien par les équipes de Coreso. Cet optimiseur, qui a servi de base pour l'expérimentation sur la zone Central West Europe Infra-journalier (CWE IJ), continue d'être amélioré pour répondre aux exigences respectives de CSE et CWE. Ces outils concourent ainsi très concrètement à l'optimisation du marché électrique européen.



Les études de développement de réseau

Concernant le développement du réseau, le projet européen e-Highway2050, dont RTE a été le coordinateur, a permis d'élaborer, d'expérimenter et de valider plusieurs innovations méthodologiques pour la réalisation des études de développement du réseau. Parmi ces innovations, la modélisation du système électrique européen à l'échelle zonale et la simulation d'un nombre important de scénarios climatiques au pas de temps horaire se sont avérées particulièrement pertinentes pour la réalisation des études de développement du grand transport.



Ces concepts sont aujourd'hui déployés pour la réalisation des études de développement du réseau de grand transport et d'interconnexions internes à RTE. Ils sont également promus par RTE auprès de l'association des gestionnaires de réseau de transport d'électricité européens, ENTSO-E, pour la réalisation des études du *Ten Year Network Development Plan* (TYNDP). Des concepts plus prospectifs, consistant à employer des algorithmes d'optimisation pour définir les architectures de réseau optimales et des

trajectoires d'investissement ou à prendre en compte la faisabilité de plans de défense, ont également été explorés dans le cadre de ce projet européen.

Des réflexions sur les besoins d'évolutions méthodologiques pour les études de développement aux mailles régionales ont également été initiées en 2016 en vue de préparer la feuille de route 2017-2020. Elles ont notamment concerné le couplage entre les études d'équilibre offre-demande zonales et les modèles de calcul à réseaux détaillés, avec une attention particulière aux enjeux posés par le développement des énergies renouvelables.



La gestion de l'équilibre offre-demande

Concernant la gestion de l'équilibre offre-demande, des évolutions ont été apportées aux modèles de prévision afin de tenir compte de l'évolution des usages de consommation et du développement des productions EnR. Un modèle de prévision et d'estimation à court terme de la production photovoltaïque a notamment été développé et mis en service durant la période.



Des améliorations fonctionnelles ont été apportées aux outils de simulation d'adéquation et d'économie du système électrique (ANTARES) et d'architecture de marché (OPTIMATE). Ces outils ont, en outre, été utilisés dans le cadre de projets de recherche européens (e-Highway2050 pour ANTARES et Market4RES pour OPTIMATE).



Enfin, des travaux ont été engagés sur le comportement électrotechnique d'un système électrique intégrant massivement des productions d'électricité renouvelable couplées par électronique de puissance. Ils ont notamment débouché sur la constitution du projet de recherche européen MIGRATE qui a été retenu par la Commission européenne en 2015. Ce projet vise à étudier, d'une part, l'optimisation des lois de commandes actuelles des réseaux en vue d'intégrer davantage d'éléments à base d'électronique de puissance et, d'autre part, le développement de nouvelles lois de commande permettant le fonctionnement d'un réseau 100 % électronique de puissance.



Zoom

Le projet iTESLA (Innovative Tools for Electrical System Security within Large Areas)

Le projet iTesla est une plate-forme logicielle de nouvelle génération permettant d'analyser des situations prévisionnelles du réseau couvrant un horizon temporel allant de 48h avant au temps réel. Le besoin est lié à l'augmentation drastique des aléas avec l'arrivée massive des énergies renouvelables intermittentes. L'objectif sous-jacent est d'optimiser les marges de sécurité en évitant de prendre des marges excessives et coûteuses tout en continuant à garantir un fonctionnement sûr du réseau.



La plate-forme iTesla est un outil d'aide à la décision destiné à être utilisé à l'échelle d'un gestionnaire de réseau de transport (GRT) ou d'un ensemble de GRT (comme le centre de coordination Coreso⁵ par exemple).

