



**CONSEIL SCIENTIFIQUE**  
**THINK SMARTGRIDS**  
FEUILLE DE ROUTE R&D



# SOMMAIRE

<b>p.3</b>	<b>1. RÉSUMÉ EXÉCUTIF</b>
<b>p.4</b>	<b>2. LE CONSEIL SCIENTIFIQUE</b>
<b>p.5</b>	<b>3. CONTEXTE</b>
<b>p.6</b>	<b>4. SYNTHÈSE DES AXES</b>
<b>p.8</b>	<b>5. AXES DE LA FEUILLE DE ROUTE R&amp;D</b>
<b>p.8</b>	5.1 Axe 1 – Transition énergétique optimale
<b>p.10</b>	5.2 Axe 2 – Compétitivité et efficacité
<b>p.12</b>	5.3 Axe 3 – Résilience du système
<b>p.13</b>	5.4 Axe 4 – Empreinte environnementale
<b>p.14</b>	5.5 Axe 5 – Composants innovants
<b>p.16</b>	5.6 Axe 6 – Opportunités du digital
<b>p.18</b>	5.7 Axe 7 – Usagers, territoires et gouvernance
<b>p.20</b>	5.8 Axe 8 – Solutions innovantes pour les pays en développement, en reconstruction et ZNI
<b>p.22</b>	<b>6. THINK SMARTGRIDS – PRÉSENTATION DE L'ASSOCIATION ET DES MEMBRES</b>

## RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Les systèmes et réseaux électriques jouent un rôle fondamental dans l'atteinte de l'objectif de décarbonation de l'Union Européenne et font l'objet de transformations profondes et rapides. Ces changements portent sur les moyens de production, les usages de l'électricité, les technologies des composants du réseau, mais aussi sur la réglementation, les modèles d'affaires et les attentes sociétales. Et les nombreuses innovations dans les domaines du numérique et de la donnée amplifient les évolutions. En intégrant l'ensemble de ces éléments, la feuille de route R&D s'articule autour de huit axes :

- **Transition énergétique optimale** : il s'agit de développer des nouvelles méthodes de prévision des profils de charge tenant compte des nouveaux usages et de l'intelligence répartie, de quantifier les différents besoins en flexibilités, de transformer les méthodes de développement, de conduite et d'exploitation du réseau pour intégrer les flexibilités, de développer des solutions pour limiter les occurrences de surproduction et d'adapter le market design et la réglementation.
- **Compétitivité et efficacité** : l'objectif est d'optimiser les investissements et la gestion des actifs, de piloter au mieux le réseau, notamment avec la décentralisation de l'intelligence et la virtualisation, d'améliorer la relation clients et de permettre de nouveaux services en tirant parti du traitement de données massives, de l'IA de l'IA-Gen.
- **Résilience du système** : des solutions innovantes sont nécessaires pour faire face à la complexité croissante du système, maîtriser les risques liés aux cyberattaques, prévoir les effets des événements climatiques extrêmes et adapter le réseau et ses composants à ces nouvelles contraintes.
- **Empreinte environnementale** : des travaux de R&D sont indispensables pour limiter le bilan carbone, minimiser la consommation de matière, intégrer la biodiversité et limiter l'artificialisation des sols. Ils devront permettre de développer des indicateurs environnementaux exploitables et pertinents.
- **Composants innovants** : l'objectif est de tirer parti des progrès de l'électronique de puissance, de concevoir les nouveaux composants nécessaires compte tenu de l'évolution du système électrique, y compris les composants pour les réseaux à courant continu, et d'intégrer les perspectives offertes par la supraconductivité
- **Opportunités du digital** : il s'agit de développer des solutions innovantes permettant de traiter des quantités massives de données, de garantir leur qualité, de gérer l'accès aux données, de protéger la vie privée et garantir la souveraineté, de maîtriser les risques liés aux cyberattaques, de développer l'interopérabilité et de tirer parti des innovations télécom pour la gestion des réseaux électriques.
- **Usagers, territoires, gouvernance** : l'objectif est de contribuer à la définition et à la mise en œuvre des politiques publiques nationales et locales, de faciliter les actions de sobriété, d'intégrer la faisabilité sociotechnique dans la réalisation des nouveaux ouvrages de réseau, d'accompagner les consommateurs pour en faire des acteurs des évolutions du système et de contribuer à la conception d'un market design et de tarifs de réseaux efficaces, justes et incitatifs.
- **Solutions innovantes pour les pays en voie d'électrification, en reconstruction et ZNI** : des travaux de R&D doivent permettre d'intégrer des énergies renouvelables dans des proportions inédites, d'assurer le maintien de la fréquence du système et de la tension dans un contexte de foisonnement limité, d'adapter les systèmes de protection du réseau à des territoires faiblement maillés, de planifier l'évolution de micro-grids décarbonés à coût réduit, dans des contextes d'ajout progressif des usages et de moyens de production et de concevoir des composants et infrastructures micro-grids pérennes dans des contextes de difficile réparabilité.

Cette feuille de route doit permettre aux différents acteurs de la filière, industriels, centres de recherche et organismes de financement, de partager une vision commune des perspectives et des priorités. Elle vise à favoriser les coopérations et à orienter au mieux les ressources disponibles.

## LE CONSEIL SCIENTIFIQUE

Le Conseil scientifique de Think Smartgrids définit les priorités de R&D dans le secteur français des smart grids, éclaire les choix technologiques, recense l'ensemble des thèses sur les smart grids et remet le prix de thèse de l'association.

