

Conférence du Comité National Français

Les Besoins de Flexibilité

Modérateur : Gilles Lancel (RTE)

Vincent Hanneton (EDF SEI)

Titouan Chilou (Think SmartGrid)

Marion Perrin (EnergyPool)



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon

16 octobre 2025

Introduction par Gilles Lancel

Conférence du Comité National Français

Les défis de la mise en œuvre de la Transition Énergétique en sûreté dans les Zones Non Interconnectées

Vincent Hanneton – EDF Système Energétiques Insulaires

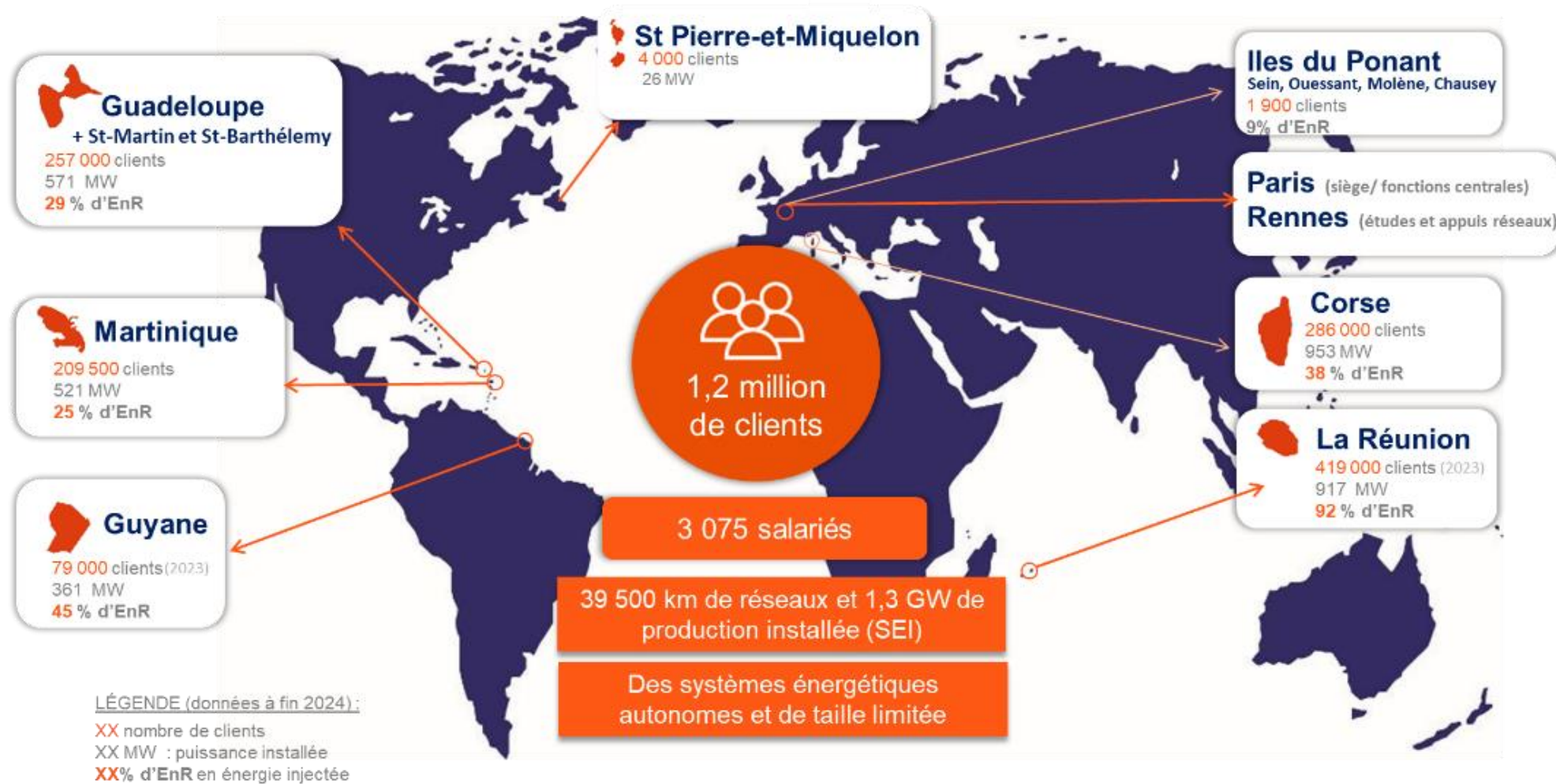


cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

EDF SEI en charge d'une gestion intégrée des Zones Non Interconnectées (ZNI) ...



... présent de « bout en bout » sur le processus PPE...

Dans un contexte de Transition énergétique spécifique aux Zones Non Interconnectées marqué par :

- Des besoins et filières de productions drivés par des gisements et technologies spécifiques
- Des profils et évolutions de consommation très différenciées selon les ZNI
- Des besoins de résilience induits par le contexte géographique et climatique des ZNI
- Un cadre réglementaire très spécifique
- Un prix du mix très élevé entre 300€-400€/MWh permettant de valoriser des leviers de Flexibilités



Schéma Directeur 2050

Evaluer les futurs possibles

Bilan Prévisionnel

Evaluer les besoins à 15 ans pour assurer l'équilibre Offre/Demande (EOD)



Accompagner les collectivités territoriales et l'État dans l'élaboration des PPE (une PPE / territoire)

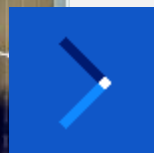
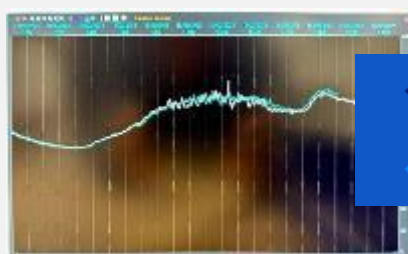


Produire les S2REnR

En lien avec les PPE
Criticité de la spatialisation



Réaliser et contractualiser les projets de raccordement, de renforcement réseau



Préparer en anticipation les actions de maîtrise de la sécurité et sûreté
Déployer les flexibilités



Assurer au quotidien la qualité de fourniture, la sollicitation des moyens de production dans le respect du *merit order* et de la relation contractuelle

... dont les ambitions de développement massif des EnR intermittentes impactent les systèmes électriques

ZNI	Puissance installée PV / éolien Existant + File d'attente	P installée PV / éolien Cible PPE (cadre révision S2RenR)	Consommation de Pointe à horizon PPE
Corse	339 MW	645 MW <small>(scénario haut)</small>	570 MW
Réunion	345 MW	895 MW	640 MW
Guadeloupe	254 MW	450 MW	260 MW
Martinique	172 MW	325 MW	225 MW
Guyane	123 MW	195 MW	180 MW

- Des niveaux de puissances installées **significativement supérieures aux consommations de pointe**
- Conduisant à des **taux de production instantanés des EnR intermittentes très importants**

Le développement des ENR intermittentes :

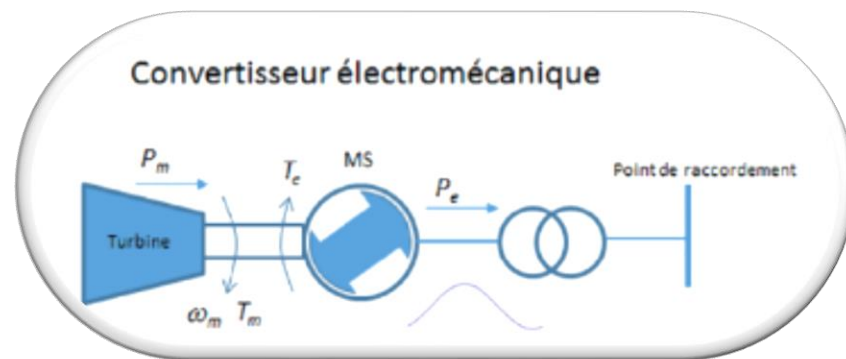
- est une **volonté conjointe de l'Etat et des collectivités locales**
- renforce l'utilisation des **ressources locales** (soleil et vent majoritairement)
- et résulte d'une logique économique** (coûts marginaux très faibles)

Mais nécessite de prendre en compte des aspects multidimensionnels pour :

- Faire **évoluer le réseau électrique** de chaque territoire
- Gérer le système électrique en toute sûreté
- en **mettant en œuvre des solutions innovantes**

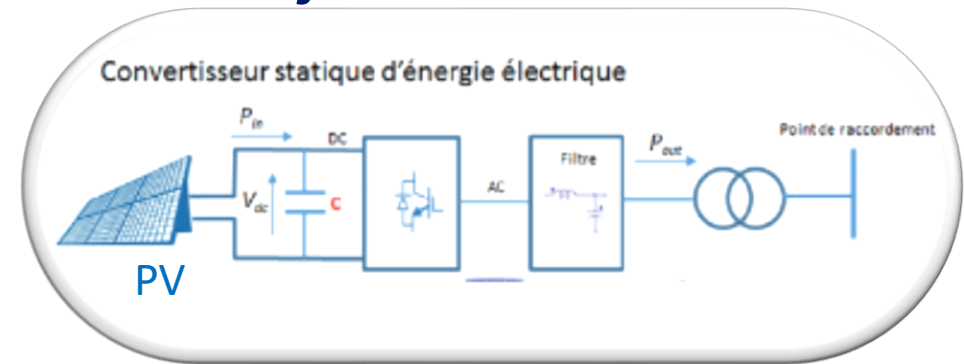
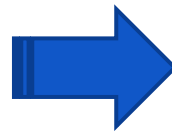
Dans des systèmes petits, fragiles, peu maillés

Conséquences du développement des EnR intermittentes sur les réseaux électriques et enjeux



Machines tournantes synchrones pilotables autour desquelles a été conçu historiquement le réseau

PPE



EnR intermittentes non-pilotables distribuées en HTA/BT, non-spatialisées et raccordées par des convertisseurs

Assurer la sécurité, sûreté et qualité d'approvisionnement du système électrique

- Satisfaire l'équilibre offre-demande et la stabilité du système électrique
- Maîtriser les contraintes sur le réseau (contraintes de flux et de tension) afin de garantir continuité et qualité d'alimentation
- Assurer le niveau de Puissance de court-circuit suffisant pour le fonctionnement des systèmes de protection (Sécurité)

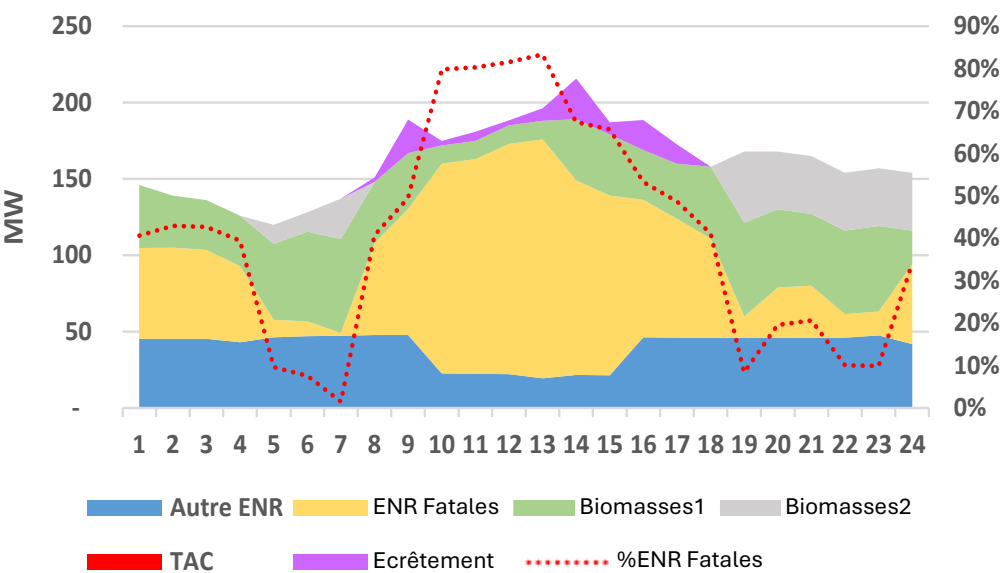
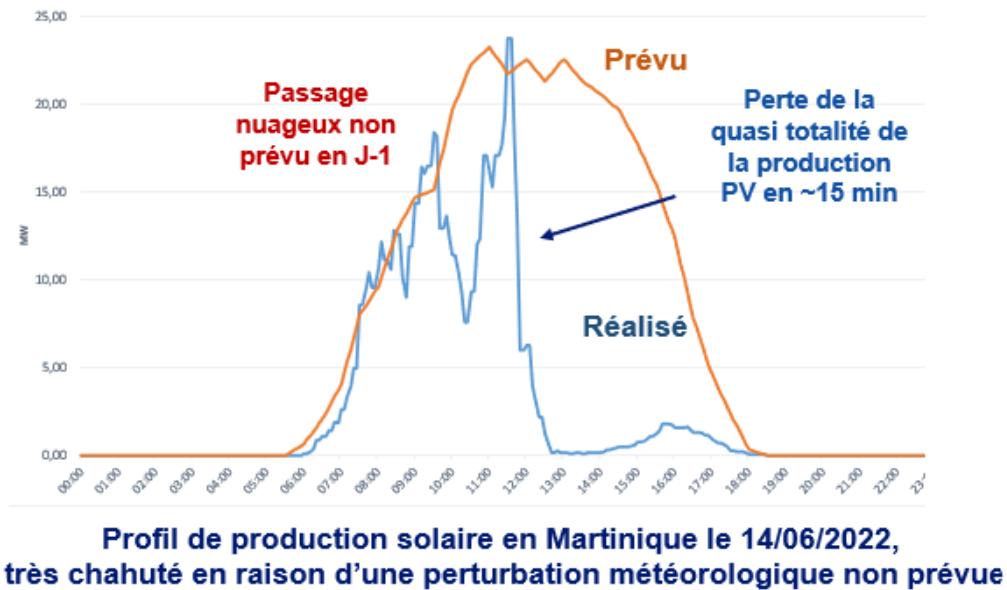
Intégrer les énergies renouvelables

- Augmenter la part des EnR intermittentes dans les mix de production
- Accélérer la mise en service des EnR pour répondre aux ambitions des PPE (Raccordement et Flexibilités Réseaux en cas de renforcements HTB à réaliser).