Par rapport aux outils existants, iTesla apporte trois innovations majeures :

- une modélisation des incertitudes affectant les injections intermittentes, les charges et les erreurs de prévision permettant de construire une approche probabiliste,
- le recours à des simulations dynamiques car le réseau est exploité aujourd'hui plus près de ses limites (i.e. contraintes survenant pendant la phase transitoire suivant un incident, pertes de synchronisme, oscillations interzones mal amorties) et intègre des composants à base d'électronique de puissance dont le comportement dynamique doit être pris en compte,
- Une gestion plus dynamique de l'exploitation du système grâce à l'optimisation et l'automatisation de la simulation des actions préventives et correctives à disposition des opérateurs.

⁵ Coreso (COoRdination of Electricity System Operators) est le centre technique régional de coordination réunissant cinq gestionnaires de réseaux de transport européens : Elia (Belgique), RTE, National Grid (Angleterre), Terna, 50Hz (Allemagne), REN (Portugal) et Red Electrica de Espana (Espagne).

PROGRAMME « ENVIRONNEMENT »

Les enjeux du programme « Environnement »

En accompagnement des solutions nouvelles nécessaires aux gestionnaires de réseaux pour répondre aux défis posés au système électrique européen, l'enjeu du programme « Environnement » était, durant la période TURPE 4, de fournir des réponses et des solutions :

- aux demandes et aux besoins de diminution de l'empreinte environnementale des installations,
- à la prise en compte des aspirations légitimes du public, qui se manifestent aussi bien à l'occasion de l'extension du réseau que lors des opérations de maintenance, sur des questions de cadre de vie, de paysage, comme sur les possibles risques liés aux interactions entre champs électromagnétiques et environnement.

Les objectifs du programme

Pour répondre à ces enjeux, le programme « Environnement » a eu pour objet de promouvoir et d'analyser, de manière transverse aux solutions techniques étudiées, des réponses « durables » et positives en terme de responsabilité environnementale et sociétale.

Sur la période 2013-2016, les activités du programme « Environnement » ont donc été tournées vers des études et des travaux dans le domaine :

- de la biodiversité, pour favoriser la biodiversité dans l'emprise des lignes aériennes, évaluer les risques de mortalité de l'avifaune au niveau des ouvrages linéaires aériens ;
- de l'éco-conception, pour promouvoir la réduction de l'empreinte environnementale de nos infrastructures, au travers de la recherche de technologies et solutions alternatives, et au travers de méthodes d'analyse du cycle de vie de composants et sous-systèmes typiques du réseau de transport d'électricité ;
- de la santé, pour poursuivre les nombreux travaux sur la connaissance des effets potentiels des champs électromagnétiques qui, bien qu'ayant conclu à l'absence de risque significatif, ne lèvent pas le doute dans l'esprit du grand public sur leur innocuité vis-à-vis des êtres vivants (hommes, animaux, plantes).

Les réalisations majeures de la période et leurs suites

La biodiversité

Les travaux sur la biodiversité terrestre font apparaître le rôle positif de certaines infrastructures de réseau, en tant que « trames vertes », ce qui a justifié de lancer, dans le cadre d'un projet européen (LIFE – voir encadré ci-après), des expérimentations sur les différents moyens pour entretenir des emprises des ouvrages tout en garantissant le maintien, voire la restauration, de la biodiversité.

Dans le domaine de l'avifaune, une thèse a révélé tous les biais rendant difficile et extrêmement peu fiable l'évaluation de la mortalité des oiseaux au niveau des lignes par des moyens humains.



Elle a également permis de dresser des cartes de sensibilité pour les interactions lignes aériennes/avifaune, avec une approche scientifique plus fine que celle dont RTE disposait jusqu'à présent et qui avait permis d'établir le programme de résorption des « *Points sensibles avifaune* » par la pose de balises sur les câbles.