**Nouredine Hadjsaid** (Président), Professeur à l'Institut Polytechnique de Grenoble

**Pierre Mallet** (Vice-président), Directeur R&D d'Enedis

Marie-Cecile Alvarez-Herault – G2ELab / Grenoble INP

Michel Bena – RTE

Maria-Pilar Bernal-Artajona – CNRS

Philippe Daguzan – Enedis

Olivier Devaux – EDF

Philippe Drobinski – LMD / École Polytechnique

Bruno François – Centrale Lille

Patrice Geoffron – Université Paris Dauphine

Georges Kariniotakis – Mines Paris – PSL

Tanguy Larcher – Think Smartgrids

Pierre Meyer – RTE

Marc Petit – CentraleSupélec

Étienne Wurtz – CEA

Les experts suivants ont aussi contribué à la préparation de cette feuille de route :

Nicolas Barennes – ADEME

Yvon Besanger – G2ELab

Fabien Bricault – EDF

Jerome Buire – G2ELab

Stéphanie Chollet – LCIS

Jonathan Coignard – G2ELab

Sebastien Cornet – EDF

Vincent Debusschere – G2ELab

Gauthier Delille – EDF

Marianne Entem – EDF R&D

Bruno François – L2EP

Nicolas Guillet – CEA

Grégoire Guyot – CEA

Sebastien Henry – RTE

Sacha Hodencq – G2ELab

Mehdi Kanoun – EDF

Simon Meunier – Centrale Supélec

Andrei Nekrassov – EDF

Guillaume Piquet-Boisson – CEA

Loic Quéval – Centrale Supélec

Patrick Reignier – LIG

Beatrice Roussillon – GAEL

Marie Ruellan – ENS Rennes

Pascal Tixador – G2ELab

Pascale Trompette – PACTE

Arnaud Tschirret – Enedis

## CONTEXTE

Les systèmes et réseaux électriques connaissent aujourd'hui des évolutions nombreuses et très rapides. C'est une véritable transformation de ces derniers qu'il faut désormais anticiper. Il s'agit bien de préparer la « seconde révolution de l'électrification ». Ces changements portent sur les caractéristiques des moyens de production, sur les usages raccordés au réseau, sur les technologies des composants du réseau, mais aussi sur la réglementation, les modèles d'affaires et les attentes sociétales. Enfin, les nombreuses innovations dans les domaines du numérique et de la donnée jouent, elles aussi, un rôle majeur.

Plus précisément, l'accélération de la transition énergétique implique le développement des énergies renouvelables, la décarbonation des usages et plus de sobriété. Un fonctionnement efficient et sûr du nouveau système imposera notamment de mettre en œuvre à grande échelle des flexibilités, de gérer des tensions hautes, de traiter la problématique liée à la perte d'inertie dans le système. Et le black-out ibérique du 28 avril 2025 a constitué, si besoin était, un rappel fort de la nécessité d'anticiper les phénomènes électrotechniques complexes.

Par ailleurs, le réseau doit s'adapter au changement climatique et notamment à la multiplication d'événements extrêmes. L'amélioration de la résilience devient une véritable priorité.

Il convient également de répondre à la hausse des attentes citoyennes en matière d'environnement, traduite dans les politiques publiques.

En outre, la volatilité croissante des prix de l'électricité rappelle la nécessité de garantir des coûts compétitifs. L'allongement des périodes de prix négatifs interroge par ailleurs le market design et les cadres réglementaires actuels. Par ailleurs, le contexte géopolitique impose d'intégrer les enjeux de souveraineté énergétique et industrielle dans l'activité de gestion des systèmes et des réseaux électriques.

Accompagnant ou anticipant ces évolutions, on assiste aussi à des modifications réglementaires nombreuses avec notamment l'adoption à Bruxelles du Clean Energy Package, de la Directive Market Design et de nouveaux Codes Réseaux.

Enfin, la révolution numérique en cours, avec notamment les avancées dans les domaines de l'IA générative, de la 5G, du edge computing, de la virtualisation ou du calcul quantique, constitue une source très importante d'innovations susceptibles d'améliorer l'efficacité dans la gestion des réseaux et de permettre l'apparition de nouveaux services.

## SYNTHÈSE DES AXES

### Axe 1

Garantir une transition énergétique optimale, sûre, efficace et accessible

### Axe 2

Améliorer la compétitivité et l'efficacité

### Axe 3

Préserver la résilience du système

### Axe 4

Minimiser l'empreinte environnementale des réseaux

- **Prévoir** les profils de charge et les gisements de flexibilité en tenant compte des nouveaux usages et de l'intelligence répartie
  - **Quantifier** les différents besoins en flexibilités du système électrique en France (2035-2050) et en Europe
  - **Développer** le réseau en intégrant les flexibilités, la coordination des réseaux et les incertitudes
  - **Renforcer et intégrer** le potentiel de flexibilité dans la gestion prévisionnelle, la conduite et l'exploitation du système électrique
  - **Garantir** la stabilité du système (tenue de tension, stabilité transitoire...)
  - **Développer** des solutions pour limiter les occurrences de surproduction (prix négatifs, Duck Curve...)
  - **Adapter** le market design et la réglementation
- 
- **Optimiser** les investissements et la gestion des actifs
  - **Piloter** au mieux le réseau : décentralisation de l'intelligence, virtualisation, estimation d'état et contrôle des ressources distribuées
  - **Améliorer** la relation clients et permettre de nouveaux services
  - **Adapter** la régulation et le cadre économique
- 
- **Faire face** à la complexité croissante du système
  - **Maîtriser** les risques liés aux cyberattaques dans un contexte de dépendance accrue au numérique
  - **Prévoir** les effets des événements climatiques extrêmes et adapter le réseau et ses composants
  - **Mieux gérer** les événements de grande ampleur
- 
- **Limiter** le bilan carbone et minimiser la consommation de matière
  - **Intégrer** la biodiversité et limiter l'artificialisation
  - **Développer** des indicateurs environnementaux exploitables et pertinents
  - **Prendre en compte et anticiper** les nouvelles obligations réglementaires

