

*Décarbonation, sécurité  
énergétique et sobriété :  
comment la France peut-elle  
atteindre ses objectifs d'ici à  
2030 ?*

## DOMAINE ÉNERGIE

# RENFORCER ET RENDRE INTELLIGENTS LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES POUR SOUTENIR L'ÉLECTRIFICATION AVEC UN MIX PLUS RENOUVELABLE

Développer et maintenir les réseaux, les systèmes Courant Continu Haute Tension, le stockage, les technologies innovantes et les solutions *software* associées pour construire un réseau européen robuste et flexible adapté aux nouveaux usages

## 01

Les réseaux électriques doivent être adaptés pour accompagner l'électrification décarbonée des usages d'ici 2030

Le déploiement des énergies renouvelables (ENR) prévu par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et le développement des usages électriques impliquent de développer les réseaux électriques.

Des investissements ciblés sur les composants du réseau, le raccordement des moyens de production renouvelables et des bornes de recharge sont alors nécessaires.

Un écosystème de sous-traitants bien développé (équipementiers, prestataires de services) se structure autour des deux grands opérateurs des réseaux publics RTE et ENEDIS.

## 02

Un cadre public favorable mais d'importantes barrières au sujet du développement des infrastructures, des compétences et du financement

Un engagement politique fort au niveau européen (EU Clean Energy Package) et national (France 2030 favorise le développement des solutions réseaux pour y intégrer et piloter les ENR).

Les plans d'investissements de RTE et Enedis sont très importants, mais le soutien public est insuffisant par rapport aux investissements nécessaires (le double de ceux réalisés dans les ENR).

Les interconnexions avec les pays voisins sont souvent congestionnées, ce qui contribue à la hausse des prix de l'électricité.

23 métiers en tension sont identifiés à horizon 2030 (cybersécurité, maintenance électrique et électronique, analyse de données, etc.)

## 03

Une filière française en avance au niveau mondial mais en tension sur les ressources, à soutenir pour conserver une souveraineté industrielle

La filière française des réseaux électriques est en avance sur celle de ses voisins européens et mondiaux avec des acteurs présents à l'international.

De plus, la filière des réseaux électriques est à fort potentiel de création de valeur et d'emplois avec un marché de 6 Mds € en 2030 (1,2 Mds€ en 2020) et la création de 60 000 emplois directs chez les opérateurs de réseaux.

Des ressources de criticité modérée sont traditionnellement utilisées mais un besoin en ressources critiques apparaît avec le développement de nouvelles technologies.

## 04

De nouveaux mécanismes tarifaires à instaurer et une refonte organisationnelle à mettre en œuvre pour décongestionner le réseau

Adapter le market design pour répondre à la problématique de gestion et de rémunération de la flexibilité. Par exemple, les opérateurs de transport et de distribution doivent faciliter l'accès au marché des agrégateurs indépendants.

Les investissements sur les interconnexions peuvent être sécurisés par des contrats financiers pluriannuels et augmentés par leur ouverture à la concurrence. Une tarification zonale ou nodale du réseau (tarif plus élevé sur les zones congestionnées) inciterait les investisseurs à mieux localiser les moyens de production sur les zones décongestionnées.

La séparation des activités de transport et système de RTE en deux entités assurerait l'indépendance des décisions de pilotage du système électrique (décisions de dispatching) et l'efficacité des décisions d'investissement.

# LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES DOIVENT ÊTRE ADAPTÉS POUR ACCOMPAGNER L'ÉLECTRIFICATION DÉCARBONÉE DES USAGES D'ICI À 2030

## Périmètre technologique

Les réseaux de transport et de distribution acheminent l'électricité depuis les installations de production jusqu'aux sites de consommation. L'objectif est de développer et maintenir les réseaux, les systèmes CCHT (Courant Continu Haute Tension), le stockage, les technologies innovantes et les solutions digitales associées pour construire un réseau robuste, flexible et performant, adapté aux nouveaux usages (en particulier en réponse à la multiplication des actifs renouvelables et des bornes de recharge). Il s'agit d'accompagner et de faciliter la transition énergétique.