Dans le domaine marin, plusieurs projets scientifiques ont été montés pour évaluer l'effet des réseaux offshore sur les écosystèmes et espèces marines.



L'éco-conception

Durant la période TURPE 4, la R&D de RTE a, dans le domaine de l'éco-conception :

- contribué aux démarches entreprises pour contenir les fuites et faire évoluer la technologie des postes sous enveloppe métallique vers des solutions sans SF6 et gaz à effet de serre ;
- identifié de premières solutions pour réduire, voire supprimer, l'usage de produits phytosanitaires pour l'entretien des postes de transformation et poursuivi des recherches pour trouver des solutions technico-économiques et environnementales plus optimales ;
- mis au point d'une méthodologie d'analyse de cycle de vie (ACV) des infrastructures de réseau électrique et lancé une démarche d'analyse quantitative globale et sur toute la chaîne de valeur destinée à identifier les « *sujets prioritaires* » en matière d'empreinte environnementale dans nos matériels et l'activité/le service de transport d'électricité.



La santé

Entre 2013 et 2016, dans le domaine de la santé, la R&D de RTE a :

- poursuivi une veille active sur les études chargées d'établir une éventuelle relation entre niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques et leucémie, qui se succèdent sans apporter d'éléments nouveaux ;
- lancé des études pour évaluer les effets du champ magnétique sur les maladies neurodégénératives et sur les stimulateurs cardiaques ;
- lancé une étude pour évaluer les effets instantanés sur le système nerveux central et les fonctions cognitives (avec le London Health Research Institute – LHRI) d'une exposition à des champs électromagnétiques 50Hz de l'ordre des milliteslas (soit 1 000 fois supérieure à l'exposition rencontrée par les riverains d'un ouvrage).



La sociologie

Durant la période tarifaire TURPE 4, la R&D de RTE a, dans le domaine de la sociologie :

- participé au projet européen [INSPIREgrid](#), dont l'objectif est de développer de nouvelles approches pour la concertation, via l'appui de sociologues, l'échange de pratiques avec plusieurs homologues européens, et une approche systémique (« *cycle de vie* ») pour quantifier les bénéfices en termes d'empreinte environnementale (effets sur les pertes, la maîtrise de la demande en énergie), apportés par la mise en service d'une nouvelle infrastructure de réseau ;
- fondé la Chaire Paysage & Énergie, avec l'École nationale supérieure du Paysage de Versailles, pour travailler sur les représentations liées aux infrastructures de production et de transport d'énergie, dans le cadre de la transition énergétique, de l'ère de « *l'après-pétrole* » ;

- lancé des thèses destinées à rechercher des facteurs favorisant l'acceptabilité des ouvrages haute tension et très haute tension



Zoom Le projet LIFE

Le projet LIFE « *Biodiversité* » Elia-RTE a permis de démontrer (sur 300 hectares de corridors forestiers en France et en Wallonie) la contribution des emprises du réseau de transport d'électricité à « *la Trame verte et bleue* »⁶ et la possibilité de créer des « *corridors verts* » sous les lignes de RTE.

Dans les Ardennes par exemple, RTE, en lien avec l'Office national des forêts, le parc naturel des Ardennes, les communes de Hargnies et Secheval et le syndicat forestier Triage de Mazures, ont travaillé à restaurer la grande diversité de milieux humides particulièrement intéressants abrités sous ses lignes : des forêts tourbeuses, des prairies humides, des landes humides ou encore des mares naturelles. Cette restauration avait notamment pour objectif de favoriser le développement d'une faune et d'une flore typique qui a besoin de ces conditions d'humidité pour se développer.

Ce projet traduit bien la volonté de RTE d'amplifier encore la prise en compte de la biodiversité dans la gestion de la végétation sous les lignes.