### Axe 5

Concevoir/développer des composants innovants pour les réseaux de demain

- **Développer** des solutions de stockage d'électricité
- **Innover** dans le domaine de l'électronique de puissance
- **Concevoir** des composants pour réseaux à courant continu (DC)
- **Explorer** les applications de la supraconductivité
- **Créer** de nouveaux composants adaptés à l'évolution du système électrique
- **Réduire** l'empreinte environnementale des composants

### Axe 6

Intégrer, saisir les opportunités du digital

- **Exploiter** les données massives et l'IA pour valoriser l'information
- **Assurer** la gouvernance, la qualité et la souveraineté des données
- **Favoriser** l'interopérabilité et l'intégration multi-énergies
- **Développer** les télécommunications et les innovations réseaux
- **Renforcer** la cybersécurité et la résilience numérique
- **Déployer** des jumeaux numériques, la réalité augmentée et des interfaces immersives

### Axe 7

Intégrer les citoyens, usagers et territoires

- **Contribuer** à la définition et à la mise en œuvre des politiques publiques
- **Encourager** la sobriété, la flexibilité et accompagner les usagers
- **Assurer** l'intégration sociotechnique et l'acceptabilité des réseaux
- **Favoriser** la co-construction territoriale et la gouvernance énergétique locale
- **Organiser** les marchés et concevoir les tarifs de réseaux

### Axe 8

Solutions innovantes pour les pays en développement, en croissance rapide, en transition électrique, en reconstruction et ZNI

- **Décarboner** et stabiliser les systèmes électriques insulaires et isolés
- **Gérer** la tension, la protection du réseau et la qualité de l'onde
- **Renforcer** la résilience climatique et l'adaptation environnementale
- **Développer** des microgrids durables, interopérables et accessibles
- **Faciliter** l'acceptabilité, les usages et l'appropriation sociotechnique
- **Établir** des cadres économiques, politiques et institutionnels durables

## AXE 1. TRANSITION ÉNERGÉTIQUE OPTIMALE

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<b>Garantir la stabilité du système (tenue de tension, stabilité transitoire...)</b>	L'évolution des systèmes électriques impose de définir de nouvelles solutions pour tenir la tension et garantir la stabilité avec peu de machines tournantes.	MT – LT	Gérer les risques liés aux tensions hautes et de compenser la réduction de l'inertie apportée par les machines tournantes par un apport d'inertie « virtuelle ».
<b>Quantifier les différents besoins en flexibilités du système électrique en France (2035-2050) et en Europe</b>	Le développement des ENR nécessitent une meilleure connaissance des besoins de flexibilité.	CT – MT	Quantifier les besoins en flexibilités. Définir une méthodologie d'évaluation commune à l'échelle nationale et européenne.
<b>Développer le réseau en intégrant les flexibilités, la coordination des réseaux et les incertitudes</b>	Les investissements de RTE et Enedis (≈ 200 Md€ sur 15 ans) visent à développer le réseau au plus juste. L'intégration des flexibilités et la coordination TSO/DSO doivent permettre d'optimiser les décisions d'investissement.	CT – MT – LT	Définir des méthodologies robustes intégrant les flexibilités de toutes natures (réseau, consommation, stockage, production) et les incertitudes sur la transition (rythme d'électrification, localisation des acteurs). Élaborer une méthodologie d'exploitation commune TSO/DSO pour la gestion des flux et des tensions.
<b>Adapter le market design et la réglementation</b>	Les mécanismes de marché et les structures tarifaires doivent évoluer pour valoriser la flexibilité et garantir la viabilité économique du système dans un contexte de forte variabilité des prix.	MT – LT	Adapter les règles de marché et la structure des tarifs aux nouvelles dynamiques (flexibilité, prix négatifs, stockage). Intégrer la coordination TSO/DSO et la valorisation locale dans les futurs market designs européens.

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Prévoir les profils de charge et les gisements de flexibilité en tenant compte des nouveaux usages et de l'intelligence répartie</b></p>	<p>L'électrification des usages (mobilité, hydrogène, data centers...) et la digitalisation du système rendent les profils de charge plus variables et moins prévisibles. L'anticipation de ces dynamiques est essentielle pour planifier les investissements et l'exploitation.</p>	<p>CT – MT</p>	<p>Connaître les nouveaux usages et estimer l'impact du développement d'intelligence répartie (notamment bâtiments et maisons intelligentes) sur les courbes de charges. Qualifier les gisements de flexibilité et identifier les leviers techniques et économiques nécessaires à leur développement. Intégrer l'IA comme aide à la prévision.</p>
<p><b>Développer des solutions pour limiter les occurrences de surproduction (prix négatifs, Duck Curve...)</b></p>	<p>L'augmentation des productions renouvelables variables accroît les épisodes de surproduction et les déséquilibres prix-volume.</p>	<p>MT – LT</p>	<p>Définir des mécanismes de marché ex-ante pour prévenir les prix négatifs. Élaborer des plans de déconnexion intelligents des productions, optimisant le volume et la temporalité des réductions pour limiter l'impact sur le système.</p>
<p><b>Renforcer et intégrer le potentiel de flexibilité dans la gestion prévisionnelle, la conduite et l'exploitation du système électrique</b></p>	<p>Le système doit valoriser la flexibilité disponible pour la stabilité du réseau et la gestion des contraintes locales, tout en limitant les congestions et les effets Duck Curve.</p>	<p>CT – MT</p>	<p>Intégrer la flexibilité consommation et production dans la conduite et l'exploitation en temps réel. Développer des outils de gestion proactive des congestions (qu'il s'agisse de limites sur les transits de puissance active comme de contraintes liées au respect des niveaux de tension). Dans les cas où cette approche est pertinente, valoriser la flexibilité au travers de mécanismes de marché.</p>