### Maturité technologique :

Stade : commercialisation à grande échelle

|  |         |
|--|---------|
| Systèmes Courant Continu Haute Tension (CCHT) ; Objets connectés data et intelligence artificielle ; microgrids ; drones | TRL 7-9 |
| Systèmes d'information géographiques ; Capteurs contrôle commande des réseaux  | TRL 9   |
| Câbles intelligents ; supraconductivité  | TRL 5-6 |
| Asset management   | TRL 5-9 |
| Jumeau numérique   | TRL 4-5 |

## ETAT DES LIEUX

- **Engagement politique et soutien public** : un engagement politique fort dans le cadre de France 2030  
**Le déploiement des énergies renouvelables (ENR) prévu par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et le développement des usages électriques impliquent de développer les réseaux électriques et leur intelligence (Smart Grids).** Ce besoin est soutenu par un engagement politique fort dans le cadre de France 2030 : 500 M€ milliards d'euros soutiennent l'émergence des solutions pour les réseaux énergétiques dans le but d'assurer l'intégration et le pilotage des ENR dans les réseaux. De plus, les directives de l'EU Clean Energy Package doivent être transposées dans le droit national pour adapter le marché de l'électricité à la transition énergétique.
- **Acceptabilité** : les lignes aériennes sont contestées par les riverains  
**La population est susceptible de contester le développement aérien du réseau**, notamment haute et moyenne tension, en raison de la pollution visuelle générée et d'éventuelles expropriations. Dans les zones urbaines, le coût des lignes souterraines peut apparaître prohibitif.
- **Compétences & savoir-faire** : une préoccupation majeure de la filière vise à accélérer le développement des compétences  
**Le développement du réseau et la mise en œuvre des nouvelles technologies nécessitent des compétences pluridisciplinaires** (spécialistes des technologies de communication, experts de la big data, intervenants sur les marchés énergétiques, capacité de transformation des opérations et du modèle).
- **Réseau existant de partenaires** : un écosystème de partenaires en développement autour de RTE et d'Enedis  
Les opérateurs de réseaux s'appuient sur un écosystème d'acteurs du système énergétique constitué de grandes entreprises, scale-ups, start-ups

et organismes de recherches. Il se fédère autour des associations (Think Smartgrids, GIMELEC, European Distribution System Operators, ...) et des opérateurs de réseaux régulés, RTE et Enedis.

- **Structuration macro de la chaîne de valeur et implication des territoires** : une filière en tension sur les ressources et un fort besoin d'implication des territoires  
**La filière est susceptible d'être en tension sur les approvisionnements en cuivre, aluminium et autres ressources critiques.** Par ailleurs, les territoires prennent peu d'initiatives en raison de l'immaturité des plans territoriaux, mais peuvent s'appuyer sur des pôles de compétitivité, les membres de la filière réseaux et des tiers financeurs (banque des territoires) pour développer le réseau.
- **Impératifs de développement** : un besoin de planification énergétique plus précis et bien temporalisé  
**Les réseaux électriques constituent la colonne vertébrale de la transition énergétique.** Le développement des énergies renouvelables et de l'électrification des usages nécessitent une adaptation planifiée des réseaux pour anticiper au mieux les contraintes aux niveaux national et européen. **Les nouvelles sources de flexibilité doivent également être développées** (effacement de la consommation et stockage par batteries) afin d'effacer 6 500 MW en 2028, contre 3 296 MW aujourd'hui (Watt's Next Conseil).
- **Leviers de déploiement et voies d'industrialisation** : un besoin en investissements ciblés sur les composants du réseau et sur le raccordement des moyens de production renouvelables et des bornes de recharge  
**Chaque euro investi sur les moyens de production (renouvelables) ou sur les usages (recharge des véhicules électriques) doit correspondre à deux euros investis sur les réseaux électriques**, en particulier pour les composants du réseau et le raccordement.