D'autres projets ont également été menés avec les acteurs locaux dans la Drôme, dans l'Aube, dans les Hautes-Alpes, le Doubs, le Finistère, le Lot-et-Garonne et la Seine-et-Marne

Les retours d'expériences des actions menées ont permis de dégager des critères de travail pour la suite, en termes :

- de méthode (solutions techniques et hiérarchisation des enjeux liés à la biodiversité, prise en compte du foncier) ;
- de travail avec les acteurs locaux, les territoires et les partenaires avec lesquels RTE travaille à tous niveaux (Fédération des conservatoires d'espaces naturels, Réserves naturelles de France, Office national des forêts, Fédération nationale des chasseurs, Ligue de protection des oiseaux, ...) ;
- de hiérarchisation des enjeux liés à la biodiversité ;

- de gain économique.

Le projet LIFE Elia-RTE a remporté en 2016 le prix Natura 2000 de la Direction générale de l'Environnement de la Commission européenne dans la catégorie « *Réconciliation des intérêts/perceptions* ». Il s'agit d'une reconnaissance majeure pour un projet environnemental, au niveau européen. Les trois points forts relevés par le jury sont les suivants :

- les partenariats gagnant-gagnant établis avec les acteurs locaux,
- la notion de réseau écologique et électrique ;
- la répliquabilité des actions.



Le projet est également labellisé « Infrastructure de transport terrestre écosystème et paysage » (ITTECOP), programme de recherche porté par le ministère français de l'Environnement.

L'équipe du projet LIFE Elia-RTE est en contact avec 17 gestionnaires de réseau de transport européens et a déjà noué deux partenariats avec le GRT portugais, REN, et le GRT allemand, TenneT, qui souhaitent expérimenter une gestion alternative de la végétation.

Le projet est également reconnu au sein de l'association européenne des gestionnaires de réseau transport, ENTSO-E, et a été récompensé par de nombreux prix.

⁶ La Trame verte et bleue désigne officiellement depuis 2007 un des grands projets nationaux français issus du Grenelle de l'Environnement. Elle est constituée de l'ensemble du maillage des corridors biologiques (ou

corridors écologiques, existant ou à restaurer), des « réservoirs de biodiversité » et des zones-tampon ou annexes (« espaces naturels relais »).

PROGRAMME « SMART GRIDS »

Les enjeux du programme « Smart grids »

Derrière le terme Smart grids se dessinent les évolutions du système électrique de demain, la mise en place de nouvelles interactions entre ses acteurs, nouveaux ou historiques, et le questionnement des mailles spatiales les plus pertinentes.

En lançant le programme de R&D Smart grids en 2013, RTE a souhaité affirmer sa volonté d'être partie prenante :

- des expérimentations en cours ;
- de l'évaluation technico-économique des solutions testées : évaluation technique car RTE se doit de qualifier la robustesse des solutions mises en œuvre pour garantir l'équilibre et la sûreté du système, et l'évaluation économique car notre vision globale du système électrique ainsi que la neutralité de notre position assurent une évaluation la plus juste possible pour les pouvoirs publics.

L'enjeu du programme était donc d'être en mesure d'apporter l'expertise de RTE et la spécificité de ses compétences dans la réflexion générale sur les évolutions du secteur et de faire de la pédagogie sur le rôle de la fonction Transport dans la transition énergétique.

Les objectifs du programme

Le programme « Smart grids » avait trois objectifs principaux :

- mettre à disposition l'expertise de RTE dans les démonstrateurs et expérimentations Smart grids en cours : expertise sur les analyses coût-bénéfice dans l'ensemble des projets, ainsi que des apports techniques selon les thématiques abordées ;
- maintenir une veille sur les nouveaux acteurs du système électrique : stockage, véhicule électrique ;
- faire de la pédagogie sur le rôle du réseau de transport d'électricité.

Ce programme, par définition, se devait d'être opportuniste et d'intégrer au fil de l'eau les projets jugés porteurs. C'est ainsi qu'en 2013, avec le lancement du plan « Réseaux électriques intelligents » de la Nouvelle France industrielle, la R&D de RTE a été mise à contribution pour rédiger et orienter la feuille de route présentée à François Hollande en avril 2014.