Limiter les coûts pour la Collectivité

- Diminuer les surcoûts de production
- Optimiser les investissements sur le réseau

Maitrise de l'Intermittence des EnR



Non maitrise de la fréquence et risques de délestage accrus avec les volumes d'EnR prévus dans les PPE



Mise en œuvre d'une **Réserve Secondaire** et d'un **réglage secondaire automatique de fréquence (RSFP)**

Nécessité de moyens thermiques flexibles: en capacité de suivre ces variations rapides par RSFP, d'arrêts/démarrages fréquents et disposant de Puissances minimales les plus faibles possibles

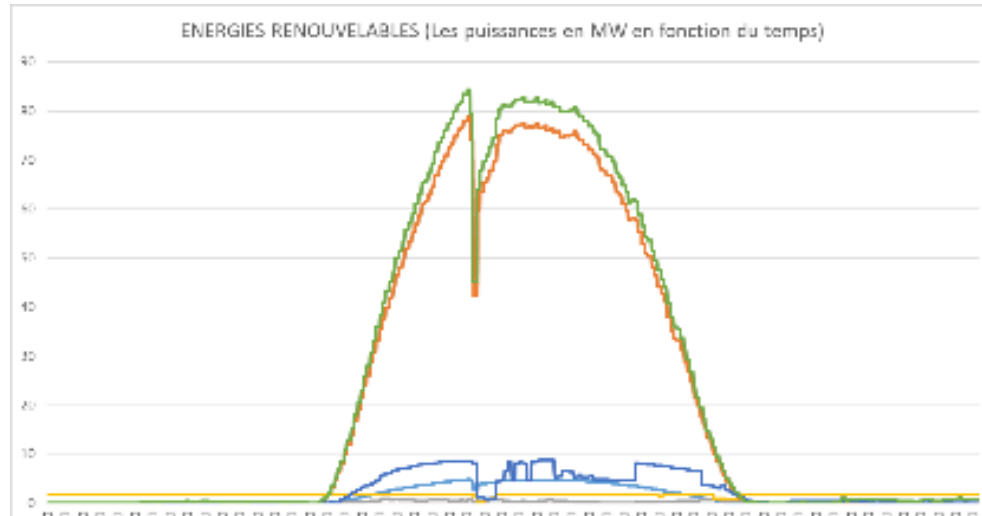
Nécessité de pouvoir limiter dynamiquement les EnR pour les besoins système et de manière localisée pour gérer de manière mutualisée les **contraintes réseau**

Déploiement de moyens de stockage (batteries/STEP) pour compléter et optimiser économiquement le service de Réserve Secondaire **de façon progressive selon la dynamique de mise en œuvre des PPE**

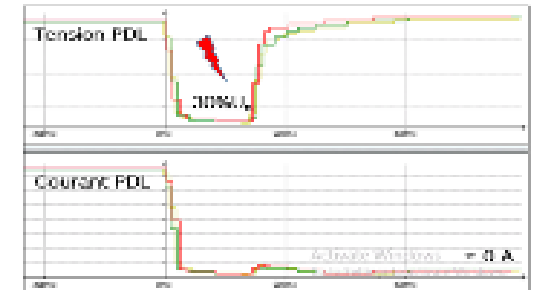
Mise en œuvre d'une **chaîne de téléconduite « de bout en bout » à l'Interface Producteurs/Stockeurs (projet IPS)**

Éviter un risque de déclenchement massif d'EnR sur creux de tension ou variations de tension/fréquence

- A la Réunion, en 2019, **40 MW de PV déconnectés** lors d'un court-circuit sur le réseau Haute Tension (HTB)



- Réalisation d'essais de tenue aux creux en Corse et Guadeloupe
Perte de ~100% des EnR ne tenant pas les prescriptions de performances

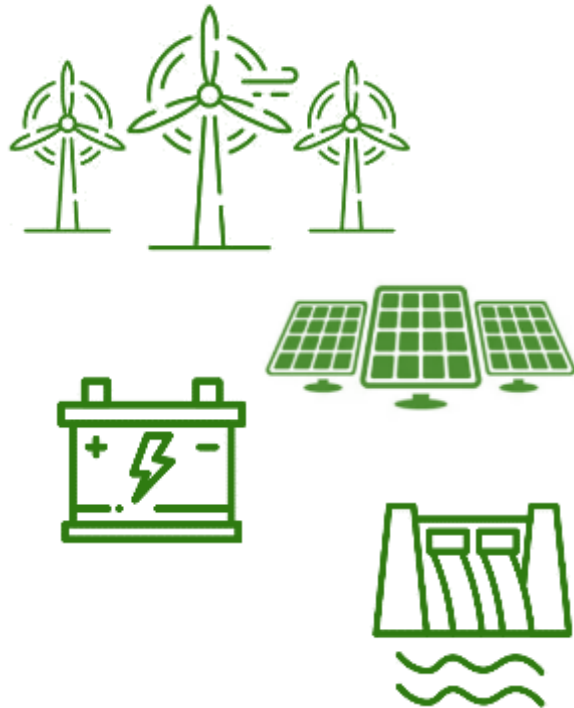


➤ Plan d'actions issu du REX

- Prise en compte d'une prudence en conduite en considérant systématiquement un **volume d'EnR non fiables**
- Nécessité d'assurer **le respect des prescriptions par le contrôle strict des performances des EnR** pour limiter ce volume
- Mise en oeuvre d'un **SI industriel de contrôle de performances et de moyens d'essais périodiques** à déployer dans les Territoires dans le cadre du **projet Interface Producteur Stockeur**

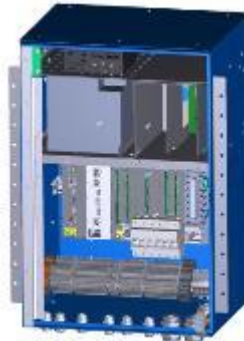
Le Programme « Interface Producteurs Stockeurs » au service de la transition énergétique

Producteurs et Stockeurs



eDER

Observabilité & commandabilité (~DEIE) +
Contrôle de Performances (e-monitoring)



Télécom et
Cyber au
standard
Groupe EDF

DETECT



Dispositif de tests de résistance aux creux de
tension des Producteurs et Stockeurs

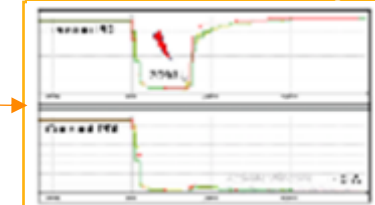
Domaine SI et métiers d'EDF SEI

Conduite et dispatching



Observation et
pilotage pour la
stabilité du
système
électrique

Contrôle des performances



Contrôles et
remise en
conformité des
Producteurs et
des Stockeurs

Supervision



Surveillance des
équipements et
de la continuité
des services IPS

Garantir la stabilité par l'inertie* et la réserve primaire

- **Mise en œuvre effective des critères d'Inertie et Réserve Primaire (en J-1) dans tous les dispatchings**
 - Une réserve primaire à délivrer en 2 secondes dans les ZNI (vs 15 à 30 secondes sur le continent) **pour éviter tout délestage sur N-1**
 - Un **volume d'inertie à garantir** à chaque instant pour **éviter le black-out sur perte de site**
 - Se traduisant actuellement par l'imposition des **moyens conventionnels à Puissance Minimale** induisant:
 - *des surcoûts de gestion du système très importants limitant l'atteinte de l'objectif à tout N-1*
 - *des écrêtements EnR*
 - *une accélération du vieillissement & actions de maintenance*



CS Guadeloupe- MSI 2025

- **Mise en place de « couteaux suisses » pour garantir la stabilité du système tout en décarbonant le mix et optimisant les coûts de gestion**

Services assurés	Compensateurs Synchrones	Stockage Batteries	Stockage STEP
Inertie	✓	~	✓
Réglage/tenue tension	✓	✓	✓
Puissance de court-circuit	✓	~	✓
Réserve primaire		✓	Trop lent dans le contexte SEI ✓
Réserve Secondaire		✓	✓
Report de charge		✓	✓

**Inertie sur le réseau : ralentit la vitesse de chute en fréquence pour donner le temps à la réserve primaire d'être délivrée, et ainsi éviter le black-out*

~ **Les batteries exploitées en mode Grid Forming** (source de tension) pourront apporter à terme des services d'inertie, de Puissance de court-circuit et de black-start – Solution mise en œuvre dans les microsystèmes de SEI, mais pas encore jugée suffisamment mature pour les grands systèmes.



Maîtriser la compensation du réactif et les tensions hautes

Illustration de la situation en Corse avec l'augmentation annuelle du réactif refoulé et des tensions hautes induisant une dégradation de la qualité de fourniture, un vieillissement des matériels et des risques sûreté

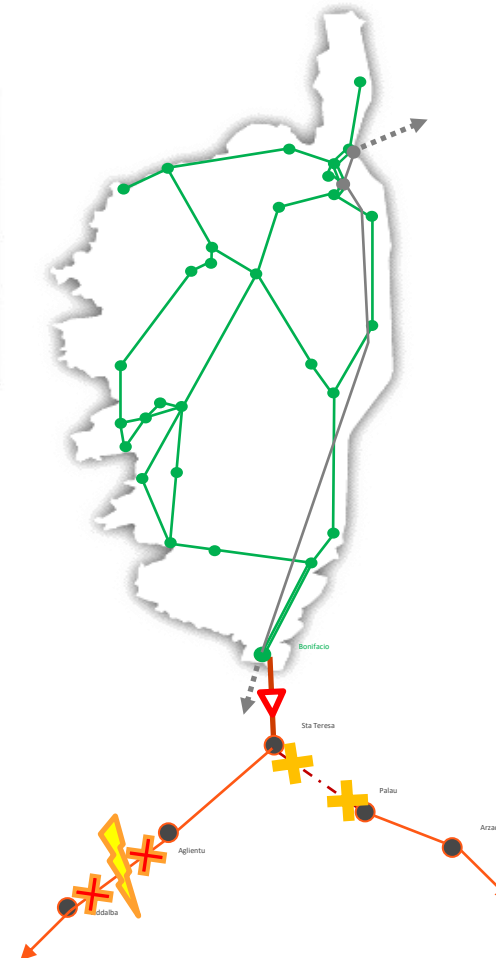
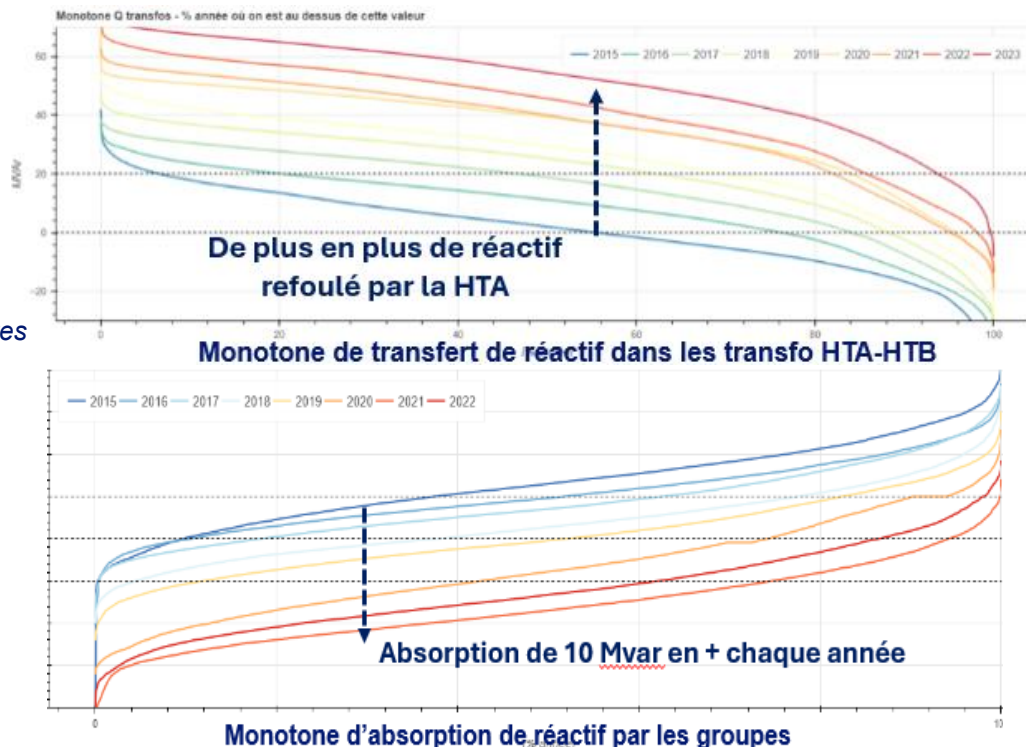
REX du déclenchement de la liaison SARDAIGNE-CORSE du 14 décembre 2023

Causes

Enfouissement des réseaux
Insertion massives EnR

- Raccordement par câbles
- Capacité réglage U/Q limitée
- EnR distribuées induisant une baisse des transits et des pertes réactives

Charges de moins en moins inductives



Etat initial

Import de puissance active
Export de puissance réactive
Groupes en forte absorption de réactif

Déroulé incident

- Perte liaison Sardaigne-Corse
→ Cumul perte import de puissance active & perte de capacité d'export réactif
→ Délestage Df/dt 20% consommation
→ Déclenchement SARCO par UMAX
→ Groupes hydrauliques du Rizzanese compensant le réactif aux limites
→ Black-Out si déclenchement par protection interne (cascade)
- Ubonifacio ~100kV
- Ouverture liaison HTB pour ramener la tension à un niveau acceptable
- Démarrage réserve tertiaire pour reletage et assurer les marges
→ Fin incident

Plan d'action de maîtrise des risques Sûreté

- Consigne de **réserve en réactif** pour assurer la sûreté système
- **Levier de conduite** : ouverture de liaisons HTB et imposition groupes pour marges en réactif
- **Contractualisation d'un TanPhi < 0** pour les producteurs HTA non-délestables
- **Investissement immédiat de 50 Mvar de selfs HTB aidé par 2 Compensateurs Synchrones**
- **Politique de compensation systématique du réactif des nouveaux câbles par Selfs ou CS**

Un benchmark d'autres réseaux insulaires confortant la stratégie de SEI

- ❑ **Madère, Açores, Hawaii, Iles Féroé : des contextes très différents, mais un même objectif de décarbonation**
 - 100% misent sur les batteries pour les services système, et 3 sur 4 en mode Grid Forming (Source de Tension) pour apporter de l'inertie, de la Puissance de courant de court-circuit et des capacités de black-start
 - 50% mettent en place des compensateurs synchrones
- ❑ **Des leviers cohérents avec ceux identifiés et mis en œuvre par SEI**
- ❑ **Un volume de groupes pilotables conséquent maintenus pour leur fonction assurantielle**

Systèmes	Madère	Açores	Iles Féroé	Hawaï-Kawaï
Pointe de consommation	140 MW	50 MW	70 MW	75 MW
Parc Thermique Pilotable	> 200 MW	> 95 MW	> 100 MW	> 100 MW
Puissance installée EnR (PV, éolien, hydraulique, géothermie ...)	45 %	45 %	50 %	> 50 %
Leviers	Réserve secondaire sur thermique, hydraulique et éolien (limitation dynamique) Batteries en Grid Forming Compensateur Synchrone	Batterie de 20 MW/1h en grid Forming (1/3 consommation)	Batteries Compensateur Synchrone	Réserve Secondaire Batteries : 4x15 MW/5h en Grid Forming

- **Les ZNI en précurseurs du contexte continental** du fait du développement massif des EnR intermittentes dans des systèmes isolés, fragiles et peu maillés,
- En avance de phase par nécessité dans le déploiement de **solutions innovantes pour garantir l'équilibre, la sûreté des systèmes électriques et la continuité de fourniture d'électricité**, mais également pour **l'optimisation économique** du mix pour la Collectivité et de manière cohérente avec les solutions développées par d'autres DSO insulaires.
- Ces solutions innovantes consistent en 3 types de flexibilités notamment:
 - **Flexibilités Amont** : Stockage, Compensation Synchrone, Réserves automatiques, écrêtement des EnR avec en parallèle l'industrialisation du contrôle de performance des producteurs et stockeurs
 - **Flexibilités Aval** : Heures Creuses Solaires, Pilotage du Véhicule Electrique, Limitation Temporaire de Puissance
 - **Flexibilités Réseau** : Ecrêtement ciblé des EnR et stockage



Merci

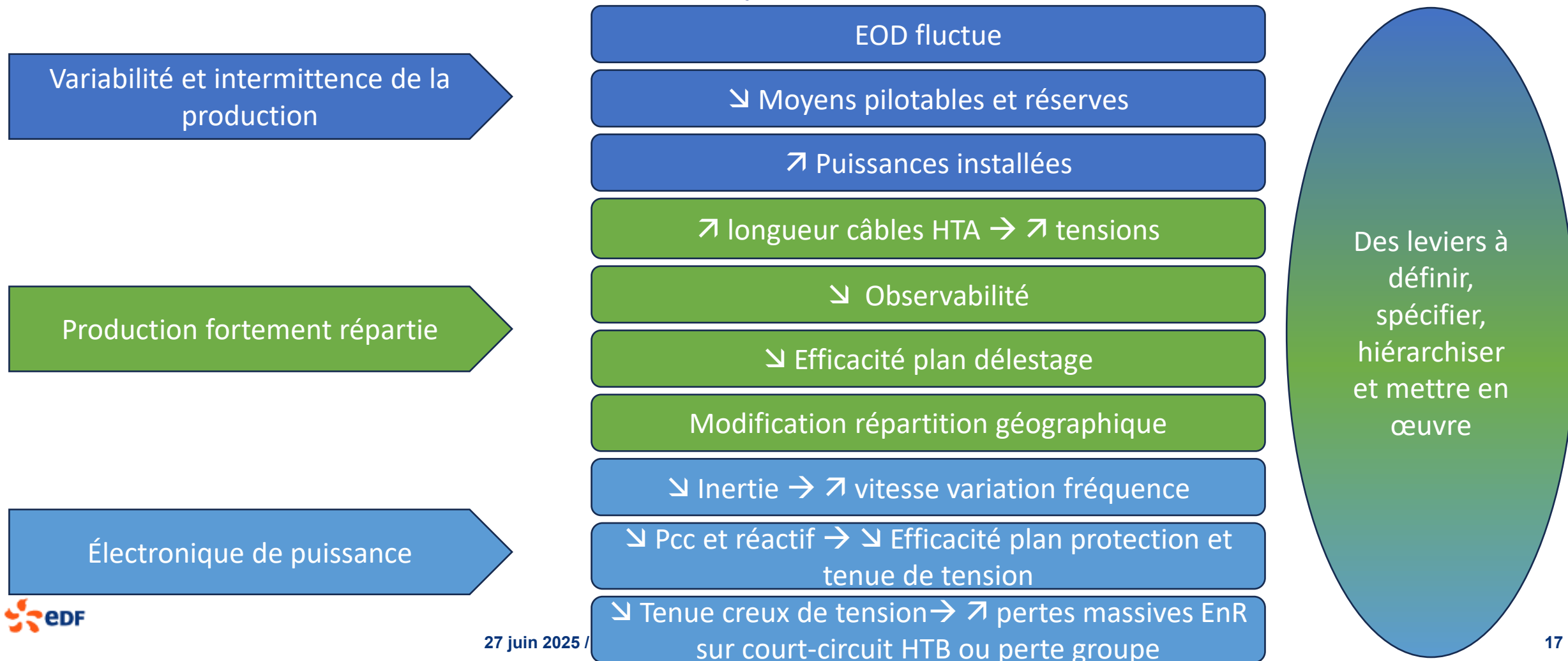


ANNEXES



La TE : un changement de paradigme pour les systèmes des zones insulaires

- **Des petits systèmes isolés, fragiles et peu maillés** : une plus grande interdépendance entre le système et le comportement des productions.
- **Les EnR développées ont des caractéristiques différentes** qui entraînent des comportements différents et nécessitent de fortes adaptations du système électrique.