### Prévision des zones de congestion du réseau électrique en 2035\*

Des adaptations du réseau électrique sont à prévoir d'ici 2035 sur les axes nord-sud et ouest-est en raison du développement de l'éolien en mer.

### Zones d'implantation privilégiées

Des adaptations du réseau électrique sont à prévoir d'ici 2035 sur les axes nord-sud et ouest-est en raison du développement de l'éolien en mer.



■ Fréquence annuelle de surcharge modérée

\* Tronc commun de tous les scénarios du nouveau schéma décennal de développement du réseau (SDDR)

# BIEN DÉVELOPPÉ, L'ÉCOSYSTÈME SE STRUCTURE AUTOUR DES DEUX GRANDS OPÉRATEURS DES RÉSEAUX PUBLICS RTE ET ENEDIS

## ÉVALUATION DE L'ÉCOSYSTÈME

**Le réseau est l'infrastructure essentielle du système énergétique (production, réseaux, fourniture). Les gestionnaires de réseaux RTE et Enedis opèrent le réseau, concédé par les collectivités locales qui en sont propriétaires.**

Les services énergétiques se développent avec la digitalisation, tandis que le marché de la production des énergies renouvelables se consolide avec les acquisitions des entreprises pétrolières et des grands énergéticiens. **Si le développement des réseaux électriques est financé par les recettes des tarifs de réseau, des investissements publics et privés supplémentaires sont nécessaires** dans la R&D, la structuration de la filière, le développement des technologies de ruptures et des compétences pour accompagner l'électrification du système énergétique français et européen.