Les réalisations majeures de la période et leurs suites

Les réalisations majeures concernent l'implication de RTE dans les démonstrateurs et dans le plan « Réseaux électriques Intelligents » (REI).

Le projet Nice Grid

Dans le cadre du [démonstrateur Nice Grid](#) (projet de quartier solaire intelligent), RTE est intervenu à la fois dans les tests opérationnels et les lots de valorisation économique (analyses coûts/bénéfices - ACB) :

- concernant le volet « tests opérationnels », RTE a, depuis le dispatching de Marseille, activé des demandes d'effacement, vérifié les circuits de propagation et pu contrôler le réalisé quand les volumes étaient suffisants



- concernant le volet « ACB », RTE a participé au calcul ex-post pour calculer la valeur des flexibilités sur les différents postes de rentabilité (équilibre offre-demande national, réseau public de distribution, réseau public de transport). RTE a également validé la conformité des méthodes utilisées par rapport à celles définies dans le cadre de l'action 5 du plan REI qui était centrée sur la valorisation socio-économique des Smart grids (REI 5).

Le projet GreenLys

Une démarche équivalente à celle menée dans le cadre du projet Nice Grid a été menée dans le cadre du démonstrateur Greenlys (projet qui visait à concevoir un démonstrateur de réseau électrique intelligent de référence à l'échelle urbaine française en vue de l'optimisation du système électrique de demain) du point de vue des calculs économiques et du rebouclage avec REI 5.



Le projet VENTEEA

L'implication de RTE dans le [démonstrateur VENTEEA](#) (projet qui visait à étudier l'adaptation du réseau de distribution d'électricité à la production éolienne) a consisté à tester la capacité d'une batterie de 2 MW de l'entreprise SAFT à participer au réglage primaire. Les équipes R&D ont récupéré les mesures de comptage à la sortie de la batterie et vérifié, avec les logiciels de contrôle de performance de RTE, la bonne réponse de la batterie (en mode démonstrateur, c'est-à-dire hors des circuits SI officiels et sans visée de qualification formelle).



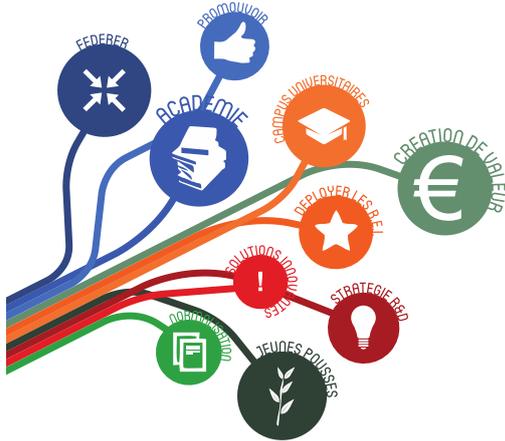
Le projet Smart Grid Vendée

Le rôle de RTE dans [le démonstrateur Smart Grid Vendée](#) (projet dont l'objectif principal était de faciliter l'insertion de la production distribuée, à partir de ressources renouvelables) a consisté à quantifier l'analyse économique ex-ante et à chercher à tester des mécanismes de marché impliquant les flexibilités locales avec le distributeur.



Zoom Le projet « Réseaux électriques intelligents »

Le projet REI est apparu en 2013 avec la nomination de Dominique Maillard en tant que président du plan éponyme de la Nouvelle France industrielle. La mise en œuvre des dix points de la feuille de route de ce plan a été l'occasion pour la direction R&D de piloter ou contribuer à ces actions pour RTE.