Les conséquences du développement des EnR intermittentes sur les réseaux électriques

CONSEQUENCES

Forte augmentation des demandes de raccordement producteurs (x10 en 4 ans)

Saturation des Postes Sources

Saturation des liaisons HTB

De plus en plus de câbles liés au raccordement et enfouissement, baisse des transits issus de la HTB et évolution de la nature des consommations

Des contraintes EOD/Système et contraintes réseaux interdépendantes dans les ZNI

ENJEUX RESEAUX

Capacité à faire et risques sur les délais des travaux de raccordement

Nécessité d'investissements importants dans les **Postes Sources** (extensions, transformation, ...)

Investissements lourds et délais de réalisation > 10 ans nécessitant des solutions transitoires (**flexibilités réseau**) pour ne pas ralentir la TE

Nécessité de maîtriser le **réactif et tensions hautes** vs Qualité de Fourniture, voire risques Système

Nécessité de faire évoluer les **méthodologies et outils d'études à tous les horizons de temps**

Et les impacts majeurs sur les systèmes électriques à prendre en compte via des leviers innovants

CONSEQUENCES

Plus d'EnR intermittentes

Non-tenue des EnR fatales sur creux de tension (variation de fréquence et tension)

Des EnR distribuées et raccordées en HTA/BT par des câbles de grandes longueurs en HTA

Moins de moyens pilotables et de réserves

Moins de machines tournantes synchrones

Baisse de la puissance de courant de court-circuit et capacité de puissance réactive

ENJEUX SYSTEMES

Un **équilibre production/consommation** et donc **une fréquence beaucoup plus volatile**

Risques de **déclenchement massif de production EnR** sur court-circuit HTB ou perte de production

Dégradation de l'efficacité des **plans de délestage**
Risques sécurité du fait des sources en BT
Accroissement des **contraintes de tensions hautes**

Dégradation maintien de fréquence, **augmentation risques délestage et blackout**

Moins d'inertie, plus d'instabilité sur perte de groupe

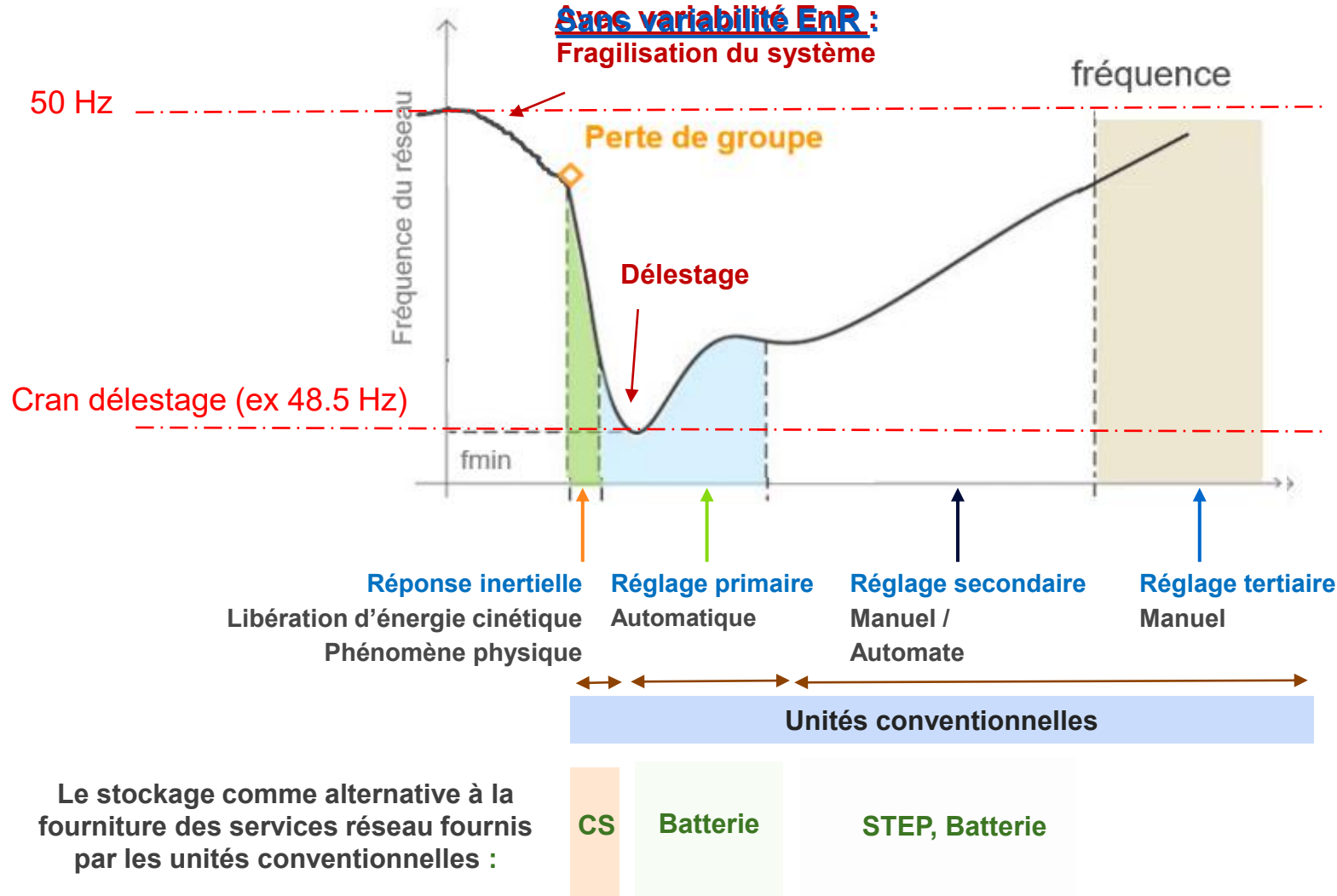
Dégradation de l'efficacité des plans de protections (sécurité) et de la **tenue de tension** (Qualité de Fourniture)

FOCUS « MAITRISE DE LA VOLATILITE DES ENR FATALES ET RESERVE LENTE »

Rappel sur les mécanismes de réglage de fréquence

La variabilité fragilise le Système

MESSAGES



1. Risque d'activation intempestive du **délestage**
2. Quelle solution sans levier ?
→ **Ecrêtement préventif des EnR**
3. Leviers à développer pour éviter cela :
→ Etablissement d'une **réserve spécifique (RL)** pour compenser la variabilité des EnR
→ Développement du **stockage** pour y répondre
→ Mise en place d'un mécanisme pour **activer automatiquement** cette réserve et limiter l'utilisation de la RR

Panorama des leviers aux différents horizons de temps

Flexibilités structurelles
pour répondre à des variations
cycliques et prévisibles

Flexibilités dynamiques
pour répondre à des variations
ou des contraintes plus
difficiles à prévoir

Equilibrage
pour maintenir l'EOD
en temps réel

Sauvegarde
pour faire face à des
situations exceptionnelles

Production



Optimisation des
plannings d'arrêt

Pilotage des moyens de production
Pmin les plus basses possible

Réponse inertielle

Réserves primaire et tertiaire

Réserve secondaire (AGC)

Limitation des EnR variables pour contraintes Système/EOD

Black-start et Renvoi de
Tension



Stockage

STEP

Batteries stationnaires

Batteries stationnaires en grid forming

Compensateurs synchrones

Pilotage des VE (V2G)

Structure horo-saisonnière des
TRV (HP/HC) et HCS pour piloter
les usages (y.c. les VE)

TRV avec option dynamique
(type TEMPO / EJP)

Effacements avec GE existants

Effacements contractuels verts

Pilotage des VE dynamique (V1G)

Météo de l'électricité

Coupure tournante

Délestage à dérivée de fréquence
innovant

Rescuf

Délestage fréquence métrique
contractualisé

Limitation Temporaire de
Puissance des CN

Demande

Evolution des méthodes et outils d'études couplant les études Système/EOD/Réseau en intégral le stockage

Optimisation des plannings d'indisponibilité réseau

IST/IT

Opportunité Stockage (attente renforcement)

Offres de Raccordement Alternatives



Limitation localisée des EnR variables pour contraintes Réseaux

Automates de surcharge

Réseau

Panorama des innovations technologiques au service de la sûreté des systèmes électriques insulaires et de l'insertion des EnR

- Des outils, méthodologies en constante évolution pour intégrer de manière agile les nouveaux besoins dans des systèmes isolés et fragiles
- Un projet de R&D visant à mettre à disposition des outils permettant d'optimiser l'ensemble des besoins EOD/Système et réseaux pour caractériser les contraintes et valoriser technico-économiquement les solutions.

➤ **Automate de délestage à dérivée de fréquence**
plus réactif sur incident majeur pour une réponse adaptée à la vitesse de variation de fréquence
#ZNI observer la vitesse de chute de fréquence, délester + rapidement pour éviter le black-out

➤ **« POPEI et OASYS »** moteurs de calcul intégrant les enjeux court et long-termes pour un appel optimisé des moyens de production

➤ **BATTERIES multi-services** pour adapter le service rendu en fonction de l'évolution de la TE dans le temps

➤ **« RESCU-F » (1^{ère} mondiale)** automate baissant instantanément la tension HTB de 5% sur forte baisse de fréquence en jouant sur les consignes de tension des groupes pilotables (baisser la consommation et aider l'EOD)
#ZNI jouer sur la tension pour assurer l'EOD

➤ **Interface Producteurs/Stockeurs, DETECT** adapter les exigences de performance des EnR, nvle réglementation pour assurer la TE en sûreté

➤ **COMPENSATEURS SYNCHRONES**, les services naturels des alternateurs sans production thermique, pour apporter de l'inertie, la PCC et la capacité de réglage de tension

Conférence du Comité National Français

La flexibilité de la demande et ses gisements

Titouan Chilou (Think SmartGrid)



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

Introduction à Think Smartgrids :

Rassemble et promeut la filière smartgrids française :



Xavier Piechaczyk,
président Think Smartgrids,
président RTE

Membres observateurs

Membres associés

Membres partenaires

Clusters, autorités locales

Universités, écoles et centres de recherche

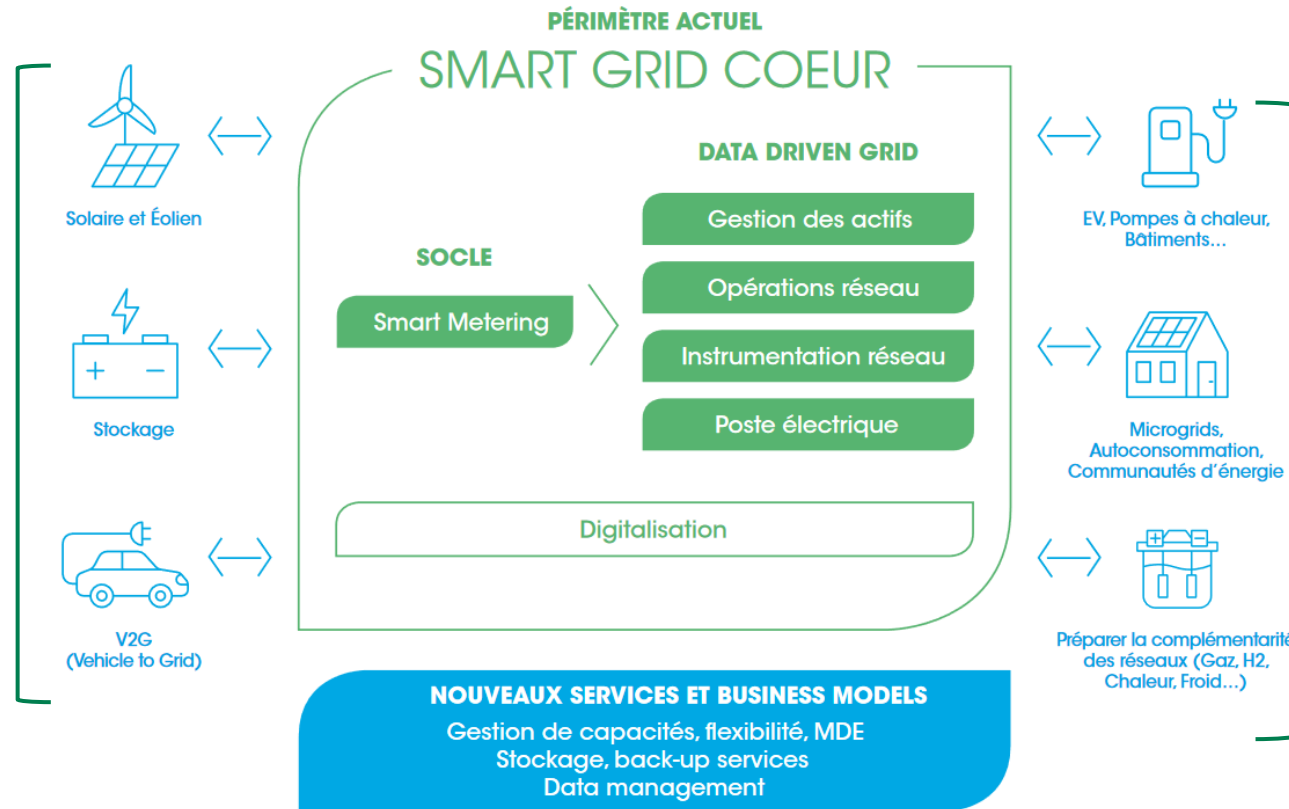
Partenaires internationaux

Les thèmes de travail : De la production décentralisée jusqu'aux usages électriques

Des compteurs et capteurs intelligents aux sous-stations intelligentes et aux centrales électriques virtuelles, les réseaux intelligents consistent en l'intégration de solutions numériques au sein du réseau électrique afin de le rendre plus flexible, plus évolutif et plus efficace.