| Producteurs d'énergies renouvelables (domaine concurrentiel)  | Équipementiers (domaine concurrentiel)  | Fournisseurs de logiciels (domaine concurrentiel)   | Opérateurs de transport et de distribution (activités régulés)   | Acteurs du marché électrique Prestataires de services (domaine concurrentiel)  | Opérateurs de smart building / infrastructures de recharge (domaine concurrentiel)   |
|---|---|---|--|--|--|
| <p><b>De nombreuses entreprises françaises</b> et étrangères sont positionnées sur la production d'énergies renouvelables.</p>  | <p><b>L'écosystème français fait partie des leaders mondiaux.</b> Il est prêt à fournir des équipements, des logiciels et à renforcer les réseaux électriques.</p>  | <p>Un écosystème français bien développé sur les solutions logicielles.</p>   | <p><b>Le transport et la distribution de l'électricité sont assurés par RTE, Enedis</b> et plus de 160 entreprises locales de distribution</p>   | <p>La France compte des entreprises de premier plan dans les services énergétiques.</p>  | <p>Les acteurs français sont également bien positionnés en aval de la chaîne de valeur.</p>  |
| <p><b>Acteurs historiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>EDF (FR)</li> <li>Engie (FR)</li> <li>Iberdrola (ES)</li> <li>Gazel energies</li> <li>Vattenfall...</li> </ul> <p><b>Acteurs indépendants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Akuo Energy (FR)</li> <li>Apex Energies (FR)</li> <li>Eurowatt (FR)</li> <li>Neoen (FR)</li> <li>CVE (FR)</li> <li>BORALEX (CA) ...</li> </ul> <p><b>Nouveaux entrants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Total Energies (FR)</li> </ul> <p><b>Financiers et écosystèmes, notamment à initiative locale</b></p> | <p><b>Câbliers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nexans (FR)</li> <li>Acome (FR)</li> </ul> <p><b>Fabricants de pylônes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Brillard et Choin (FR)</li> <li>Fabrimet (FR)</li> </ul> <p><b>Fabricants de drones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dronelis (FR)</li> <li>Dronevolt (FR)</li> <li>Azur drones (FR)</li> <li>Delta Drone (FR)</li> </ul> <p><b>Supraconducteurs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nexans (FR)</li> <li>Air Liquide (FR)</li> <li>Absolut System (FR) (startup)</li> </ul> <p><b>Équipements réseaux / microgrids / logiciels spécialisés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ABB (CH)</li> <li>Hitachi (JP)</li> <li>Schneider Electric (FR)</li> <li>Siemens (DE)</li> <li>General Electric (EU)</li> </ul> <p><b>Systèmes CCHT / DC</b></p> <p><b>Stockage</b></p> <p><b>Filières (GIMELEC...)</b></p> | <p><b>Objets connectés / intelligence artificielle :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Start-ups : Altea (FR), Steadysun (FR), Odit-e (FR)...</li> </ul> <p><b>Systèmes d'information géographiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Start-up Teria (FR)</li> <li>ESRI, GE (US)</li> <li>Schneider Electric</li> </ul> <p><b>Capteurs / Edge computing :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Schneider Electric (FR)</li> <li>Capgemini (FR)</li> <li>Atos (FR)</li> <li>SICAME (FR)</li> </ul> <p><b>Asset Management</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Filiale Aplines de Schneider Electric (FR)</li> <li>Schneider Electric (FR)</li> <li>Start-up Cosmo tech (FR)</li> <li>Nexans (FR)</li> <li>Mercatus (US), Copperleaf (CA)</li> </ul> <p><b>Jumeaux numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Start-ups : Virtual IT (FR), Cosmo Tech (FR), DCBRAIN (FR)</li> <li>Dassault Systèmes (FR)</li> </ul> | <p><b>Opérateur de transport unique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>RTE (FR)</li> </ul> <p><b>Opérateur de distribution principal (95% territoire)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enedis (FR)</li> </ul> <p><b>Autres entreprises locales de distribution (ELD) – plus de 160</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Electricité de Strasbourg (FR)</li> <li>Usine Électricité de Metz (FR)</li> <li>Gaz et Electricité de Grenoble (FR)</li> <li>Electricité de Mayotte (FR)</li> <li>EDF-SEI (FR)</li> <li>Autres opérateurs locaux (160 entreprises)...</li> </ul> <p><b>Propriétaires des actifs réseaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>France Urbaine</li> <li>FNCCR</li> <li>Collectivités locales</li> </ul> | <p><b>Prestataires de services énergétiques</b></p> <p><b>Agrégateurs de capacité, acteurs du mécanisme d'ajustement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gazel Energie</li> <li>EDF Agregio</li> <li>Solvay Energy Services</li> <li>Engie</li> <li>Eqinov (start-up)</li> <li>Energy pool (start-up)</li> <li>Voltalis (start-up)</li> <li>Smart Grid Energy (start-up)</li> <li>Energigit (start-up)</li> </ul> <p><b>Marchés de gros et de capacité / ajustement</b></p> <p><b>Prestataires de services numériques au bénéfice des opérateurs de transport et de distribution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capgemini (FR)</li> <li>Atos (FR)</li> <li>Sopra Steria (FR)</li> <li>Accenture (EU)</li> <li>Hyperscalers</li> </ul> | <p><b>Opérateurs de smart building</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Smart Buildings Alliance</li> </ul> <p><b>Opérateurs des infrastructures de recharge</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ionity (DE)</li> <li>TotalEnergies (FR)</li> <li>Fastned (NL)</li> <li>Izivia – groupe EDF (FR)</li> </ul> <p><b>Opérateurs de service énergétique pour industriels / entreprises</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dalkia</li> <li>Equans</li> </ul> <p><b>Opérateurs de réseaux autres</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GRT Gaz, GRDF (Gaz)</li> <li>Réseaux chaleur / froid</li> <li>Futurs réseaux d'hydrogène</li> </ul> |