La direction R&D de RTE a pris en charge les actions relatives à la Normalisation, aux Campus, à la Stratégie R&D, aux Jeunes Pousses

et à Déployer les REI. Les résultats les plus notables à ce jour portent :

- sur la définition du socle de fonctionnalités Smart grids de RTE qui sera mis en œuvre dans le cadre des projets de déploiement à grande échelle SMILE (région Ouest) et FLEXGRID (région PACA) puis dans d'autres territoires,
- sur la quantification de la valeur des fonctions smart grids du point de vue économique, environnemental et social (au sens des effets sur l'emploi): [RTE a largement contribué à l'élaboration du rapport](#) sur la valorisation socio-économique des réseaux électriques intelligents [en 2015](#),
- ainsi que sur le concours REI lancé en 2015 sur le thème du monitoring. Les 4 lauréats du concours, primés en décembre 2015, ont pu profiter des installations de RTE pour tester leur solution (capture et envoi de la donnée ; étude de valorisation de la donnée par RTE dans les processus opérationnels).



Encadré : les partenariats de la R&D de RTE

Au cours de la dernière période tarifaire (2013-2016), RTE a déployé une stratégie de partenariats fondée sur trois axes :

- élargir son écosystème de recherche tout en renforçant, par des accords-cadres, des relations de confiance ayant démontré leur efficacité ;
- anticiper, en recherchant de nouveaux appuis, les grands changements susceptibles d'affecter le réseau ;
- développer un réseau d'influence et de « challengers » pour accroître la qualité et la réactivité de sa R&D.

Dans cette logique, RTE a consolidé son socle partenarial avec les acteurs académiques. L'entreprise s'est engagée dans des travaux pluriannuels avec les écoles Centrale Lille et Centrale Nantes qui font chacune valoir des expertises reconnues, la première sur les problématiques de courant continu et la seconde sur la modélisation des systèmes électriques.

Dans le même temps, RTE continue de s'appuyer sur les compétences de partenaires « historiques » comme l'université de Liège, celles de Sherbrooke ou de Montréal. RTE a également investi dans des partenariats d'envergure pour améliorer la gestion de ses actifs : avec le CEA Tech (pôle de recherche technologique du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) sur les développements informatiques et télécoms (Internet des objets, traitements d'images, réalité augmentée) et avec le CEA DEN (direction de l'énergie nucléaire du CEA) sur le vieillissement des matériaux.

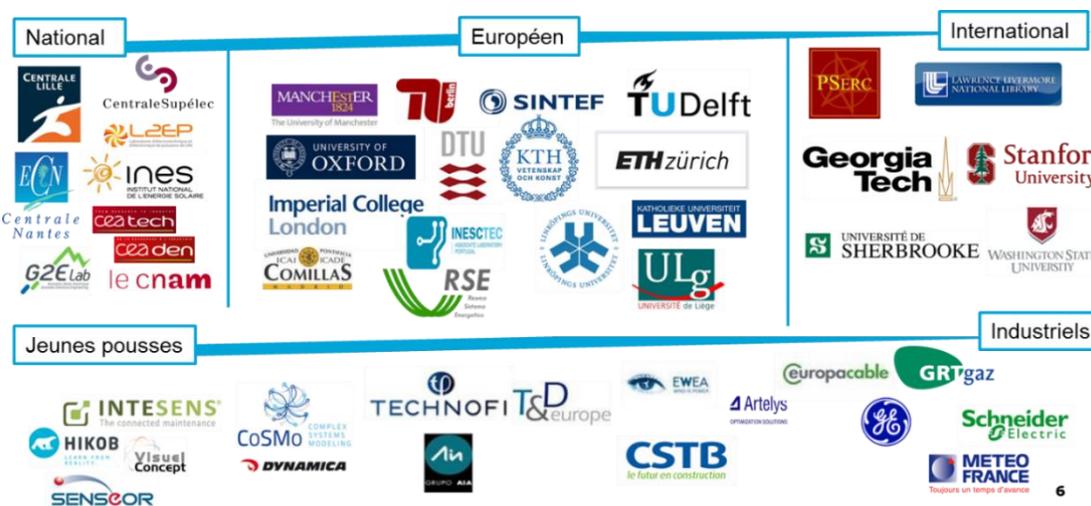
En s'associant, dans une coopération de long terme, avec la startup The CoSMo Company, RTE cherche à mettre au point un outil d'aide à la