Amont réseau

Aval réseau



Think Smartgrids a pour vocation de représenter et de développer la filière française des Smart Grids, **dans et avec les territoires français** et internationaux, **au bénéfice du consommateur, de l'attractivité du territoire et de la transition écologique.**

L'association porte la voix de la filière auprès des parties-prenantes, contribue au passage à l'échelle et à la mise en œuvre des solutions de la filière et de ses membres. **Think Smartgrids valorise les bénéfices de ces solutions** qui contribuent à la sobriété, à la sécurité d'approvisionnement et à la compétitivité du système électrique.

Think Smartgrids éclaire également la filière sur les solutions à expérimenter pour demain.

Une transition énergétique facilitée notamment grâce au passage à l'échelle de la flexibilité de la consommation

le Volet international :

1. Europe , Lobbying Commission Européenne



- Réponses sur des thèmes spécifiques : ACER, échange avec la Commission Européenne
- En amont des projets : agir sur le contenu et feuilles de route des futurs AAP
- En aval : recenser les AAP en cours, et étudier la pertinence de répondre

2. Partenariats



- Amélioration des cahiers des charges de l'AFD – introduction de critères de « mieux-disance » lors des AO lancés par l'AFD sur des grands projets d'électrification en Afrique
- Etude sur l'utilisation des innovations digitales et de l'IA chez les acteurs de l'Energie (utilities) en Afrique. Rapport + base de données.
- MoU signé avec Singapour, Collaboration avec Electricité du Viet-Nam, mission pour la CFACI, Webinaire BF

3. Présence physique / salons



- CIGRE – Paris, aout 2024
- ENLIT – Bilbao, novembre 2025
- ENERGAÏA – Montpellier, décembre 2025



SYNTHESE : TRAVAILLER DANS ET AVEC LES TERRITOIRES, AU BÉNÉFICE DU CONSOMMATEUR, DE L'ATTRACTIVITÉ DU TERRITOIRE ET DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

<https://www.thinksmartgrids.fr/actualites/un-guide-pour-accelerer-le-deploiement-des-smart-grids-dans-les-territoires>

Atouts

- Les technologies existent
- Les acteurs français sont présents sur la chaîne de valeur
- Les règles et lois évoluent dans le bon sens
- Le régulateur accompagne aussi les évolutions

Défis

- Acceptabilité & pédagogie
- Compétences
- Analyse des coûts et des bénéfices
- Pérennité des projets
- Mutualisation d'infrastructures
- Collecte et traitement des données

Les cas d'usages prioritaires

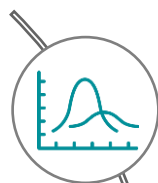
- Flexibilités
- Autoconsommation collective
- Pilotage de la recharge des VE





Contexte et enjeux liés
aux flexibilités de
consommation

Un baromètre structuré autour de quatre axes principaux



Les besoins et effets attendus des flexibilités de la consommation d'électricité



Les prérequis techniques à la flexibilité de la consommation électrique



Les prérequis économiques à la flexibilité de consommation électrique



Les fiches sectorielles

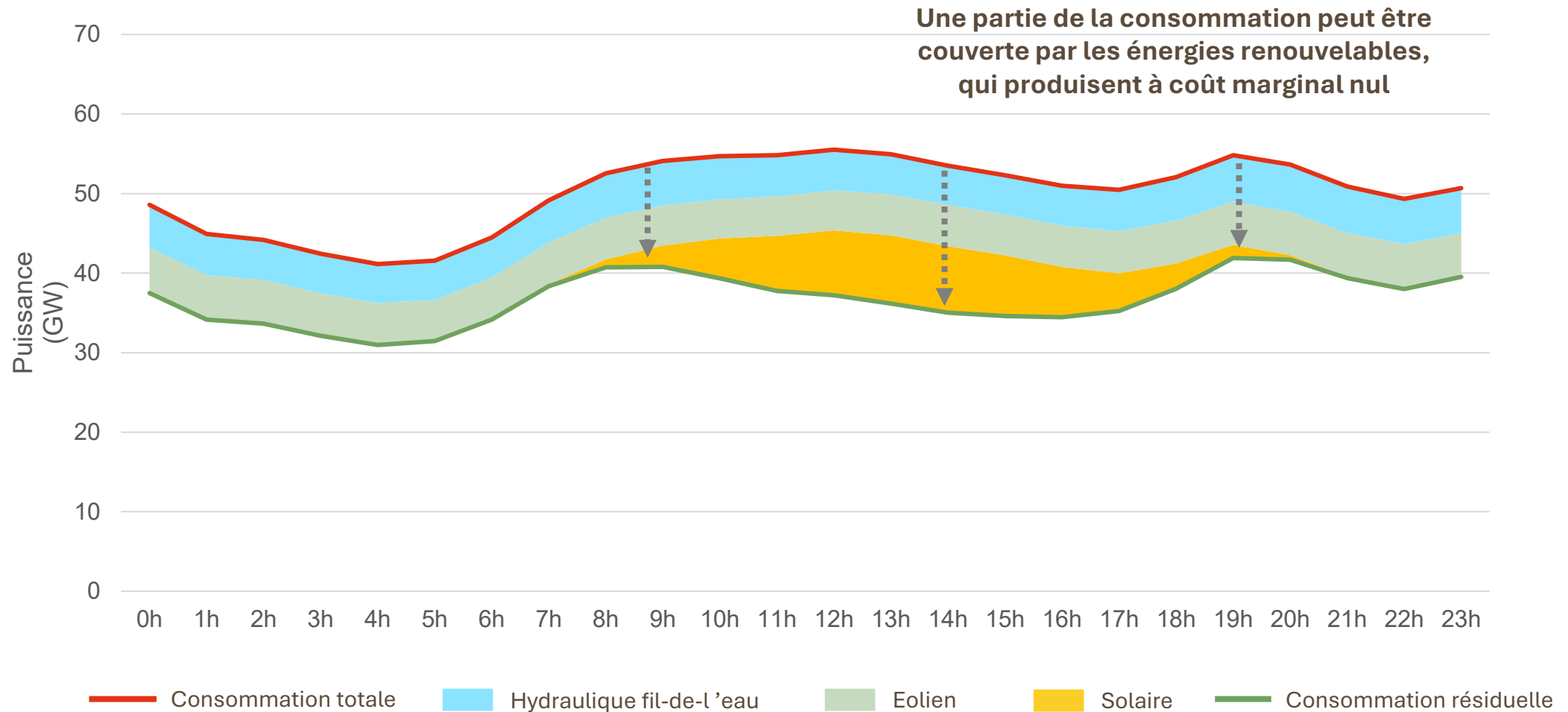
En ligne sur les sites des partenaires :





Les bons moments de la journée, pour profiter d'une électricité moins chère à produire : la nuit et le milieu de journée

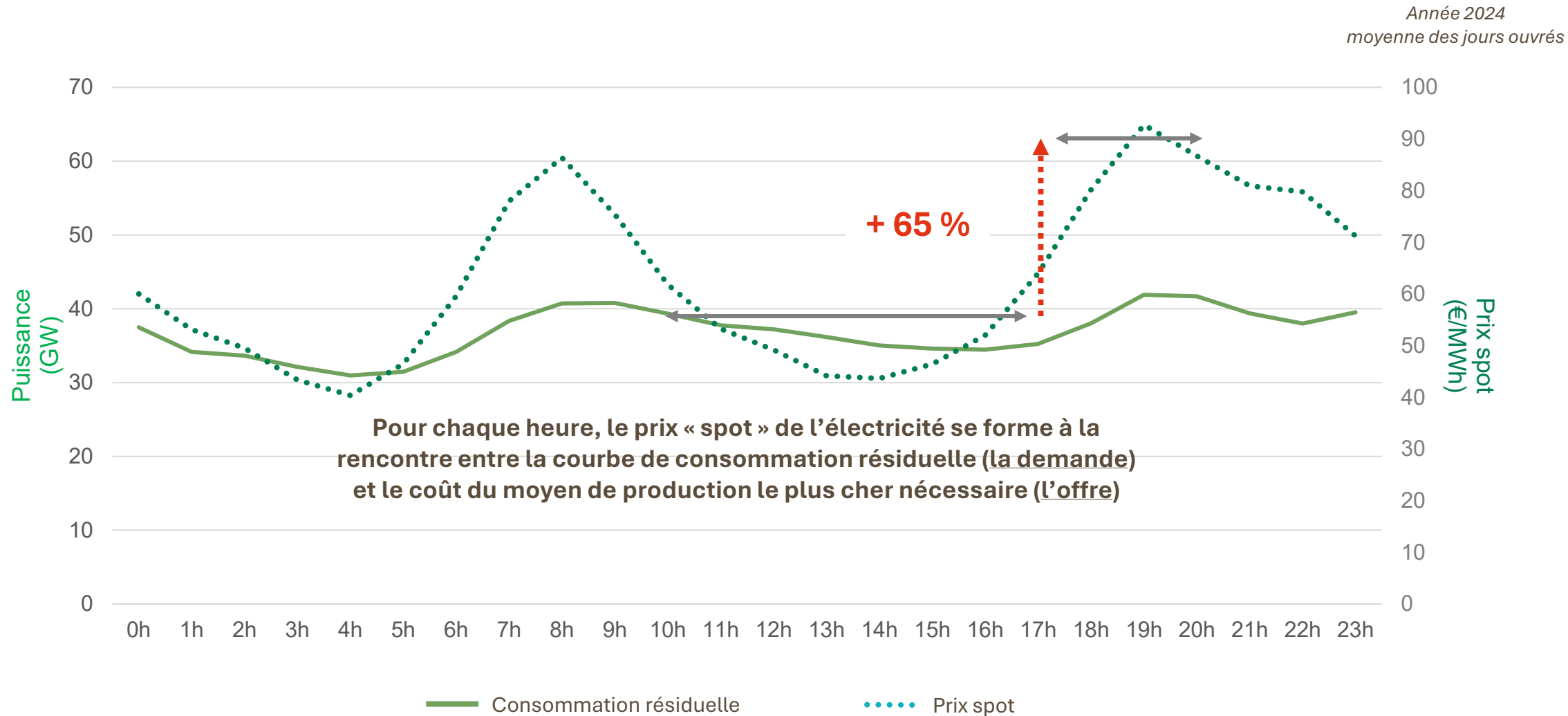
Année 2024
moyenne des jours ouvrés



Source : RTE, Baromètre des flexibilités de consommation d'électricité, 2024



Les bons moments de la journée, pour profiter d'une électricité moins chère à produire : la nuit et le milieu de journée

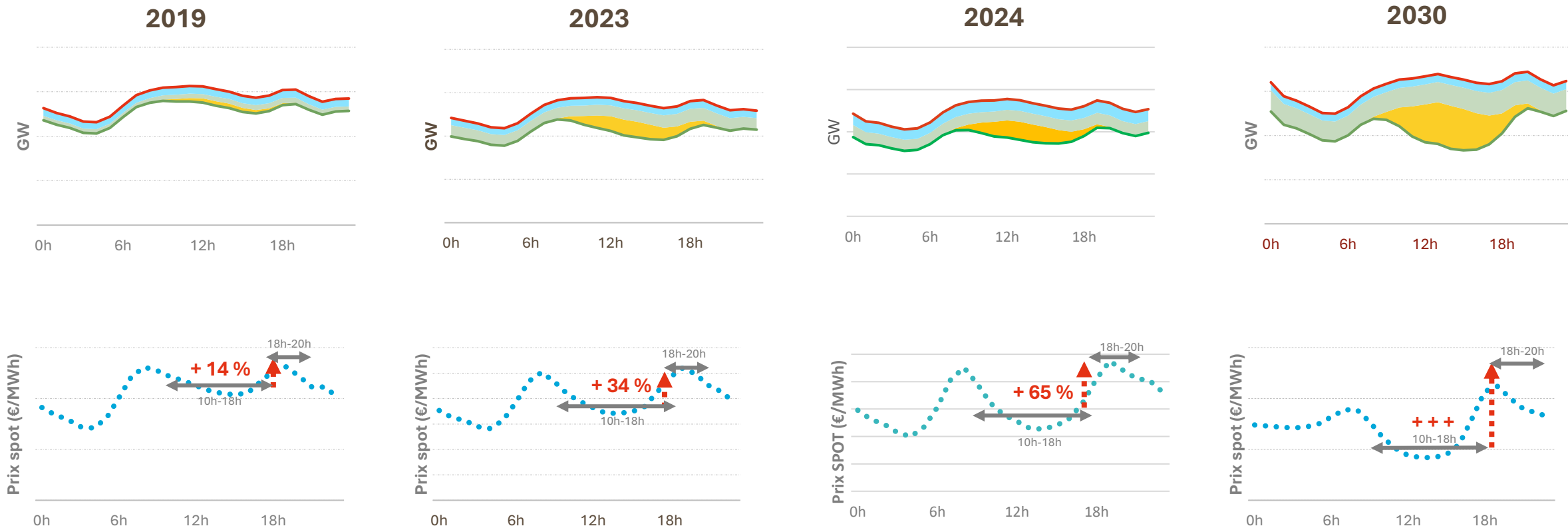


Source : RTE, Baromètre des flexibilités de consommation d'électricité, 2024



Opportunité des
flexibilités de la
consommation

L'opportunité de moduler sa consommation est croissante et durable



Source : RTE, Baromètre des flexibilités de consommation d'électricité, 2024



Contexte et enjeux liés
aux flexibilités de
consommation
.....

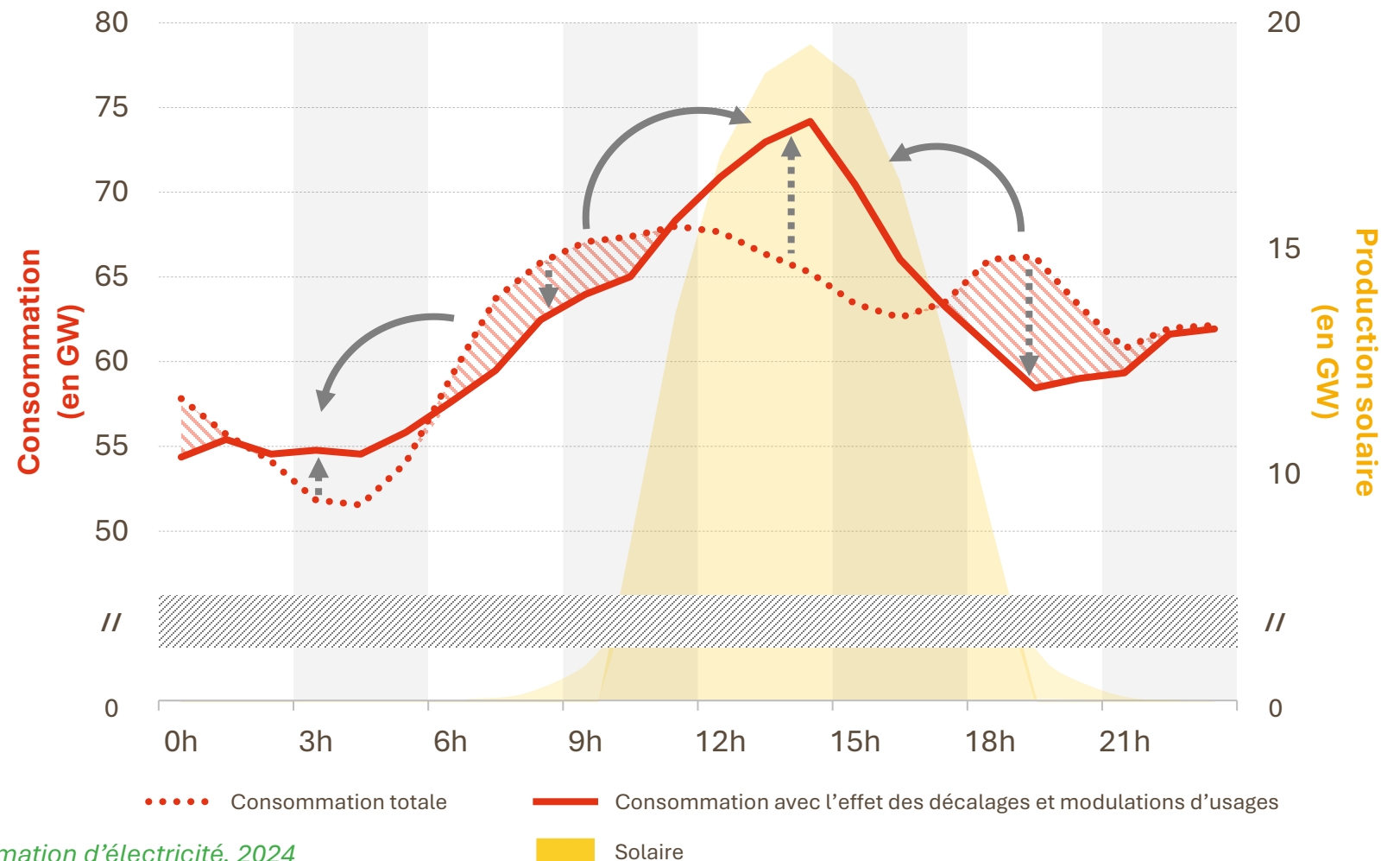
La consommation résiduelle, un indicateur clé pour le système électrique

L'indicateur clé pour dimensionner et exploiter le système électrique est la consommation résiduelle

Décaler une partie de ses consommations vers la nuit et le milieu de journée devient source d'économies ...