## AXE 2. COMPÉTITIVITÉ ET EFFICIENCE

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Optimiser les investissements et la gestion des actifs</b></p>	<p>Compte tenu de l'ampleur de la base d'actifs gérée par les opérateurs de réseaux, l'optimisation des investissements et de la maintenance joue un rôle important pour garantir une performance de bon niveau au meilleur coût. Les choix technologiques (architectures des réseaux, type de composants, politiques d'investissement et de maintenance, monitoring des actifs, etc.) doivent être faits en intégrant incertitudes, nouvelles options technologiques, connaissance des actifs et contraintes de régulation.</p>	<p>CT – MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outils d'aide à la décision pour l'optimisation des investissements (big data pour la prévision des consommations et des productions et pour la connaissance des actifs ; utilisation des données Linky, etc.).</li> <li>• Approches combinant flexibilité vs renforcement.</li> <li>• Conception de solutions de diagnostic et de monitoring des ouvrages.</li> <li>• Elaboration de stratégies de maintenance prédictive.</li> <li>• Optimisation des durées de vie des ouvrages.</li> <li>• Outils innovants pour la formation et l'appui en situation de travail des équipes de terrain.</li> </ul>
<p><b>Piloter au mieux le réseau : décentralisation de l'intelligence, virtualisation, estimation d'état et contrôle des ressources distribuées</b></p>	<p>L'augmentation des ressources distribuées impose de nouvelles approches de pilotage et de coordination entre acteurs. Le réseau doit être observé et contrôlé à des échelles de plus en plus fines tout en garantissant cohérence et stabilité.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concevoir et expérimenter des solutions innovantes pour les protections du réseau et le contrôle commande des postes (norme 61850, contrôle-commande virtualisé, edge computing).</li> <li>• Pour les réseaux à moyenne et basse tension, développer des outils d'estimation d'état et de monitoring à divers horizons temporels.</li> <li>• Étudier les niveaux de décentralisation et de coopération entre DSO et TSO.</li> </ul>

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Améliorer la relation clients et permettre de nouveaux services</b></p>	<p>L'évolution du système électrique, l'apparition de nouveaux acteurs proposant de nouveaux services et les évolutions des technologies numériques transforment la relation entre le distributeur et ses clients. Les données issues des compteurs et des réseaux ouvrent de nouvelles perspectives de services.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer de nouvelles solutions fondées sur le traitement massif des données et l'IA pour améliorer la qualité de service et en proposer de nouveaux.</li> <li>• Permettre aux clients de choisir plusieurs fournisseurs selon les usages (ex. recharge VE).</li> <li>• Grâce à une meilleure observabilité, construire des signaux optimaux à la maille locale pour rendre les clients plus flexibles dans un environnement incertain. Inciter au pilotage/décalage de la consommation.</li> </ul>
<p><b>Adapter la régulation et le cadre économique</b></p>	<p>Le modèle économique du réseau évolue avec les nouvelles attentes des consommateurs et la décentralisation. La régulation (TURPE, market design) doit accompagner ces changements tout en assurant la soutenabilité du système.</p>	<p>MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyser l'impact des modèles de marché (gestion des phénomènes de prix négatif, notamment) adapter la rémunération de l'acheminement à l'évolution des systèmes électriques).</li> <li>• Explorer les mécanismes permettant une coopération efficace, incitative et juste entre acteurs (DSO-TSO, acteurs de marché), évitant notamment les phénomènes de « passagers clandestins ».</li> <li>• Explorer l'usage de mécanismes économique à maille plus locale selon leur caractéristiques (zones productrice nette, ou consommatrice nette). Etudier les effets d'un pilotage local vs global sur l'efficacité économique et la complexité des méthodes de contrôle.</li> </ul>

## AXE 3. RÉSILIENCE DU SYSTÈME

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<b>Faire face à la complexité croissante du système</b>	La variabilité de la production renouvelable, la décentralisation du système, la multiplication des acteurs compliquent la gestion du réseau et notamment le maintien de sa stabilité.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de solutions de modélisation fine de l’intermittence et de pilotage dynamique.</li> <li>• Amélioration des prévisions et intégration des sources distribuées via des systèmes de gestion locale.</li> <li>• Outils de coordination pour la gestion multi-acteurs.</li> </ul>
<b>Maîtriser les risques liés aux cyberattaques dans un contexte de dépendance accrue au numérique</b>	La numérisation des systèmes électriques augmente leur exposition aux menaces cyber et crée de nouvelles dépendances intersectorielles.	CT – MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de mécanismes de détection d’intrusion collaboratifs et respectueux de la vie privée.</li> <li>• Sécurisation des IA utilisées dans les smart grids.</li> <li>• Protection des données personnelles et des infrastructures critiques.</li> </ul>
<b>Prévoir les effets des événements climatiques extrêmes et adapter le réseau et ses composants</b>	Le changement climatique accentue les stress sur le réseau (vagues de chaleur, inondations, tempêtes...). Les infrastructures doivent être adaptées pour assurer la continuité de service et limiter les dommages.	MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de modèles couplés socio-économiques et climatiques.</li> <li>• Outils d’évaluation des risques physiques et économiques.</li> <li>• Mise au point de solutions de résilience passive : nouveaux matériaux, conception réseau adaptée, maintenance prédictive et usage de drones pour l’inspection rapide.</li> </ul>
<b>Mieux gérer les événements de grande ampleur</b>	Les crises majeures nécessitent des capacités renforcées de détection des défauts, d’isolation des éléments défaillants et de reprise post-incident.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la coordination inter-opérateurs et gestion des interdépendances avec les réseaux télécoms.</li> <li>• Développement d’outils de diagnostic et de reconstruction rapides pour accélérer le redémarrage du réseau.</li> <li>• Développement de microgrids autonomes avec capacités de grid-forming et stockage.</li> <li>• Intégration de la mobilité électrique (V2G) dans la stratégie de continuité de service.</li> </ul>