décision qui lui permettra d'optimiser ses stratégies de maintenance et de renouvellement d'actifs. Conscient de la valeur que représente le tissu des startups, RTE a en outre noué d'autres partenariats startup avec les lauréats du concours Réseaux électriques intelligents organisé en 2015 en partenariat avec l'interpôle Smart Grids France et l'association Pacte PME.

RTE s'est également investi avec des acteurs industriels majeurs du secteur électrique et télécoms (General Electric, Schneider, Alcatel Lucent, Enédis), dans le projet « Postes intelligents » qui préfigure les nouvelles générations de postes électriques et plus largement les évolutions de l'infrastructure de réseau.

Les grands projets européens de R&D (7^e programme de recherche et développement – FP7 – et désormais H2020) offrent aussi à RTE l'opportunité de développer son réseau de partenaires en Europe : le projet iTesla, porté par un consortium de 20 partenaires et qui vise à faire émerger une nouvelle génération d'outils pour l'analyse de la sécurité du réseau en environnement fortement aléatoire, a ainsi généré, à son terme, d'autres partenariats bilatéraux avec la société de conseil Tech Rain, l'université Imperial College de Londres ou encore le centre de recherche système électrique italien, RSE.

Enfin, en siégeant dans des initiatives comme le PSERC (Power Systems Engineering Research Center – Centre de recherche sur l'ingénierie des systèmes électriques rassemblant industriels et universitaires) aux États-Unis, RTE étend son champ d'influence et de « captation » d'informations pour assurer l'agilité constante de sa R&D et l'adaptation de ses axes de recherche aux grandes évolutions de ses activités.



CONCLUSION

Des objectifs atteints pour la période 2013-2016

Afin d'apprécier la progression des travaux de R&D sur la période tarifaire 2013-2016, des jalons correspondants à des étapes (résultats d'une étude, livraison d'un outil ou d'une méthode, transfert opérationnel d'une technologie, ...) et/ou à des faits marquants (preuve de concepts, spécifications, modélisations, ...) ont été définis de façon à constituer autant de « marqueurs » qui attestent de résultats intermédiaires (réussite ou échec) dans les programmes de R&D développés par RTE.

Ces jalons n'ont cependant pas tous la même valeur et afin de qualifier la plus-value qui leur est associée selon des indicateurs issus principalement du projet européen GRID+⁷, leur impact – de premier ordre ou de second ordre – sur l'adaptation attendue du transport d'énergie électrique, a été identifié selon les axes suivants :

- Capacité d'accueil du réseau (*Increased RES and DER hosting capacity*)
- Flexibilité du système électrique (*Increased flexibility from energy players*)
- Intégration de la production renouvelable (*Increased hosting capacity & Reduced energy curtailment of RES and DER*)
- Sûreté d'alimentation / qualité de l'électricité (*Power quality and quality of supply*)
- Durée de vie des infrastructures (*Extended asset life time*)
- Environnement (Non listé dans les indicateurs de GRID+)

Une grille de lecture à double entrée permet ainsi d'identifier, d'une part, la progression des programmes de R&D développés par RTE et, d'autre part, la contribution – de premier ordre (en vert) ou de second ordre (en noir)- de ces travaux à l'évolution du transport d'énergie électrique, selon les axes précités.

La dernière colonne de ce tableau établit l'état d'avancement des travaux de R&D de RTE à fin 2016 par rapport au programme prévu, selon des axes de recherche cohérents avec les indicateurs du projet européen GRID+.