... mais comment décaler une partie de ses consommations facilement et sans perte de confort ?

Illustration de l'effet des décalages et des modulations d'usages sur la consommation d'électricité





L'apparition d'épisodes de prix spot négatifs et d'écrêtement EnR : un révélateur du besoin de flexibilité

Évolution du nombre d'heures à prix spot négatif, de 2014 à 2024, par année et par mois

Nombre d'occurrence de prix spot
négatifs de 2014 à 2024, par mois.
Plus la couleur d'une case est
foncée, plus le nombre d'heures
à prix spot négatif correspondant
a été important.

Source RTE

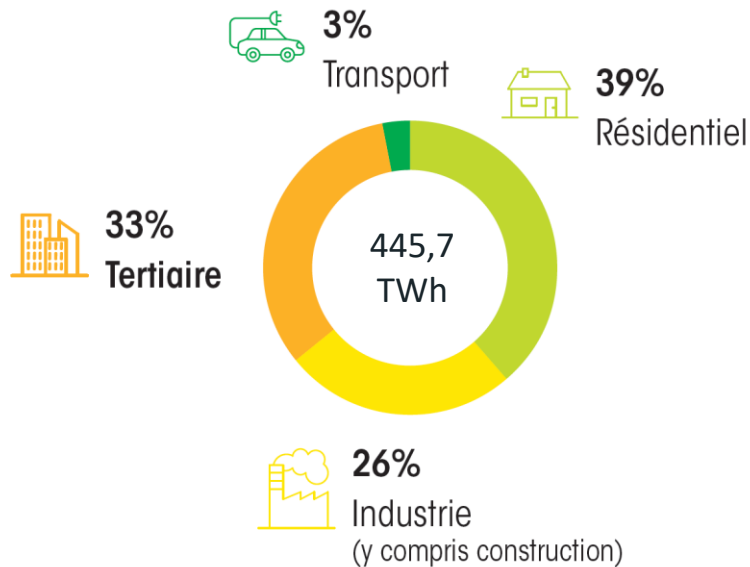
	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
2014	0	0	0	1	3	0	4	0	0	0	0	0	8
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
2017	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	4
2018	8	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11
2019	0	0	9	2	5	10	0	0	0	0	0	1	27
2020	0	4	8	31	27	5	12	0	0	3	6	6	102
2021	0	2	3	2	18	8	5	23	0	3	0	0	64
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
2023	8	0	4	2	25	14	47	0	15	3	0	29	147
2024	8	0	5	84	60	69	50	46					322

Cumul du nombre d'heures à prix spot négatif, de 2014 à 2024, par jour de la semaine et par heure

Cumul du nombre d'heures à prix
spot négatifs de 2014 à 2024
par jour et par heure du jour.
Plus la couleur d'une case est
foncée, plus le nombre d'heures
à prix spot négatif correspondant
a été important.

Source RTE

Jour / Heures	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	TOTAL
Lundi	0	0	2	4	4	1	0	0	0	0	0	0	2	3	3	2	4	1	0	0	0	0	0	0
Mardi	0	2	3	5	6	3	0	0	0	0	3	3	2	4	7	5	4	2	0	0	0	0	0	0
Mercredi	0	0	1	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Jeudi	0	0	2	3	4	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Vendredi	0	0	1	3	3	2	1	0	0	0	0	0	1	3	6	7	2	1	0	0	0	0	0	0
Samedi	0	0	0	2	4	2	2	0	0	1	6	10	13	17	22	20	14	6	1	0	0	0	0	0
Dimanche	0	1	1	9	12	13	10	7	9	13	18	24	27	40	52	54	40	10	2	0	1	1	1	1
Jour férié	1	2	2	3	4	5	5	5	4	2	5	5	4	6	9	11	7	2	0	0	0	0	0	0



Répartition par secteurs de la consommation nationale d'électricité en France en 2023

Source : Ministères Aménagement du territoire.
Transition écologique - 2024

Chiffres clés :

- Secteur **Tertiaire** représente **~150 TWh**
- **4,3** millions de bâtiments
- **393 701** Bâtiments tertiaires ont une puissance souscrite supérieur à 36 kVA
- Ils représentent **74% de la consommation** du secteur
- **2/3** concernent des bureaux, commerces et enseignement

Sources :

RTE, Baromètre des flexibilités de consommation d'électricité, 2024
CEREN, 2023



Le plan de passage à l'échelle sur le tertiaire

		2015	2019	2023	Projection 2030*
Tertiaire	Consommation évitée à 19h	0	0	0	> 2,5 GW
	Consommation déplacée à 14h	0	0	0	
	Nombre de BACS installés	--	--	25 500	100 000
	% BACS Flex Ready	--	--	0	> 50 %
	Nombre de bâtiments GOFlex	--	--	70	10 000

* Projection issue du scénario « A-référence » du Bilan prévisionnel 2023 et des hypothèses par secteur issues de travaux complémentaires avec les partenaires à l'origine de ce Baromètre

Source : RTE, Baromètre des flexibilités de consommation d'électricité, 2024

Contexte de création Flex Ready®



Janvier 2024

Comprendre les **besoins de flexibilité** et faire en état des lieux des gisements à disposition

Octobre 2024

Identifier les freins et **conditions techniques et organisationnels du passage à l'échelle** des flexibilités dans les bâtiments

Estimer la **taille des gisements existants** dans les bâtiments et l'avancée du déploiement des solutions de pilotage

Octobre 2024 - 2025

Centraliser les outils à disposition des gestionnaires de bâtiments pour encourager le déploiement

Création de la marque par Think smartgrids :

Flex Ready®, une marque pour moins et mieux consommer dans les bâtiments



MACRO-OBJECTIF

Développer le pilotage des consommations d'électricité en France via le déploiement de solutions, services et bonnes pratiques répondant aux besoins du système électrique et pour le bénéfice du client et des territoires.



Les demandes d'enregistrement de la marque Flex Ready ont été réalisées par Think Smartgrids pour une :

- **Marque collective figurative française**
- **Marque individuelle figurative de l'UE**

Une marque propriété de Think Smartgrids, animée collectivement :



Objectifs :

Flex Ready®, une marque pour moins et mieux consommer dans les bâtiments



Favoriser l'adoption massive dans les bâtiments du « pilotage coordonné des consommations électriques flexibles »

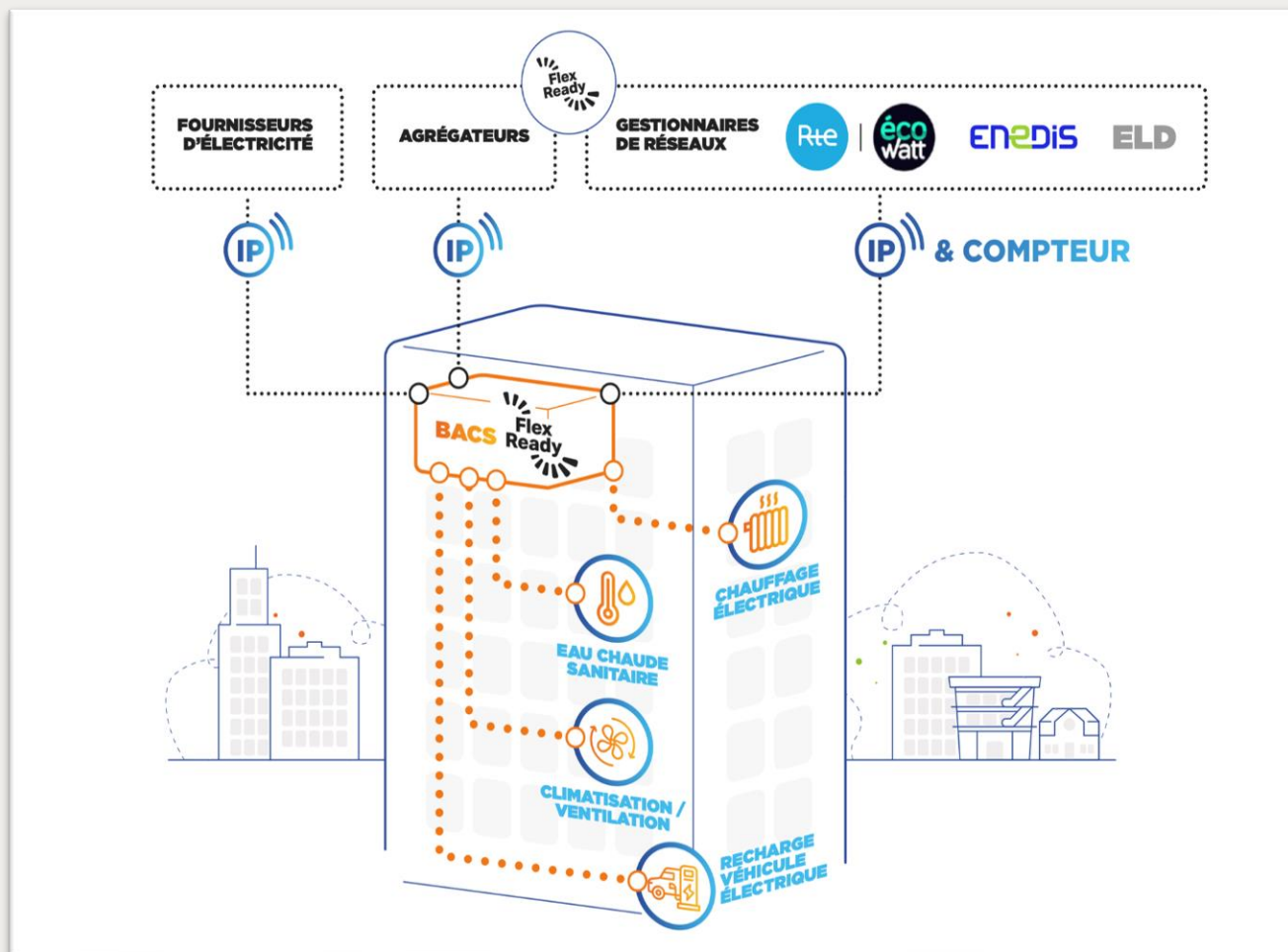
Identifier la capacité d'un système de pilotage à :

1. Piloter **automatiquement** au **quotidien** les usages à l'échelle du bâtiment (CVC, ECS, IRVE ...) en tenant compte du **prix de l'électricité** ou d'une **rémunération complémentaire**, garantissant une optimisation de la consommation quotidienne d'électricité finale,
2. Activer sur **requête spécifique** de flexibilité dite explicite **une modulation ponctuelle** coordonnée des usages à l'échelle du bâtiment, et ce sans installation de matériel supplémentaire autre que le système de pilotage du bâtiment,
3. Interpréter des **signaux en provenance des gestionnaires de réseaux électriques**, permettant par exemple la sauvegarde du système en cas d'EcoWatt rouge.

Flex Ready®, la marque collective des filières de la flexibilité



Un standard de données et de communication pour les systèmes de pilotage du bâtiment (GTB/EMS) dans le but de faciliter le placement de la consommation électrique au moment de la journée où l'électricité est abondante et décarbonée.



- 1 La puissance maximum instantanée (en kW)**
Réception-émission
- 2 Le prix de l'électricité (en €/kWh)**
Réception
- 3 La puissance souscrite (en kVA)**
Réception
- 4 L'empreinte carbone de l'électricité (en $t_{eq. CO_2}/kWh$)**
Réception
- 5 L'horloge : au pas de temps (15 min minimum)**
Réception-émission

ARCHITECTURE ACTUELLE FLEX READY®

Versioning :

- Version pilote → **juin 2025**
- Version 1 → S1 2026

1. Guide d'application Flex Ready® :

- Objectif & contexte de la marque
- Processus de candidature

2.1 Règlement d'usage Flex Ready

2.2 Principes de gouvernance du CdS

3. Conditions d'utilisation et de promotion de Flex Ready

4.1 Référentiel Systèmes de pilotage

4.2 Référentiels BACS

5. PV D'auto-déclaration

6. Attestation de conformité

7. Liste des acteurs conformes



Architecture en tiroir pour permettre l'ajout d'autres briques référentiels dans les prochaines versions :

- Extension des produits et services concernés (IRVE, etc)
- Pratiques Flex Ready (ex: recommissionnement, contrats de flexibilité normalisés, etc)

ARCHITECTURE ACTUELLE FLEX READY®

Versioning :

- Version pilote → **juin 2025**
- Version 1 → S1 2026

1. Guide d'application Flex Ready® :

- Objectif & contexte de la marque
- Processus de candidature

2.1 Règlement d'usage Flex Ready
2.2 Principes de gouvernance du CdS

3. Conditions d'utilisation et de promotion de Flex Ready

4.1 Référentiel Systèmes de pilotage
4.2 Référentiels BACS

5. PV D'auto-déclaration

6. Attestation de conformité

7. Liste des acteurs conformes



Architecture en tiroir pour permettre l'ajout d'autres briques référentiels dans les prochaines versions :

- Extension des produits et services concernés (IRVE, etc)
- Pratiques Flex Ready (ex: recommissionnement, contrats de flexibilité normalisés, etc)

Ils se sont lancés :

Les premiers projets pilotes Flex Ready® :



Kergrid

Gestionnaire du bâtiment



Intensity

Gestionnaire du bâtiment



Fournisseur de GTB



Agrégateur financier



Agrégateur technique



Fournisseur de GTB



Agrégateur technique

Le Tour de France de Flex Ready®

Acteurs présents :

- Fournisseurs
- Agrégateurs
- Fabricants
- Développeurs
- Intégrateurs
- Gestionnaire de site
- Propriétaires de foncier
- Agences de développement
- Pôles de compétitivité
- GRT & GRD
- Financeurs

Et bien d'autres

Tour de France Flex Ready®

Nantes

16 juin - 14h-18h

La Cantine x French Tech

40 Rue la Tour d'Auvergne, 44200 Nantes



Tour de France Flex Ready®

Lille

30 juin - 14h-18h

EuraTechnologies

165 Avenue de Bretagne, 59000 Lille



Tour de France Flex Ready®

Toulouse

10 octobre - 13h30 - 18h00

CEA Tech

51 Rue de l'Innovation, 31670 Labège



Tour de France Flex Ready®

Grenoble

06 Novembre - 13h30 - 18h00

IntenCity, Schneider Electric

160 Av. des Martyrs, 38000 Grenoble



Le Tour de France de Flex Ready®



Tour de France Flex Ready®



Grenoble

06 Novembre - 13h30 - 18h00

IntenCity, Schneider Electric

160 Av. des Martyrs, 38000 Grenoble



***Vous souhaitez y
participer ?***

Inscription gratuite mais obligatoire

Conclusions

- **Think Smartgrids** se positionne en acteur clé des **smartgrids** et de la **flexibilité** :
 - Volet international
 - Volet territorial
 - Volet technique
- Des **gisements économiques** de flexibilité existent et sont d'ores et déjà **exploitables**
- Les **solutions techniques** existent aujourd'hui, notamment dans le secteur **industriel**
- **Flex Ready®** se positionne en accélérateur de la flexibilité dans le **tertiaire** en permettant des échanges standardisés entre :
 - Le bâtiment et ses usagers
 - Son fournisseur d'énergie
 - Son opérateur d'effacement

Conférence du Comité National Français La flexibilité de la demande et ses gisements

Merci de votre attention



cigre

For power system expertise



FRENCH SOLUTIONS FOR SMARTGRIDS

Titouan CHILOU

+33 (0)6 51 9 09 90

titouan.chilou@thinksmartgrids.fr

contact@thinksmartgrids.fr

Conférence du Comité National Français

Mécanismes et différents assets de la flexibilité

Marion Perrin (EnergyPool)



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

POURQUOI LA FLEXIBILITÉ ? QUELLES OPPORTUNITÉS ?