## AXE 4. EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<b>Limiter le bilan carbone et minimiser la consommation de matière</b>	La conception actuelle des équipements et matériaux du réseau génère une forte empreinte environnementale et une dépendance aux ressources critiques. Comprendre et réduire les dépendances européennes aux matières critiques, aux coûts croissants et à l'empreinte carbone élevée est un enjeu majeur.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Favoriser la conception frugale, le réemploi, le recyclage local et l'éco-conception dès le design.</li> <li>Soutenir la fabrication française.</li> <li>Anticiper les augmentations de coûts et tensions d'approvisionnement.</li> <li>Rechercher des alternatives au SF<sub>6</sub>, améliorer la sobriété énergétique et réduire les pertes réseau.</li> <li>Analyser le cycle de vie des matériaux (béton, cuivre, etc.), intégrer le bois, la préfabrication, une flotte de véhicules propres et la suppression des plastiques à usage unique.</li> <li>Optimiser le foncier.</li> </ul>
<b>Intégrer la biodiversité et limiter l'artificialisation</b>	L'impact écologique des réseaux sur la biodiversité est insuffisamment quantifié et maîtrisé. Les infrastructures doivent réduire leur artificialisation et mieux s'intégrer aux écosystèmes pour renforcer leur résilience.	CT – MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recherches sur l'impact en mer (bruit, champs électromagnétiques, espèces invasives).</li> <li>Alternatives au gyrobroyage (sécurité + biodiversité). Réduction des impacts sur l'avifaune.</li> <li>Lutte contre l'artificialisation.</li> <li>Développement de solutions fondées sur la nature pour l'intégration paysagère, la résilience et le stockage carbone.</li> <li>Coopérations locales pour restaurer les continuités écologiques.</li> <li>Collaborations avec des programmes comme ITTECOP.</li> </ul>
<b>Développer des indicateurs environnementaux exploitables et pertinents</b>	Les données environnementales disponibles sont insuffisantes pour un pilotage stratégique et réglementaire. Il est nécessaire d'alimenter les décisions (achats, planification, etc.) par des informations fiables et partagées.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Structurer la collecte et les flux de données environnementales pertinentes.</li> <li>Intégrer ces données aux outils de planification territoriale (ex. Portail Collectivités ENEDIS).</li> </ul>
<b>Prendre en compte et anticiper les nouvelles obligations réglementaires</b>	Les infrastructures électriques doivent s'adapter à des exigences environnementales de plus en plus strictes. Les nouvelles obligations européennes (CSRD, CS3D) imposent de prendre en compte l'ensemble des impacts environnementaux (climat, biodiversité, pollution, ressources, etc.) dans les activités du secteur énergie.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégrer ces obligations dès la phase de conception des réseaux et équipements.</li> <li>Utiliser ces critères comme leviers d'innovation et de pilotage stratégique.</li> </ul>

## AXE 5. COMPOSANTS INNOVANTS

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Développer des solutions de stockage d'électricité</b></p>	<p>L'intermittence des productions renouvelables et l'évolution des besoins imposent le développement de solutions de stockage adaptées à différentes échelles temporelles : service réseau, stockage de moyenne/longue durée, et saisonnier.</p>	<p>CT – MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batteries Li-ion (LFP/G) : améliorer la durée de vie, les performances et la sécurité grâce à des BMS avancés et une meilleure gestion thermique.</li> <li>• Stockage moyen (&gt;6h)-long terme (&gt;12h) : améliorer les batteries Na-ion, redox-flow, seconde vie et les solutions V2G/V2H pour renforcer la flexibilité locale.</li> <li>• Stockage saisonnier : développer les filières hydrogène pour la gestion des intermittences, le transport et la valorisation (Power-to-X).</li> <li>• Technologies haute température (NaS, NaNiCl<sub>2</sub>, batteries de Carnot) : coupler stockage électrique et valorisation thermique.</li> <li>• Favoriser l'intégration bidirectionnelle des flux d'énergie et la sécurité/cybersécurité des systèmes de stockage.</li> </ul>
<p><b>Réduire l'empreinte environnementale des composants</b></p>	<p>Les composants innovants doivent réduire leur empreinte environnementale tout au long de leur cycle de vie, en lien avec les objectifs de l'Axe 4.</p>	<p>CT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des pertes énergétiques et amélioration du rendement global.</li> <li>• Diminution de l'usage de matériaux critiques.</li> <li>• Intégration d'approches d'écoconception, de recyclabilité et de fin de vie maîtrisée dès la conception.</li> </ul>
<p><b>Explorer les applications de la supraconductivité</b></p>	<p>Les matériaux supraconducteurs à haute température critique permettent de réduire les pertes et d'augmenter la capacité de transport sans modifier les infrastructures existantes.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étudier les câbles, limiteurs de courant et transformateurs supraconducteurs pour le renforcement des réseaux.</li> <li>• Tester les nouveaux matériaux haute température et leurs procédés de fabrication pour des applications urbaines et industrielles.</li> </ul>