### Projet Greenlys

|                        |   |
|------------------------|---|
| Description            | Intégrer toutes les fonctionnalités de gestion intelligente de l'électricité sur le réseau  |
| Parties prenantes      | Partenaires majeurs : Enedis, Engie, Gaz Électricité de Grenoble (GEG), l'Institut polytechnique de Grenoble (Grenoble INP) et Schneider Electric |
| Localisation           | Lyon et Grenoble (Auvergne-Rhône-Alpes)   |
| Chiffres clés          | Budget de 43 millions d'euros ; date : 2012 - 2016  |
| Sources de financement | Subventions du programme d'Investissements d'Avenir de l'ADEME (9,6 millions d'euros) et financements privés                                      |

### Projet SOGRID

|                        |  |
|------------------------|--|
| Description            | Développer une chaîne de communication globale liant l'ensemble des équipements du système électrique                |
| Parties prenantes      | Enedis, STMicroelectronics, Nexans, Sagemcom, Landis+Gyr, Capgemini, Trialog, LAN, École Polytechnique, Grenoble INP |
| Localisation           | Occitanie  |
| Chiffres clés          | Budget de 27 millions d'euros ; date : 2013 – 2016   |
| Sources de financement | Subventions du programme d'Investissements d'Avenir de l'ADEME (12 millions d'euros) et financements privés          |

# EVALUATION DU POTENTIEL FRANÇAIS

**Positionnement de la France :** la filière française des réseaux électriques est en avance sur celle de ses voisins européens et mondiaux. L'expertise des deux principaux opérateurs de réseaux, RTE et Enedis, est reconnue aux niveaux européen et international.

La filière s'est organisée pour couvrir les besoins français territoriaux et internationaux. Les grands acteurs français de la filière sont présents à l'international.

**Potentiel de décarbonation :** les réseaux électriques sont indispensables à la décarbonation et à la transition énergétique.

#### Émissions CO2 évitées :

- Le développement et l'opération des réseaux électriques ne réduit pas directement les **émissions de CO2** mais est incontournable à la décarbonation par l'électrification.
- Deux sujets cependant :** limitation drastique des interventions terrain et groupes de secours diesel à remplacer.

**Potentiel de création de valeur :** une filière à fort potentiel de création de valeur et d'emplois.

#### PIB - valeur du marché généré :

- Valeur ajoutée :** un marché de 6 Mds€ en 2030 (1,2 Mds€ en 2020) selon Think Smartgrids.
- Investissements :** Annonce de 7 Mds€ investis annuellement par RTE et Enedis en moyenne d'ici 2035 (montants triplés par rapport aux niveaux de 2020).

#### Emplois générés :

- Prévisions 2030 :** 60 000 emplois directs en France chez les opérateurs de réseaux, potentiel supérieur à 30.000 d'ici 2030 selon Think Smartgrids. Reste à résoudre la quadrature du développement des compétences.

**Potentiel d'accroissement de la souveraineté énergétique et industrielle de la France :** des ressources de criticité modérée contrôlées par des pays tiers et des efforts à soutenir pour conserver une souveraineté industrielle dans les technologies et l'opération des réseaux électriques.

#### Criticité des ressources majeures :



| Ressource | Criticité | Problématique (si criticité forte ou modérée)                                   |
|-----------|-----------|---|
| Cuivre    | ●         | extraction à 30% par le Chili et première transformation à 40% par la Chine .   |
| Aluminium | ●         | extraction à 30% par l'Australie et première transformation à 55% par la Chine. |

Source : INEC et Capgemini

#### Potentiel de circularité et de durabilité :

- Réemployer autant que possible les matériaux issus de la rénovation du réseau, notamment pour les pylônes en béton et en acier qui sont toujours opérationnels.** L'utilisation de la robotique et de la numérisation dans la construction des réseaux peut réduire les matériaux nécessaires et les coûts.
- Diriger les matériaux vers les filières existantes pour leur valorisation (Nexans est le seul câblé à posséder sa propre fonderie de cuivre.** La société y recycle le cuivre pour fabriquer de nouveaux câbles).
- Réduire le temps d'immobilisation du cuivre** dans les produits inutilisés.
- Développer la flexibilité de la demande** pour optimiser les coûts de maintenance et de développement du réseau
- Remplacer tous les transformateurs électriques contenant du SF6, gaz hautement polluant.
- Se passer des générateurs diesel de secours** grâce aux batteries ou aux groupes à hydrogène.
- S'assurer de la robustesse du réseau** face aux événements climatiques à venir.