LA FLEXIBILITÉ DE CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

UN NOUVEAU LEVIER D'ÉQUILIBRAGE AU SERVICE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

UN IMPÉRATIF



Production = Consommation

Équilibrer en continu le système électrique

Notamment lors des pointes de production et/ou de consommation

AVANT



Les centrales de production étaient le seul levier d'ajustement

AUJOURD'HUI

Les sites de consommation et de production peuvent participer à l'équilibrage en **valorisant leur flexibilité**

De quelques centaines de kW à plusieurs MW flexibles



Consommation
Procédés industriels, chauffe-eau, CVC, groupes froid, ...



Batteries / stockage



Production décentralisée
(groupe électrogène, cogénération, photovoltaïque...)

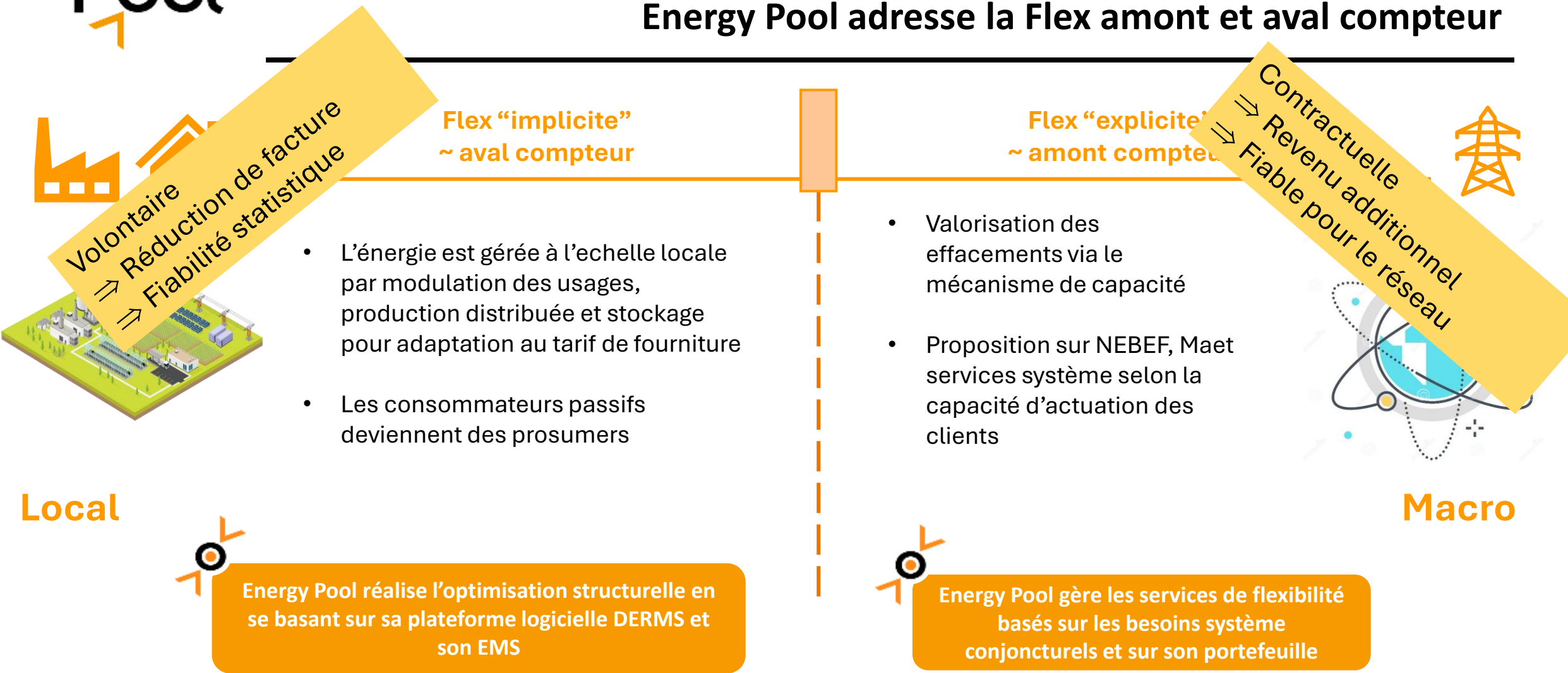
RTE met en avant plusieurs ordres de grandeur et défis pour les décennies à venir :

- L'augmentation de la part des énergies variables (éolien, solaire) accroît les besoins de flexibilité pour sécuriser l'équilibre.
- RTE estime que les flexibilités (effacement, modulation de la demande, stockage) pourraient réduire la marge de sécurité nécessaire du système d'environ 5 GW.
- ***Pour 2035, l'objectif est de disposer d'environ 6,5 GW de capacités d'effacement et de modulation de consommation.***
- RTE envisage aussi que le pilotage de la recharge des véhicules électriques (avec une proportion significative en mode pilotable) participe à la flexibilité.
- ***En complément, plusieurs gigawatts de capacités de stockage (batteries, autres technologies) devront être déployés pour contribuer à la flexibilité.***
- Dans la configuration de référence du bilan, les puissances maximales effaçables et modulables de la demande à l'horizon **2035** seraient de l'ordre de **30 GW**.
- À plus long terme (vers **2050**), cette capacité pourrait monter jusqu'à **~ 44 GW** selon les scénarios les plus optimistes.



FLEXIBILITÉ: OPTIMISATION LOCALE VS AJUTEMENT À L'ECHELLE SYSTÈME

Energy Pool adresse la Flex amont et aval compteur





PICS DE CONSO D'HIVER

- > Mécanisme de capacité
- > Complément de rémunération par l'AO Effacement ou l'AO Flexibilités Décarbonées



EQUILIBRES ENTRE ACHATS ET VENTES

- > Achat/vente d'électricité : Day-Ahead et Intraday
- > Achat/vente d'effacement *NEBCO* (*baisse et hausse de consommation*)
- > Gestion des écarts

EQUILIBRAGE

Production = Consommation



MOYENS DE RTE : CONTRACTUALISATION AVEC ACTIFS FLEXIBLES

- > **R1/FCR**: engagements bidirectionnels, réactivité immédiate selon fréquence
- > **R2/aFRR**: asymétrique, réactivité en quelques secondes et montée en 5min
- > **R3/mFRR & MA**: asymétrique, délai de prévenance 13 min et plus

Et maintenant mFRR baisse lors des moments de sur-production



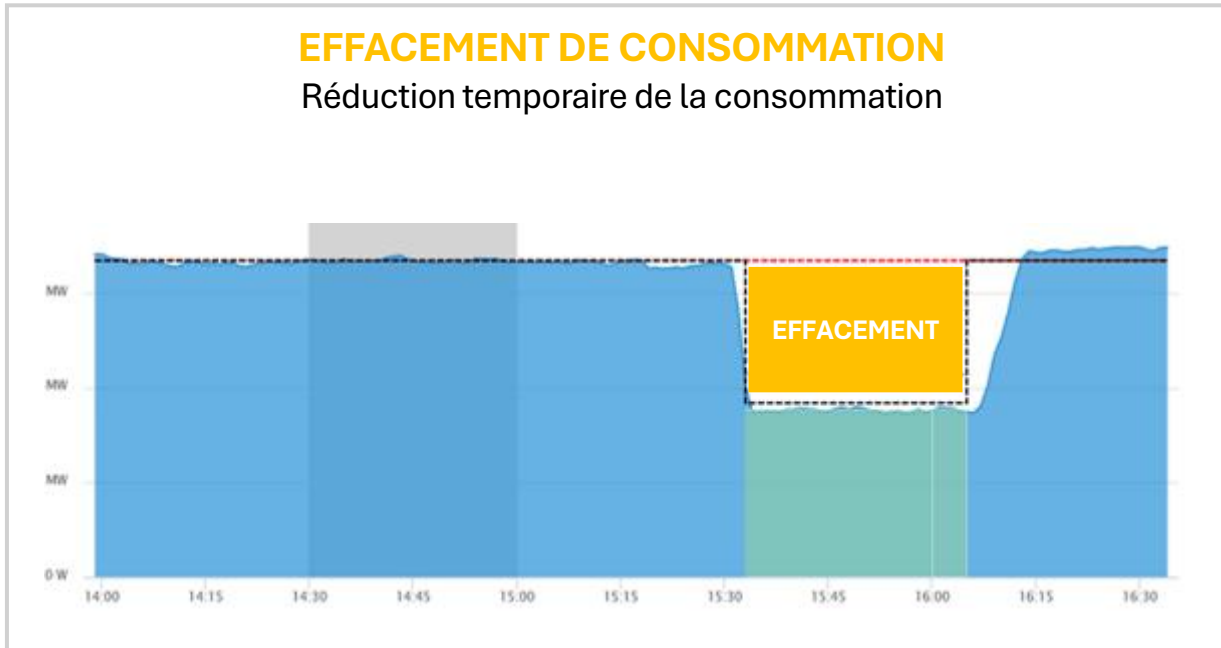
SUR-PRODUCTION ENR

LA FLEXIBILITÉ DE CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

COMMENT CETTE FLEXIBILITÉ PARTICIPE À L'ÉQUILIBRAGE

EFFACEMENT DE CONSOMMATION

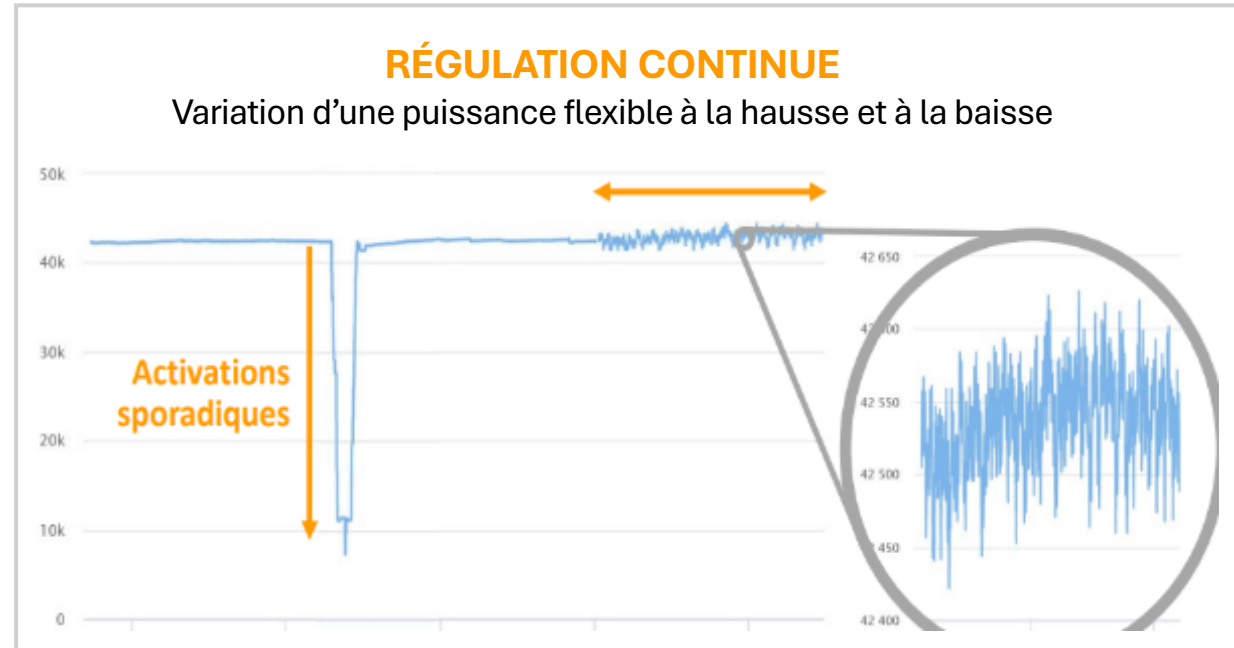
Réduction temporaire de la consommation



Equipements : CVC, groupes froid, fours, broyeurs
→ mFRR/MA/NEBEF

RÉGULATION CONTINUE

Variation d'une puissance flexible à la hausse et à la baisse



Equipements : batteries, électrolyses
→ R1/FCR et R2/aFRR



Il est possible d'avoir **plusieurs puissances différentes** pour un même actif en fonction du mécanisme (FCR, aFRR, mFRR, MKP, ...)

OFFRES ENERGY POOL POUR VALORISER LA FLEXIBILITÉ

LA RÉMUNÉRATION DES ACTIFS

OFFRE DE BASE

MÉCANISME DE CAPACITÉ ET AOE/AOFD

Rémunération capacitaire
de la puissance flexible



MÉCANISME D'AJUSTEMENT (MA) ET NEBEF/NEBCO

Rémunération de l'énergie, avec des activations
compatibles avec les possibilités de l'actif
(nbre, heures et énergie)

OFFRES COMPLÉMENTAIRES SELON CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

OPTIMISATION MULTI-MARCHÉS

SPOT Day-Ahead et Intraday

- > Optimisation des achats en Day-Ahead
- > Activation selon opportunités en Intraday

R3/mFRR

- > Rémunération capacitaire sur les AO journaliers ou sur les AO annuels
- > Rémunération énergie sur le MA

R2/aFRR

- > Rémunération capacitaire selon la puissance disponible en J-1
- > Rémunération énergie sur l'activation avec des prix définis avec le client

R1/FCR

- > Rémunération capacitaire selon la puissance disponible en J-1
- > Rémunération énergie selon le prix SPOT

LA FLEXIBILITÉ DE CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

DEUX TYPES DE RÉMUNÉRATION

RÉMUNÉRATION FIXE

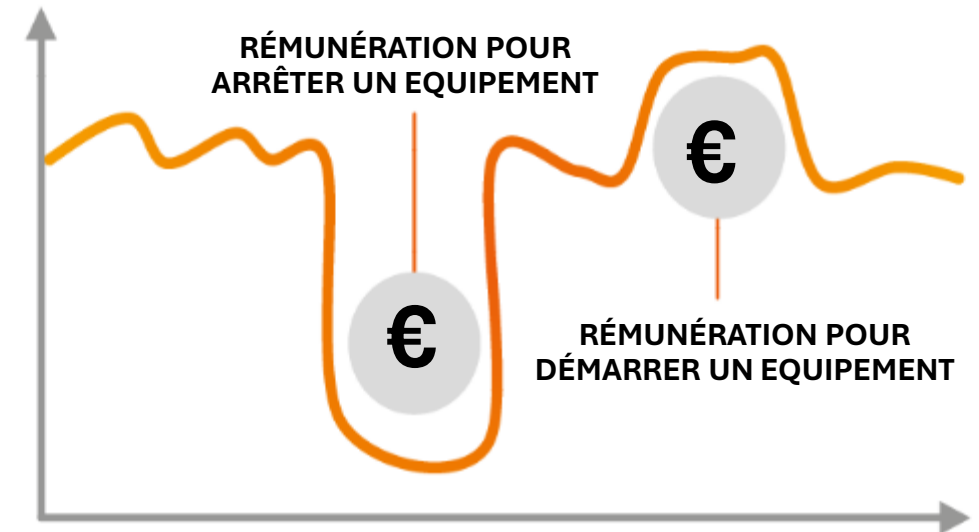
Capacité « théorique » mise à disposition
indépendamment de la sollicitation réelle



RÉMUNÉRATION VARIABLE

> Pour l'énergie réellement modulée

> Et en fonction de vos possibilités (physique et business)



QUELLES OFFRES POUR VALORISER LA FLEXIBILITÉ?