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Innover dans le domaine de l'électronique de puissance</b></p>	<p>Élément central de la gestion des transferts d'énergie, l'électronique de puissance doit évoluer pour répondre aux besoins des réseaux multi-échelles, du stockage, de la mobilité électrique et des réseaux DC.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Améliorer les architectures et systèmes de conversion (rendement, densité de puissance, résilience).</li> <li>• Développer des architectures modulaires MMC (Modular Multilevel Converters) et des transformateurs électroniques SST (Solide State Transformers) pour interfaçage AC/DC.</li> <li>• Étudier les phénomènes de CEM (10 kHz–30 MHz) et leurs impacts sur la stabilité réseau.</li> <li>• Développer des outils d'optimisation basés sur l'IA pour accélérer la conception.</li> <li>• Introduire des semi-conducteurs grands gaps (GaN, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, diamant) et des composants passifs optimisés.</li> <li>• Mettre en œuvre des démarches d'écoconception et d'économie circulaire pour limiter la dépendance aux matériaux critiques.</li> <li>• Développer la surveillance et le diagnostic (analyse électrique/acoustique, jumeaux numériques).</li> </ul>
<p><b>Créer de nouveaux composants adaptés à l'évolution du système électrique</b></p>	<p>L'augmentation des puissances transitant dans le réseau, la nécessité émergente de gérer des risques liés à des tensions hautes, la diminution de l'inertie apportée auparavant par les machines tournantes et le développement de situations potentiellement pénalisantes pour la qualité de l'onde nécessitent de disposer de composants innovants.</p>	<p>CT – MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des convertisseurs à inertie synthétique.</li> <li>• Concevoir des capteurs et actionneurs intelligents pour la qualité de l'onde et la gestion de la tension.</li> <li>• Explorer des matériaux et composants à haute tenue diélectrique pour réseaux HVDC et offshore.</li> </ul>
<p><b>Composants pour réseaux à courant continu (DC)</b></p>	<p>Le développement des réseaux DC, des microgrids et de la conversion AC/DC requiert des composants et architectures spécifiques assurant performance, protection et stabilité.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étudier les architectures DC selon les niveaux de tension et les applications (bâtiments, îlots, interconnexions).</li> <li>• Développer des dispositifs de protection hybrides (mécaniques/électroniques).</li> <li>• Contribuer à la normalisation pour garantir l'interopérabilité.</li> <li>• Développer des méthodologies d'analyse de stabilité et d'identification des paramètres de conversion.</li> </ul>

## AXE 6. OPPORTUNITÉS DU DIGITAL

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<b>Assurer la gouvernance, la qualité et la souveraineté des données</b>	Les données deviennent un actif stratégique. Garantir leur qualité, leur intégrité, leur souveraineté et leur accessibilité est un enjeu central pour la gestion du système électrique et la confiance des acteurs.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en place des modèles de gouvernance et de partage des données respectant la vie privée et la confidentialité.</li> <li>• Développer des méthodes de gestion des accès aux données et d'anonymisation pour les données produites par les systèmes de comptage intelligent.</li> <li>• Construire des indicateurs de qualité et de traçabilité des données sur tout leur cycle de vie.</li> </ul>
<b>Favoriser l'interopérabilité et l'intégration multi-énergies</b>	Le système électrique devient de plus en plus interconnecté, mêlant de multiples acteurs, technologies et vecteurs énergétiques. L'interopérabilité des systèmes et des protocoles est une condition essentielle d'efficacité et de sécurité.	CT – MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer et promouvoir des normes ouvertes et des protocoles de communication interopérables. (Ex : Flex Ready®).</li> <li>• Concevoir des outils facilitant les interactions entre acteurs (TSO, DSO, producteurs, consommateurs actifs).</li> <li>• Créer des interfaces machine-to-machine (M2M) sécurisées et universelles.</li> <li>• Promouvoir le développement de data spaces et plateformes d'échange de données sécurisées garantissant interopérabilité et souveraineté.</li> <li>• Favoriser la convergence numérique entre les systèmes électriques, thermiques et de mobilité.</li> </ul>
<b>Développer les télécommunications et les innovations réseaux</b>	Les réseaux électriques s'appuient de plus en plus sur les télécommunications pour le pilotage en temps réel, la résilience et la cybersécurité. Les technologies 5G/6G, NB-IoT, LTE bas débit ou satellites à orbite basse offrent de nouvelles perspectives.	CT – MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expérimenter la 5G et la 6G pour les applications critiques du système électrique (commandes, synchronisation, reconfigurations rapides).</li> <li>• Développer la redondance et la continuité de service via des réseaux hybrides (fibre, cellulaire, satellite).</li> <li>• Déployer des protocoles de communication bas débit, sécurisés et adaptés aux environnements isolés.</li> <li>• Évaluer le potentiel des technologies émergentes pour la connectivité des réseaux et objets connectés (IoT, M2M).</li> </ul>

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Exploiter les données massives et l'IA pour valoriser l'information</b></p>	<p>Le traitement des données massives, combiné aux progrès de l'intelligence artificielle (y compris générative), ouvre la voie à une gestion plus efficace des systèmes électriques et à la création de nouveaux services.</p>	<p>CT – MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des solutions d'analyse avancée (Big Data, IA, IA générative) pour la gestion des systèmes électriques (gestion des actifs, exploitation et conduite des réseaux, relations avec les clients, etc.).</li> <li>• Explorer le potentiel de l'IA embarquée (Edge AI) pour des applications temps réel.</li> <li>• Élaborer des protocoles d'évaluation et de certification des solutions IA (gestion des risques de dérive dans le temps, explicabilité, transparence, frugalité).</li> <li>• Expérimenter l'usage de Quantum Computing et Quantum Machine Learning pour l'optimisation des systèmes électriques.</li> <li>• Développer des approches d'optimisation assistées par IA permettant de diminuer la charge de calcul tout en améliorant la qualité des décisions.</li> </ul>
<p><b>Renforcer la cybersécurité et la résilience numérique</b></p>	<p>La numérisation du système électrique accroît sa vulnérabilité face aux cyberattaques. Protéger les données, les équipements et les systèmes critiques est une condition de sécurité nationale et de confiance collective.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des technologies de détection et réponse en temps réel aux menaces.</li> <li>• Renforcer la cryptographie adaptée aux objets connectés et systèmes embarqués.</li> <li>• Améliorer la résilience des systèmes de pilotage (SCADA, EMS/DMS, etc.) intégrés dans les réseaux intelligents.</li> <li>• Élaborer des protocoles de cybersécurité spécifiques aux architectures décentralisées et aux jumeaux numériques.</li> </ul>
<p><b>Déployer des jumeaux numériques, la réalité augmentée et des interfaces immersives</b></p>	<p>Les outils immersifs et les jumeaux numériques associés transforment la gestion, la maintenance et la formation. Ils permettent de simuler le comportement des systèmes, d'améliorer la préparation aux crises et d'assister les opérateurs.</p>	<p>MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des environnements immersifs pour la formation et la maintenance (RA/RV).</li> <li>• Créer des interfaces ergonomiques intégrant l'expérience utilisateur et les contraintes du terrain.</li> <li>• Concevoir des salles de contrôle innovantes intégrant fusion de données, IA d'assistance et outils collaboratifs temps réel.</li> <li>• Développer des jumeaux numériques immersifs pour les sites isolés ou critiques.</li> <li>• Assurer l'interopérabilité des jumeaux numériques pour une vision « system of systems ».</li> </ul>