**Provenance de la technologie :** en très grande majorité française.

# UN CADRE PUBLIC FAVORABLE MAIS D'IMPORTANTES BARRIÈRES AU SUJET DU DÉVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES, DES COMPÉTENCES ET DU FINANCEMENT

## Cadre public de déploiement

**Engagement politique : un engagement politique fort dans le cadre de France 2030**

**L'augmentation des EnR et l'électrification des usages nécessitent le développement des réseaux électriques.** Ainsi, France 2030 soutient à hauteur de 500 Mi€ l'émergence des solutions pour les réseaux énergétiques dans le but d'assurer l'intégration et le pilotage des EnR dans les réseaux.

**Dispositifs de financement : un soutien trop faible compte tenu des montants mis en jeu et de la criticité**

**Niveau européen :**

- 998 M€ pour les projets européens d'interconnexions électriques.
- Prêt de 800 M€ de la Banque Européenne d'Investissements (BEI) à Enedis pour le raccordement des énergies renouvelables décentralisées et des bornes de recharge de véhicules électriques.
- Financement de RTE par la BEI en 2015 (500 M€).

**Niveau national :**

- France 2030 :** 500 M€ pour les solutions réseaux.
- Dispositif de financement des aides aux collectivités pour l'électrification rurale (**CAS FACÉ**).
- Fonds Ecotech géré par Bpifrance** (150 M€ pour les PME indépendantes dans les technologies vertes y compris dans les smart grids).
- Appels à manifestation d'intérêt et appels à projets** gérés par l'ADEME ou le CSF NSE.

**Cadre législatif et réglementaire : un cadre réglementaire insuffisant**

**Etat des lieux :**

Transposition des directives du **Clean Energy Package** dans le droit national. Dans l'UE, l'interdiction de vendre des voitures neuves à moteur thermique en 2035 développera le marché du véhicule électrique, ce qui implique de renforcer les réseaux électriques.

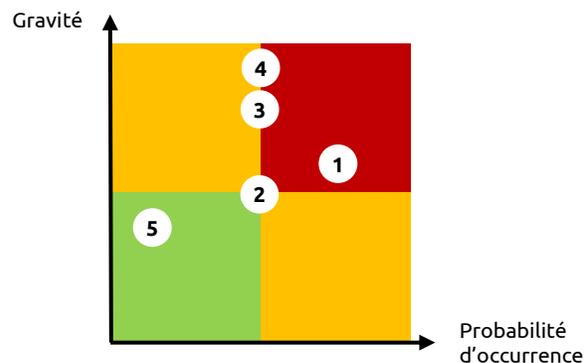
**Analyse d'écart entre les besoins et les mesures :** selon l'AIE, les investissements sur le réseau doivent représenter le **double des investissements dans les énergies renouvelables** alors qu'ils étaient jusqu'à présent équivalents. En 2035, les investissements réalisés par RTE et ENEDIS représenteront seulement 12% des investissements nécessaires d'ici 2050 (Analyse Capgemini).