MAXIMISER LES REVENUS TOUT EN PRENANT EN COMPTE LES CONTRAINTES TECHNIQUES

	Mécanisme de Capacité/ Appel d'Offre Effaçement/Flexibilité Décarbonée	NEBCO (01/09/2025)	Mécanisme d'Ajustement (MA)	R3/mFRR	R2/aFRR	R1/FCR
Type de service fourni Capacité = Engagement sur la disponibilité Energie = Activation demandée	Engagement à réduire sa puissance consommée en cas de Pics de consommation <i>*Capacité certifié lors de l'enchère PL-1</i>	Energie	Energie	Capacité + Energie	Capacité + Energie	Capacité + Energie
Plage d'engagement	22 jours de pointe (Novembre-Mars) [7h–10h] et [17h–20h]	Blocs d'1h	Libre	Blocs de 24h	Blocs d'1h (Capacité) Blocs de 15Min (Energie)	Blocs de 4h
Direction	MKP et AOE/AOFD sont liés à un engagement sur les mécanismes énergies (ci-contre)	Hausse et Baisse (01/09/2025)	Hausse et Baisse	Hausse (et bientôt Baisse)	Hausse et Baisse	Hausse et Baisse
Délai de prévenance/ de réactivité		J-1 à 19h	15 à 45 minutes	≤ 13 minutes	≤ 300 sec	≤ 30 sec
Puissance minimale du Pool		0,1MW	1MW	10 MW	1 MW	2 MW (+1/-1 MW)
Durée d'activation minimale		1 heure	15 minutes	15 minutes	4 secondes	Bloc de 4h
Durée d'activation maximale		2 heures	2 heures	2 heures	Bloc de 15 minutes	Bloc de 4h



PROCESSUS ET CONTRACTUALISATION



FLEXIBILITÉ CENTRALISÉE

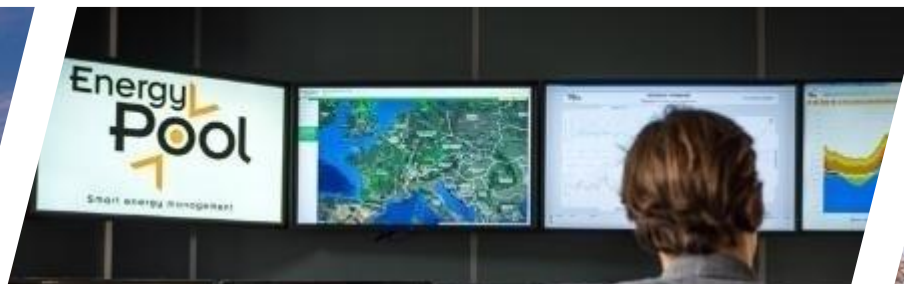
- ⦿ Sites avec flexibilité individuelle suffisante
> 0,1MW (1MW et plus en général)
- ⦿ Contractualisation avec le client flexible **en direct** (mono ou multi-sites)
- ⦿ Responsabilités du **client ou des sites**:
 - > Annoncer les indisponibilités
 - > Suivre l'activation
 - > Permettre ou réaliser la mesure
- ⦿ Responsabilités Energy Pool:
 - > Faire les engagements sur les marchés
 - > Transmettre les informations aux gestionnaires de réseaux
 - > Transmettre le signal de contrôle **à chaque site**
 - > Rémunération du **client ou des sites**

DEUX TYPES DE FLEXIBILITÉ

CENTRALISÉE ET DIFFUSE

FLEXIBILITÉ DIFFUSE

- ⦿ Sites avec flexibilité individuelle insuffisante
< 0,1MW en général
- ⦿ Contractualisation avec un **primo-agrégateur**
- ⦿ Responsabilités du **primo-agrégateur**:
 - > Contractualiser avec chaque site
 - > Gestion de la rémunération avec chaque site
 - > Prévoir les disponibilités
 - > Suivre l'activation globale et la dispatcher
 - > Réaliser les mesures
- ⦿ Responsabilités Energy Pool:
 - > Faire les engagements sur les marchés
 - > Transmettre les informations aux gestionnaires de réseaux
 - > Transmettre le signal de contrôle au **primo-agrégateur**
 - > Rémunération du **primo-agrégateur**



EXEMPLE D'OPÉRATIONS



PLUS GRAND PORTEFEUILLE DE CENTRALES HYBRIDES DE FRANCE

- Energy Pool sélectionné pour opérer et valoriser le plus grand portefeuille de France de centrales hybrides PV + Stockage :

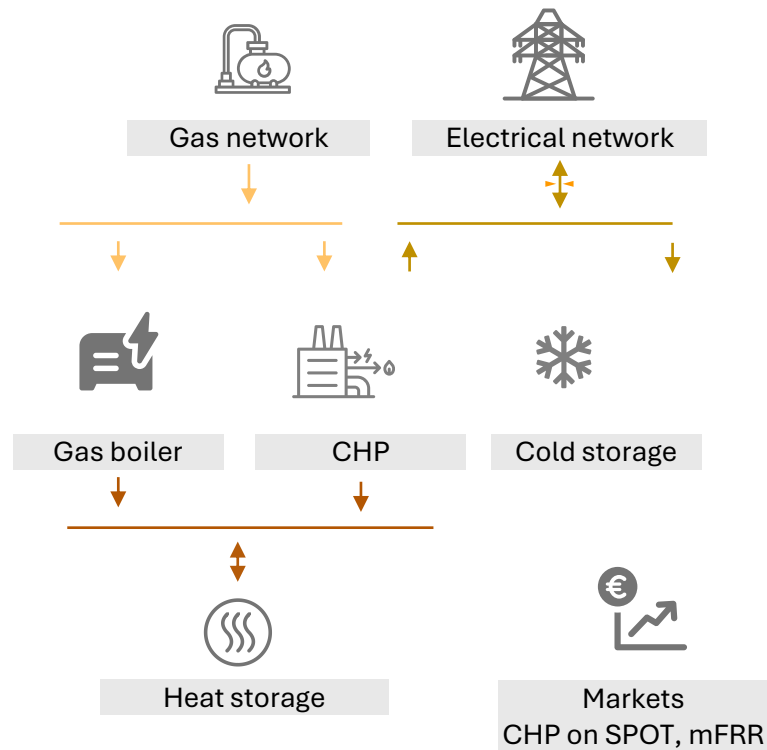
- > **Wholesale markets (SPOT Day-Ahead and Intraday)**
- > **Ancillary services (FCR and aFRR)**
- > **Capacity Market**

Plant	PV	Type of PV valorization	BESS	COD
Gièvres	19 MWp	Contract for Difference	3,75 MW / 4,5 MWh	Existing
Mennetou	8 MWp	Contract for Difference	7,5 MW / 9 MWh	Existing
Saint-Sauveur	/	/	2,5 MW / 2,5 MWh	Existing
Vert	79 MWp	PPA with Orange (PV Magazine)	15 MW / 34 MWh	August 2025
TOTAL	106 MWp		29 MW / 49 MWh	

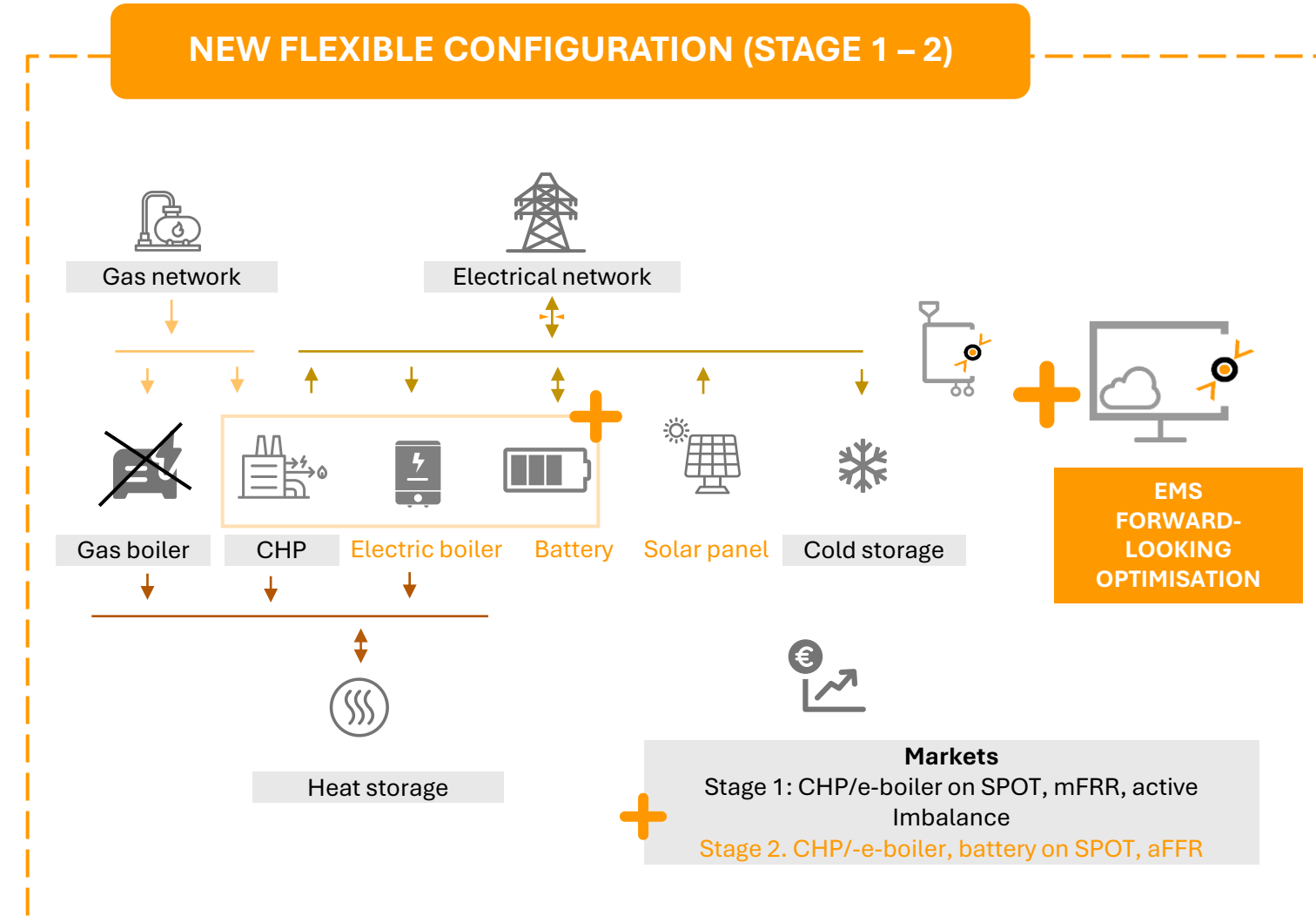
- 2 entités de réserve:

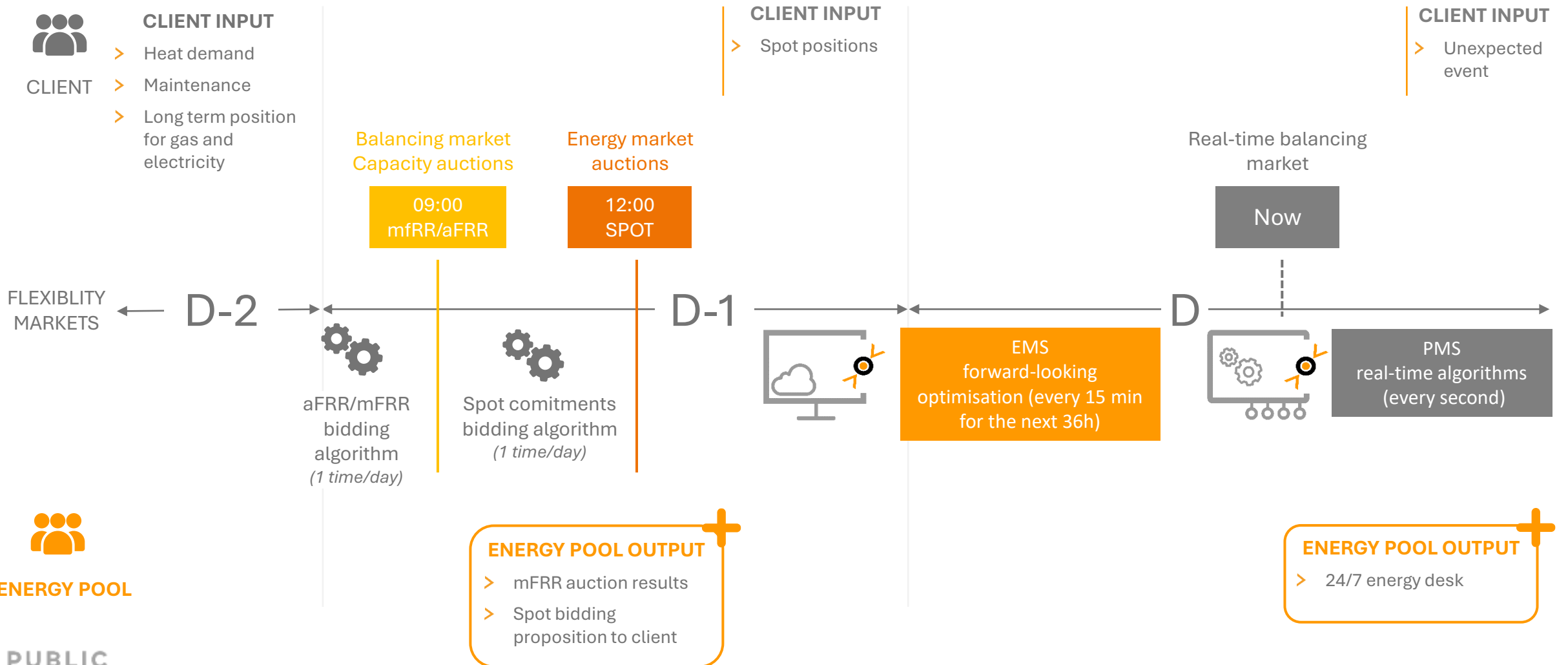
- > EDR1: pool Gièvres/Mennetou/Saint-Sauveur
- > EDR2: Vert

INITIAL CONFIGURATION BEFORE EP



NEW FLEXIBLE CONFIGURATION (STAGE 1 – 2)







15 ans d'expérience dans la gestion de la flexibilité et sur les marchés de l'énergie



100 M€ de CA
Croissance (>40%/an)



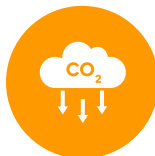
>400 collaborateurs
Dans plus de **15 pays**



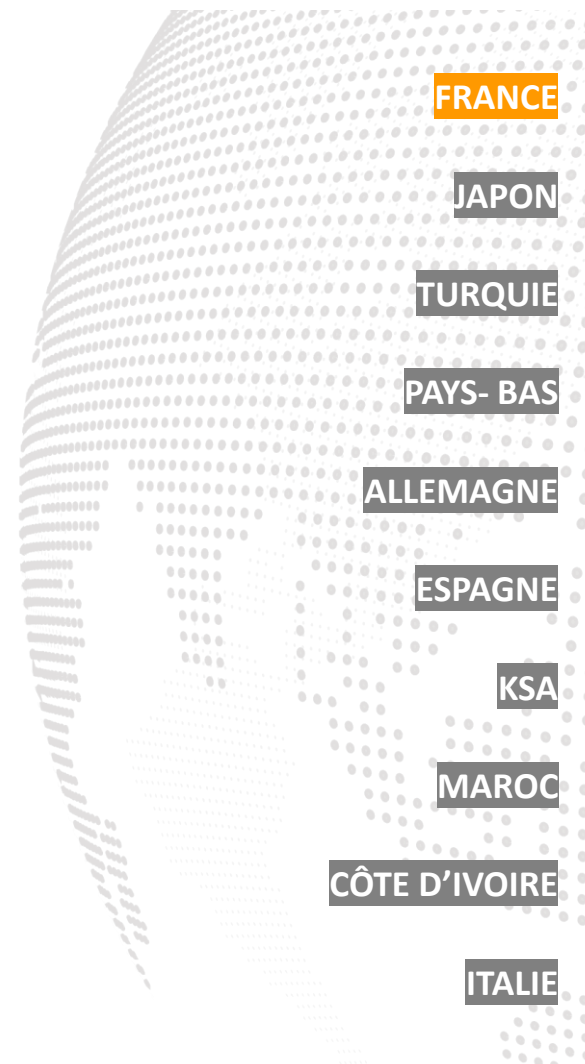
8000 actifs gérés
par nos centres d'opérations
9 GW de capacité en opération



PARTENAIRE DE CONFIANCE
de nombreux acteurs du secteur de l'énergie



> 2 MILLIONS de tonnes de CO₂ évitées/an



15 ANS D'EXPÉRIENCE EN ENERGY MANAGEMENT

DU DEMAND RESPONSE À LA GESTION INTÉGRÉE DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

DÉVELOPPEMENT

Entreprise fondée
par **Olivier Baud**



Des revenus stables au Japon et en Turquie, avec la
création d'entités légales dans les deux pays.