## AXE 7. USAGERS, TERRITOIRES, GOUVERNANCE

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIO- RITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Organiser les marchés et concevoir les tarifs de réseaux</b></p>	<p>Contribuer à la conception d'un market design et de tarifs de réseau efficaces, justes et incitatifs, en lien avec les évolutions réglementaires et technologiques.</p>	<p>MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étudier les impacts économiques et sociaux de différents modèles tarifaires (tarification dynamique, locale).</li> <li>• Proposer des cadres de gouvernance intégrant les principes d'équité, de transparence et de solidarité énergétique.</li> <li>• Expérimenter des dispositifs incitatifs locaux alignés avec les objectifs de flexibilité, sobriété et inclusion.</li> </ul>
<p><b>Encourager la sobriété, la flexibilité et accompagner les usagers</b></p>	<p>Favoriser des changements volontaires de comportement (sobriété, effacement, flexibilité), en tenant compte de la diversité des situations sociales, économiques et culturelles. Rendre les consommateurs acteurs des évolutions du système énergétique.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des méthodes interdisciplinaires pour mieux modéliser les habitudes de consommation et les leviers de changement (sciences humaines, sociologie de l'habitat, data science).</li> <li>• Créer des outils pédagogiques et d'accompagnement adaptés à différents profils d'usagers.</li> <li>• Tester de nouveaux modèles tarifaires (temps réel, signalé, communautaire) permettant une flexibilité accessible à tous. (cf dernier point).</li> </ul>
<p><b>Favoriser la co-construction territoriale et la gouvernance énergétique locale</b></p>	<p>Promouvoir de nouveaux modes de coordination entre gestionnaires de réseaux, collectivités, associations, acteurs économiques et citoyens.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renforcer les instances de coordination territoriale et les dispositifs de co-construction entre acteurs locaux.</li> <li>• Affiner les algorithmes d'optimisation intégrant le stockage et les critères d'équité.</li> <li>• Étudier les modèles de gouvernance participative (clé de répartition, gestion via PMO, animation territoriale).</li> <li>• Développer des indicateurs de performance énergétique, économique et sociale pour évaluer les bénéfices territoriaux.</li> </ul>

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Contribuer à la définition et à la mise en œuvre des politiques publiques</b></p>	<p>Fournir aux pouvoirs publics des données et outils pour contribuer à la conception, à l'évaluation et à l'ajustement des politiques énergétiques locales et nationales.</p> <p>Mieux comprendre les impacts des différentes options de planification sur les usagers et la sobriété y compris à la maille des différents territoires.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuer au développement de bases de données croisées (bâtimentaires, énergétiques, socio-économiques) pour éclairer la décision publique.</li> <li>• Participer à la construction des scénarios territoriaux intégrant l'évolution des usages, la flexibilité et la sobriété.</li> <li>• Produire des indicateurs de suivi de la précarité énergétique, de la flexibilité et des comportements d'usage.</li> <li>• Contribuer au développement des capacités d'analyse des collectivités locales via des outils d'aide à la décision et de simulation prospective.</li> </ul>
<p><b>Mieux gérer les événements de grande ampleur</b></p>	<p>Les crises majeures nécessitent des capacités renforcées de détection des défauts, d'isolation des éléments défaillants et de reprise post-incident.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la coordination inter-opérateurs et gestion des interdépendances avec les réseaux télécoms.</li> <li>• Développement d'outils de diagnostic et de reconstruction rapides pour accélérer le redémarrage du réseau.</li> <li>• Développement de microgrids autonomes avec capacités de grid-forming et stockage.</li> <li>• Intégration de la mobilité électrique (V2G) dans la stratégie de continuité de service.</li> </ul>
<p><b>Intégration sociotechnique et acceptabilité des réseaux</b></p>	<p>Intégrer dans les analyses la faisabilité socio-technique des nouveaux ouvrages de réseau et renforcer leur acceptabilité face aux préoccupations environnementales et sanitaires.</p> <p>Les citoyens, élus et associations doivent être associés à la conception et au suivi des projets.</p>	<p>CT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développer des programmes de recherche participative associant gestionnaires de réseaux, collectivités et acteurs locaux.</li> <li>• Étudier les impacts environnementaux (biodiversité, artificialisation, paysages) et proposer des solutions d'adaptation fondées sur la nature (SaFN).</li> <li>• Produire des indicateurs écologiques et méthodologies de valorisation des services environnementaux rendus par les réseaux.</li> <li>• Mettre à disposition des acteurs locaux les outils d'aide à la décision développés par la recherche (SIG, modélisations, indicateurs).</li> </ul>