Indicateurs issus de GRID+			Réseau du futur	Gestion des Actifs	Système Electrique	Environnement	Avancement	
Increased network capacity at affordable cost	Capacité du réseau	A	30 / 31	2 / 2	10 / 10	0 / 0	42 / 43	98%
Increased system flexibility at affordable cost	Flexibilité du système électrique	B	14 / 14	4 / 4	19 / 19	0 / 0	37 / 37	100%
Increased hosting capacity & Reduced energy Curtailment of RES and DER	Intégration de la production renouvelable	C	12 / 12	0 / 0	27 / 29	0 / 0	39 / 41	95%
Power quality and quality of supply	Sûreté d'alimentation Qualité de l'électricité	D	15 / 15	6 / 8	27 / 29	0 / 0	48 / 52	92%
Extended asset life time	Durée de vie des infrastructures	E	0 / 0	24 / 29	0 / 0	0 / 0	24 / 29	83%
	Environnement	F	6 / 7	0 / 0	0 / 0	12 / 15	18 / 22	82%
Avancement			97%	84%	95%	80%	93%	

⁷ Le projet GRID+ vise à accompagner les activités de l'EEGI (European Electricity Grid Initiative) afin de dynamiser les activités de R&D à l'échelle européenne pour la mise en place d'un réseau électrique européen à horizon 2020, à travers la mise en place d'une feuille de route et d'un suivi de celle-ci via une série d'indicateurs.

L'avancement indiqué traduit l'atteinte de la très grande majorité des résultats prévus pour 2016 dans la feuille de route R&D 2013-2016. En effet, sur la période TURPE 4 93% des jalons ont été atteints.

, Ainsi, sur la période tarifaire 2013-2016 les résultats obtenus sont à la hauteur des moyens alloués.

La suite de ces travaux sur la période 2017-2020

Les travaux effectués entre 2013 et 2016 dans le cadre de la première feuille de route seront poursuivis (notamment sur la gestion des actifs, les nouveaux outils pour exploiter le système et l'évolution de l'infrastructure de réseau), pour permettre aux métiers opérationnels de RTE de relever les défis posés aussi bien par le vieillissement du réseau existants que par l'accélération des mutations.

Durant la période 2013-2016, les équipes de R&D ont ciblé globalement des activités de recherche spécifiques à chaque métier de RTE. Dans le cadre de la feuille de route 2017-2020, les équipes de R&D investigueront également des questions plus transverses à l'évolution globale des métiers de RTE :

- la conception de l'architecture de pilotage du réseau : que gérer au niveau des dispatchings, que gérer au niveau de postes devenus intelligents ?
- la remise à plat de la méthode pour repenser les investissements de demain de manière optimisée entre développement, ingénierie et exploitation,
- la gestion des données massives produites par le monitoring de actifs du réseau (quel niveau d'agrégation, quelle utilisation, quel lien avec l'exploitation ?),
- l'écoconception à différentes échelles de temps (analyse du cycle de vie des équipements) afin que le réseau de transport fournisse une réponse adaptée aux profondes évolutions que connaissent l'environnement et la société : disponibilité des ressources, coût de l'énergie, réchauffement climatique, remises en question des modèles de consommation, nécessité croissante de favoriser l'économie circulaire.

Par ailleurs, dans le cadre de leurs travaux sur la période 2017-2020, les équipes de R&D ouvrent de nouveaux chantiers de recherche :

- des études de prospective et d'économie pour faire de RTE une force de proposition sur le rôle, l'économie et la régulation du système électrique dans les vingt prochaines années,
- la montée en puissance des territoires et l'interaction croissante avec les autres acteurs du système énergétique.

Dans ce cadre, les travaux de la R&D entre 2017 et 2020 seront structurés au travers de six programmes de travail, regroupant 22 axes de recherche. Ces axes de recherche sont décrits dans le document « [Grandes lignes du programme de R&D de RTE sur la période 2017-2020](#) ».