## Barrières au déploiement

|  | Faible    | Forte |   |
|--|-----------|-------|---|
| Approvisionnement (matériaux et technologie) | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>Les technologies utilisées pour développer les réseaux électriques sont d'origine française.</b> Cependant, les ressources mobilisées proviennent de l'étranger avec un risque de pénurie en matières premières à prendre au sérieux pour l'aluminium et le cuivre. Cela est également vrai pour les batteries nécessaires à la flexibilité.   |
| Capacité de développement et infrastructures | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>Besoin de renforcer et de développer rapidement le réseau</b> , ainsi que de le rendre communicant, alors que plusieurs années sont nécessaires pour mener les études détaillées requises et obtenir les autorisations de raccordement (une ligne électrique se construit en 10 ans).<br><b>Problématique de l'optimisation du raccordement</b> des infrastructures de recharge et de leur intégration dans le réseau de distribution et du raccordement des sites industriels.<br><b>Pas assez d'interconnexions</b> (elles sont aujourd'hui toutes congestionnées).  |
| Compétences et savoir-faire                  | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>23 métiers en tension sont identifiés</b> à horizon 2030 (cybersécurité, maintenance électrique et électronique, analyse de données, bureau d'études, conduite de travaux, intégration, soudure, digital...)<br><b>En outre, la maturité et la rentabilité des technologies de stockage et de pilotage des connexions / déconnexions</b> doivent être améliorées puis les architectures standardisées.   |
| Économiques                                  | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>Manque de rentabilité pour certaines opérations comme le stockage stationnaire.</b> (adaptation du market design nécessaire). Baisse des prix sur les marchés de l'équilibrage pour les agrégateurs.   |
| Financières                                  | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>Les plans d'investissements de RTE et Enedis sont substantiels</b> , mais le besoin en financement est encore conséquent (les investissements sur le réseau doivent représenter le double de ceux réalisés dans les énergies renouvelables).<br><b>De plus, les dispositifs tarifaires</b> n'incitent pas les producteurs à installer les EnR au niveau des zones les moins congestionnées du réseau pour optimiser l'utilisation du réseau électrique.<br><b>Par ailleurs, le marché de l'électricité</b> (market design du réseau électrique) n'est pas suffisamment adapté pour rémunérer la flexibilité (EU Clean Energy Package). |
| Acceptabilité                                | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>La population</b> , en particulier dans les zones rurales, est susceptible de contester le développement du réseau aérien en raison de la pollution visuelle générée.  |
| Législatives et réglementaires               | ● ● ● ● ● | ● ●   | <b>Les mesures législatives n'incitent pas suffisamment à la décongestion des réseaux électriques :</b> les dispositifs ne permettent pas de sécuriser ni d'augmenter les investissements pour renforcer les interconnexions.<br><b>De plus, la réglementation sur la construction des lignes électriques n'envoie pas un signal suffisant à la modernisation du réseau :</b> plusieurs années sont nécessaires pour mener les études détaillées requises et obtenir les autorisations nécessaires et les investissements lourds doivent être compensés.  |

# RISQUES ET RECOMMANDATIONS

## Cartographie des risques majeurs



## Recommandations et leviers (publics / privés) à mettre en œuvre

### Infrastructures et approvisionnement

- **Engager l'ensemble des acteurs dans le réemploi et le recyclage des éléments de l'infrastructure** : réemployer autant que possible les matériaux issus de la rénovation du réseau, notamment pour les pylônes en béton et en acier qui sont toujours opérationnels ; diriger les matériaux vers les filières existantes pour leur valorisation ; dimensionner de la façon la plus optimale les réseaux électriques.
- **Mener une étude sur l'opportunité de mettre en place une tarification zonale ou nodale du réseau de transport**. En reflétant le coût local d'utilisation du réseau, ce type de tarification pourrait inciter les producteurs à déployer leurs moyens de production d'électricité à des endroits spécifiques de sorte à optimiser l'exploitation du réseau électrique existant. Le Royaume-Uni se pose actuellement la question.

### Commandes publiques

- **Préciser et temporaliser la planification** énergétique afin d'anticiper l'adaptation du réseau et l'intégration des innovations.
- **Former massivement sur les métiers de la filière** en tension et rendre plus lisible l'offre de formation pour les TPE et les PME.

### Programmes de recherche et d'innovation

- Accompagner la recherche sur la supraconductivité à horizon moyen terme pour connecter l'éolien en mer au réseau et progresser sur les systèmes Courant continu haute tension (CCHT).