## AXE 8. SOLUTIONS INNOVANTES POUR LES PAYS EN VOIE D'ÉLECTRIFICATION, EN RECONSTRUCTION ET ZNI

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<b>Établir des cadres économiques, politiques et institutionnels durables</b>	Les modèles d'investissement privilégient dans certains cas les CAPEX au détriment de la maintenance et de la pérennité financière. La cohérence entre les projets de bailleurs et les stratégies nationales d'électrification reste insuffisante.	MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de modèles économiques intégrant les coûts d'exploitation, de maintenance et d'infrastructure télécom.</li> <li>• Analyse des mécanismes de co-usages (industriels, serviciels, résidentiels) permettant d'assurer la viabilité financière des infrastructures.</li> <li>• Harmonisation entre projets des bailleurs et feuilles de route nationales d'électrification.</li> <li>• Études de gouvernance locale pour garantir la cohérence des politiques publiques et la pérennité des projets.</li> </ul>
<b>Renforcer la résilience climatique et l'adaptation environnementale</b>	Les ZNI et territoires tropicaux sont exposés à des conditions bioclimatiques extrêmes (températures élevées, humidité, ouragans, incendies) et à des risques d'interruption accrus. Le réchauffement climatique affecte la performance des moyens de production renouvelables (PV, éolien, hydraulique) et des infrastructures.	MT – LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractérisation et modélisation des risques climatiques propres à chaque zone géographique (fortes températures, radiation, hydrométrie, vents extrêmes).</li> <li>• Développement de modèles spécifiques de vieillissement et de résilience des composants réseau (pylônes, câbles, postes).</li> <li>• Études d'adaptation du dimensionnement et de la maintenance des infrastructures.</li> <li>• Expérimentation de solutions de secours décarbonées (batteries Li-ion, piles à combustible hydrogène) pour remplacer les groupes électrogènes fossiles.</li> </ul>
<b>Faciliter l'acceptabilité, les usages et l'appropriation sociotechnique</b>	Le succès des solutions techniques envisagées dépend de leur adaptation aux besoins, pratiques et attentes locales, souvent mal identifiés dans les projets financés par des bailleurs internationaux.	CT – MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation d'enquêtes sociologiques et de terrain pour adapter le dimensionnement et les usages des infrastructures.</li> <li>• Intégration de budgets dédiés à la collecte et au partage de retours d'expérience (REX).</li> <li>• Expérimentation de modèles pay-as-you-go pour le paiement de l'électricité et la responsabilisation des usagers.</li> <li>• Étude des conditions d'appropriation et de comportement des consommateurs (sobriété, adaptation aux productibles locaux).</li> </ul>

NATURE	DESCRIPTION / ENJEUX	PRIORITÉ	AXES / SOLUTIONS R&D
<p><b>Développer des microgrids durables, interopérables et accessibles</b></p>	<p>Les microgrids constituent un levier clé de la transition énergétique pour les territoires isolés, mais leur déploiement reste freiné par leur coût, leur complexité d'intégration et les difficultés de maintenance à long terme. Les enjeux concernent leur durabilité, leur interopérabilité, la qualité de l'électricité et l'appropriation locale.</p>	<p>CT – MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation technico-économique de l'évolution des microgrids décarbonés dans le temps (ajout progressif de charges, renouvellement des composants).</li> <li>• Intégration de critères de durabilité, réparabilité dans les cahiers des charges.</li> <li>• Développement d'outils numériques pour la maintenance et la gestion des incidents (applications mobiles, QR codes, reporting utilisateurs).</li> <li>• Standardisation des protocoles et formats de communication pour réduire les coûts d'ingénierie.</li> <li>• Standardisation des protocoles et formats de communication pour réduire les coûts d'ingénierie. Études sur l'impact des harmoniques sur la durée de vie des composants et la sécurité des installations.</li> <li>• Mise en place de modules de formation et documentation pour les exploitants locaux.</li> </ul>
<p><b>Gérer la tension, la protection du réseau et la qualité de l'onde</b></p>	<p>Le développement de moyens de production décentralisés et la substitution des machines tournantes par l'électronique de puissance imposent d'adapter le réglage de la puissance réactive. Les systèmes de protection actuels peuvent se révéler inadaptés aux systèmes avec forte pénétration EnR. L'évolution des systèmes électriques peut impacter la qualité de l'onde électrique.</p>	<p>CT – MT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de dispositifs innovants de compensation réactive.</li> <li>• Conception d'outils de pilotage innovants pour la régulation de tension dans les réseaux de distribution.</li> <li>• Mise au point de nouvelles architectures de protection et détection de défauts.</li> <li>• Études sur la compatibilité électromagnétique et la qualité du signal (harmoniques, distorsions).</li> <li>• Définition de standards pour limiter les perturbations harmoniques, notamment dans les microgrids.</li> </ul>
<p><b>Décarboner et stabiliser les systèmes électriques insulaires et isolés</b></p>	<p>Permettre aux systèmes insulaires et zones non interconnectées (ZNI) d'atteindre des trajectoires de décarbonation ambitieuses (jusqu'à 100 % dès 2030) dans un contexte de foisonnement limité, de faible inertie et de forte variabilité de la production renouvelable. Assurer la stabilité du système (fréquence, tension) avec un parc de production présentant un taux très élevé de production EnR.</p>	<p>CT – MT – LT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement de modèles prospectifs de transition « net zéro » intégrant contraintes locales et scénarios d'approvisionnement (biomasse, carburants de synthèse).</li> <li>• Outils de prévision météorologique haute résolution court terme pour anticiper les variations de production PV/éolien.</li> <li>• Développement de stratégies de contrôle grid-forming et grid-following adaptées aux petits réseaux.</li> <li>• Amélioration des infrastructures de communication entre centres de conduite et sites de production/consommation.</li> </ul>

# L'ASSOCIATION THINK SMARTGRIDS

L'association Think Smartgrids fédère un écosystème d'acteurs qui contribuent à la décarbonation des réseaux : les opérateurs de réseau RTE et Enedis, les principaux industriels et équipementiers français du secteur de l'énergie, de grandes entreprises de services numériques, de nombreuses PME, ETI et startups françaises à la pointe des technologies de l'énergie et du numérique, sans oublier le monde universitaire et de la recherche.

## MEMBRES ASSOCIÉS



## MEMBRES OBSERVATEURS



## MEMBRES PARTENAIRES



## Écoles, centres de recherches et laboratoires



Think Smartgrids – [contact@thinksmartgrids](mailto:contact@thinksmartgrids).  
[www.thinksmartgrids.fr](http://www.thinksmartgrids.fr)