### Financements & investissements

- **Identifier les axes du réseau sur lesquels il est nécessaire d'investir** en priorité pour éviter la dilution des financements (véhicule to grid, système de gestion des ressources énergétiques décentralisées, interconnexions, etc.).
- **Séparer les activités transport et système de RTE en deux entités distinctes** : un Opérateur Système Indépendant (OSI) (décide les

investissements, planification et dispatching) et un Opérateur Transport (OT) (gestion d'infrastructures) pour assurer l'indépendance des décisions de pilotage du système électrique (décisions de dispatching) et l'efficacité des décisions d'investissement, notamment pour le développement des interconnexions.

- **Adapter le market design pour répondre à la problématique de gestion et de rémunération de la flexibilité**. Par exemple, les opérateurs de transport et de distribution doivent faciliter l'accès au marché des agrégateurs indépendants.

### Réglementation

- **Ouvrir à la concurrence les investissements dans les interconnexions** (exemple Eleclink – câble de 1000 MW qui passe par le tunnel sous la manche) avec les pays voisins pour susciter des investissements privés massifs indispensables pour créer une plaque réseau européenne bas carbone avec des coûts de fonctionnements optimaux, avec des coûts de congestion limités notamment.
- **Autoriser les contrats financiers pluriannuels** (Financial Transmission Rights) de capacité d'interconnexion entre les pays pour sécuriser les investissements dans les réseaux marchands.
- **Ouvrir à la concurrence le raccordement au réseau de transport**, actuellement sous monopole de RTE, dans un contexte d'accélération des investissements dans les fermes éoliennes offshore. RTE reste le propriétaire de l'ossature de réseau, les raccordements sont privés. Exemple au Royaume-Uni.
- **Instaurer un mécanisme d'ajustement au niveau local du réseau de transport pour inciter au développement du stockage**, de l'autoproduction et de la flexibilité de la demande qui seront nécessaires pour la décarbonation profonde (Tarification dynamique locale). Investissements de l'ordre de 50 à 100 M€.

1. **Manque de moyens** (décisions et signal clair de l'Etat et des collectivités publiques en matière d'investissements)
2. **Manque d'anticipation** et par conséquent de temps pour renforcer les réseaux
3. **Manque de compétences en cybersécurité**, maintenance électrique et électronique, analyse de données, bureau d'études, etc.
4. **Cyberattaques** (l'exigence de cybersécurité pose le souci de la performance)
5. **Risque de pénurie** ou d'inflation importante du cuivre, de l'aluminium et des ressources critiques

## Rapports

Futurs énergétiques 2050, RTE, 2022

Système de prix nodaux : expérience américaine et perspectives pour l'Europe, Commission de régulation de l'énergie (CRE)

Stratégie Nationale Bas Carbone sous contrainte de ressources, INEC et Capgemini, 2022

## Organismes / Entreprises

- AVERE France
- Alliance Edge for Smart Secondary Substations (E4S)
- Smartgrids, site internet de la Commission de régulation de l'énergie (CRE)
- Think Smartgrids
- Les Echos
- L'Usine Nouvelle
- Commission européenne

## Interviews

- Commission de régulation de l'énergie (CRE)

# GLOSSAIRE

## GLOSSAIRE

- **Agrégateur de capacité :** intermédiaire entre le producteur d'électricité et le marché de l'électricité. Il contribue à la flexibilité du réseau lorsqu'il travaille sur l'augmentation ou l'effacement de la production ou de la consommation d'électricité de sites ciblés.
- **Edge computing :** méthode d'optimisation du traitement des données consistant à traiter la data à la périphérie du réseau de sorte à minimiser les besoins en bande passante.
- **Microgrids :** micro réseau électrique pour approvisionner un petit nombre de consommateurs à partir d'installations de production d'électricité locales.
- **Systèmes Courant Continu Haute Tension (CCHT) :** technologie utilisée pour transporter de l'électricité sur de longues distances et connecter des réseaux fonctionnant avec des fréquences différentes.