TEPCO rejoint
l'actionnariat d'EP Japan

Création d'EP GmbH
en Allemagne

Création de PE aux Pays-
Bas et en Belgique, en
Arabie Saoudite et en Côte
d'Ivoire.

2009 2010 2012 2013 2014 2015 2017 2018 2019 2020 2021 2023/2024

LANCEMENT EN TANT QU'OPÉRATEUR
D'EFFACEMENT



AGRÉGATEUR DE
FLEXIBILITÉ



UNE ENTREPRISE EN FORTE
CROISSANCE (>40% PAR AN)



UN GESTIONNAIRE INTÉGRÉ DES
SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

SUCCÈS

Pionnier du marché
de la réponse à la
demande d'électricité
en France

1ère opération de
réponse à la
demande en
France

Première opération de régulation
de la fréquence du réseau
électrique

Projet de réponse à la
demande industrielle
au Japon

Première opération de mise en
commun de plusieurs sites pour la
régulation de la fréquence

Première monétisation de la
flexibilité des batteries

Première
exploitation d'un
micro-grid

> Première mise en service de
l'aFRR
> Instrumentation de 3 micro-
réseaux dans le Pacifique
> Première monétisation de la
flexibilité de l'électrolyse H2.

UNE EXPERTISE DU CONSEIL AUX OPÉRATIONS

POUR LES PRODUCTEURS, LES SERVICES PUBLICS ET LES UTILISATEURS FINAUX



CONCEVOIR

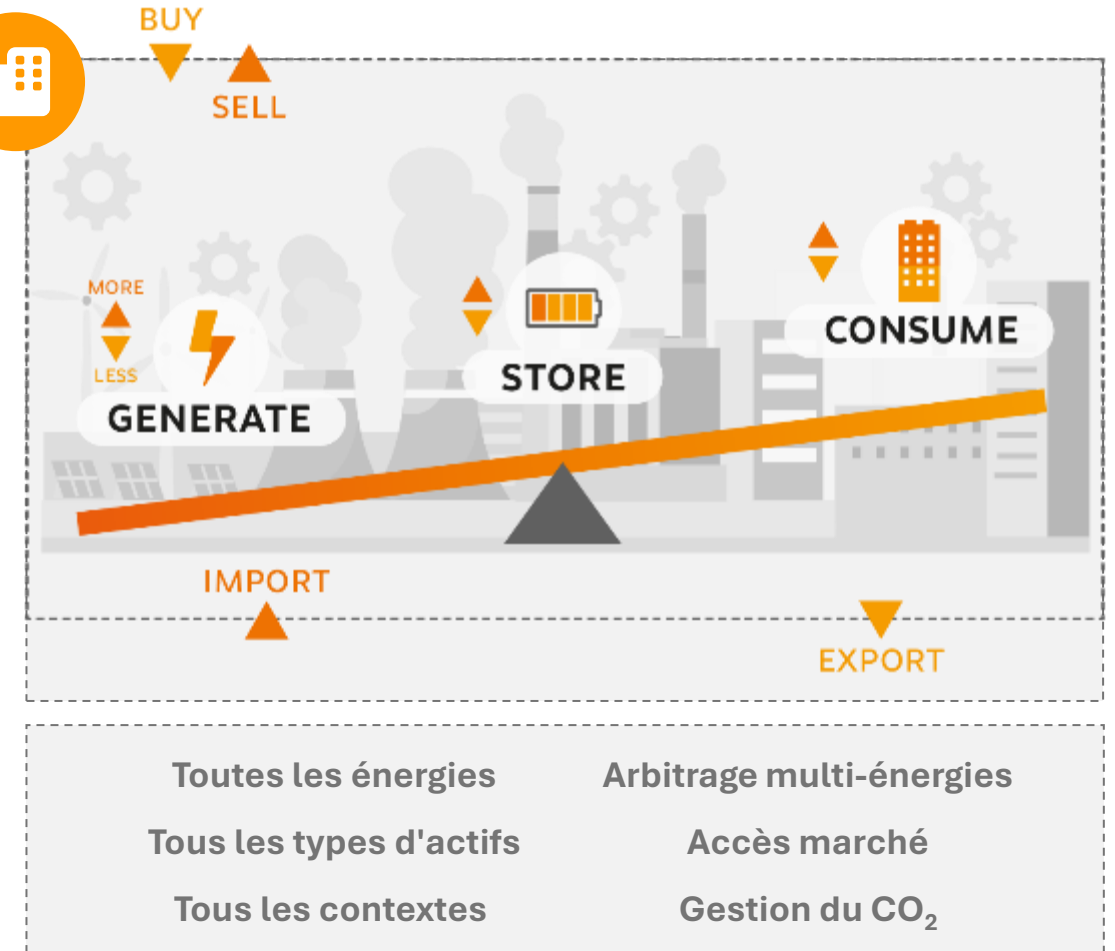
CONSEIL ET INGÉNIERIE POUR LA
DECARBONATION DES INDUSTRIES

OPTIMISER

SOLUTIONS DE MANAGEMENT
ET D'OPTIMISATION DE L'ÉNERGIE

OPÉRER

VALORISATION DE FLEXIBILITÉS
ET OPÉRATIONS DE MARCHÉ



UNE EXPÉRIENCE INTERNATIONALE AVEC DES ACTEURS INFLUENTS DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE





ENERGY POOL HQ - FRANCE

20 rue Lac Majeur
Parc Ouragan – Bât. C
BP 90324
73377 Le Bourget-du-Lac Cedex
+33 (0)4 88 13 16 60

RÉBECCA MERLET

06 30 42 19 96

REBECCA.MERLET@ENERGY-POOL.EU



energy-pool.eu

Le moment des questions/réponses



**Conférence du Comité National Français
Table Ronde sur le Thème:
Résilience, durabilité environnementale et ressources d'un système électrique adapté
aux transitions énergétique et numérique**

Modérateur: Yannick Rest (GIMELEC)

Rodolphe de Beaufort (GIMELEC)

Solène Laurent (GE Vernova)

Emeline Cauras (RTE)

François Trichon (Schneider Electric)

Marcela Mantilla (CIGRE SC C3)



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

Intervenants :



Rodolphe de Beaufort
(GIMELEC)

Délégué Général Adjoint



Solène Laurent
(GE Vernova)

Cheffe de Groupe R&D
Ecodesign – Power Transmission



Emeline Cauras
(RTE)

Responsable Pôle Achats
Auvergne Rhône Alpes



François Trichon (Schneider
Electric)

Standardisation leader sur les
normes d'appareillage haute
tension, les fluides isolants et la
maintenance prévisionnelle



Marcela Mantilla
(RTE)

Conseillère en durabilité et
affaires industrielles
européennes

Modérateur :



Yannick Rest
(GIMELEC)

Directeur Marketing Technique

Conférence du Comité National Français

Résilience : facteurs géopolitiques et technologiques

Rodolphe de BEAUFORT



cigre

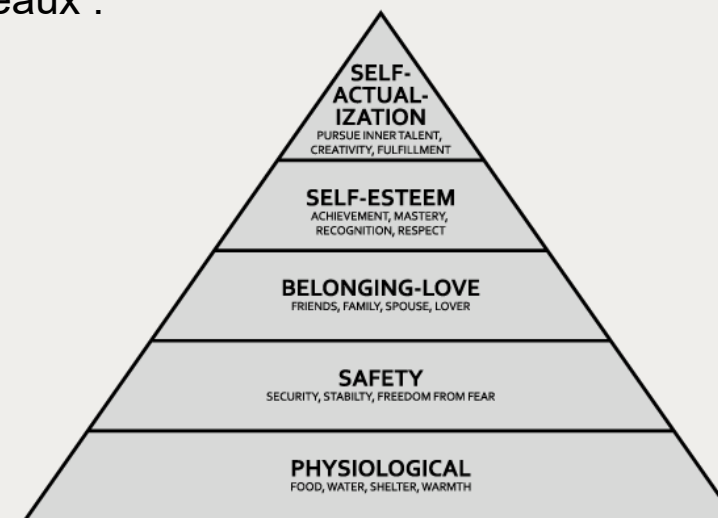
For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

Resilience des Réseaux Électriques : pourquoi ?

La disponibilité des Réseaux Electriques est essentielle : la résilience face aux risques en est la base

- ☐ Les réseaux électriques sont systémiques pour tous les autres réseaux :
 - ☐ Relais Télécoms
 - ☐ Chaudières et réseaux de Gaz
 - ☐ Distribution d'Eau
 - ☐ Pompes à carburant
 - ☐ Systèmes de paiement et distribution de billets
 - ☐ ...
- ☐ La résilience des Réseaux Electriques doit se penser face :
 - ☐ Au vieillissement des infrastructures
 - ☐ Au changement climatique (tempêtes, chaleurs...)
 - ☐ A la solidité des chaines d'approvisionnement
 - ☐ Antitipation des besoins du reseau de demain
 - ☐ A l'intégration des des nouveaux usages de l'électricité (data centers, IRVE, ENR...)



Mais de nouveaux risques apparaissent, liés à l'évolution technologique et au contexte géopolitique

De nouveaux risques à prendre en compte

Contexte géopolitique

« Il est indispensable **que la Nation tout entière se mobilise** [d'ici 2030]... cela passera par **un renforcement de la résilience de la France** »

« Les réseaux vitaux pour la Nation doivent fonctionner en permanence, s'il le faut en mode dégradé et pour les usages prioritaires. Il s'agit ainsi d'assurer **la disponibilité, sans aucune discontinuité**, des réseaux de télécommunication civils (...), des **réseaux de distribution d'énergie** et d'eau potable»

« Il s'agit ensuite de **sanctuariser les approvisionnements critiques.** »

Source : *Revue Nationale Stratégique 2025 du Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale*

<https://www.sgdsn.gouv.fr/publications/revue-nationale-strategique-2025>



De nouveaux risques à prendre en compte

Enjeux Technologiques

- ❑ Attaques physiques des infrastructures de réseaux :
 - ❑ En Ukraine, les **Postes Electriques**, en particulier les GIS sont des cibles de choix pour **les drones militaires** pour interrompre l'accès électrique à une région,
 - ❑ En France, Nice 2025 : **incendie volontaire** d'un **transformateur électrique** : 45.000 personnes affectées
 - ❑ En France, Cannes 2025 : trois des quatre piliers d'un **pylône de la ligne à haute tension** alimentant la ville **ont été sciés** : 160 000 personnes affectées

- ❑ Attaques cyber d'infrastructures énergétiques :
 - ❑ **Ukraine 2024** : Le CERT ukrainien (CERT-UA) a décrit une cyber attaque qui a ciblé en mars 2024 une vingtaine d'entreprises des secteurs de l'énergie ([source](#))
 - ❑ **États-Unis – 2021** : Une attaque par ransomware a visé Colonial Pipeline, provoquant des pénuries de carburant



Cas d'étude : surface d'attaque des onduleurs PV

- ❑ Une étude de [Solar Power Europe](#) qualifie le risque lié aux onduleurs comme un **risque systémique pour la stabilité du réseau**, résultant de leur connectivité croissante, de leur dépendance logicielle et de leur exposition aux cyberattaques
- ❑ Alors que plus de **200GW de PV sont raccordés en UE avec des onduleurs asiatiques** (+80% de part de marché), une étude de DNV confirme qu'une compromission de seulement **3GW suffirait à provoquer un black-out global**.
- ❑ Les risques sur les onduleurs sont représentatifs de ceux généralement constatés pour les appareils technologiques distribués (batteries, véhicules électriques, électrolyseurs...)



Connectivité des Onduleurs

- ❑ Les onduleurs sont souvent **connectés à internet et au Cloud du constructeur** pour supervision et mise à jour : ils sont donc pilotables à distance par des entités tierces des opérateurs français.
- ❑ L'Estonie a passé une loi visant à **interdire ces connexions**, le European Solar Manufacturing Council réclame des mesures en Europe.

Faibles cyber logicielles et matérielles

- ❑ Les logiciels embarqués et leur mise à jour impliquent des risques de « **back-door** ».
- ❑ [Reuters](#) rapporte la **découverte de modules de communication non documentés** dans certains onduleurs et batteries chinois, d'après des fuites au sein du ministère américain.
- ❑ Le sujet n'est pas encore documenté en Europe publiquement.

Conclusion / Messages clés

- ❑ La sécurité et la résilience des réseaux électriques et plus largement du système électrique est un enjeu de souveraineté.
- ❑ Les investissements cyber et de résilience physiques sont encore trop restreints, en particulier hors du scope régulé des Opérateurs Réseaux
- ❑ Les réglementations cyber génériques (NIS2, CRA) amélioreront le niveau moyen des produits européens mais n'apporteront pas forcément de garanties (audits logiciels et matériels tiers) pour des matériels critiques et/ou conçus et fabriqués hors UE.
- ❑ Une maîtrise du design et de l'approvisionnement et de la maintenance digitale des composants clés du système électrique est cruciale à partir du moment où leur diffusion devient généralisée (HVDC, transformateurs, automates, onduleurs, SCADA, véhicules électriques V1G/V2G, électrolyseurs...)



Conférence du Comité National Français

Réduire l'empreinte environnementale du matériel via l'ACV et l'éco-conception

Solène Laurent – GE VERNOVA



cigre

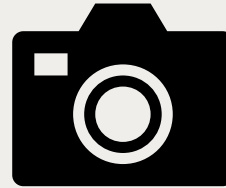
For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

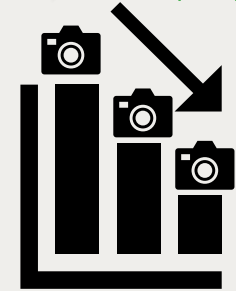
Empreinte environnementale, ACV, Eco-conception : de quoi parle-t-on?



ACV



Eco-conception



➤ Mesurer l'empreinte environnementale

- ACV = Analyse de Cycle de Vie
- Multi-étapes & Multi-indicateurs (anticiper les transferts de pollution)
- Normalisée (ISO)
- Méthodes de calculs scientifiques

MAIS

- Plusieurs sources : bases de données & facteurs d'émissions
- Plusieurs référentiels sectoriels & communications

➤ Minimiser et réduire l'empreinte environnementale

- Démarche d'amélioration continue
- Processus itératif
- Multi-critères
- Approche collaborative

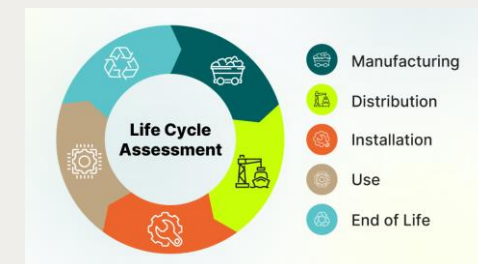


Illustration du Cycle de Vie – source GE VERNOVA

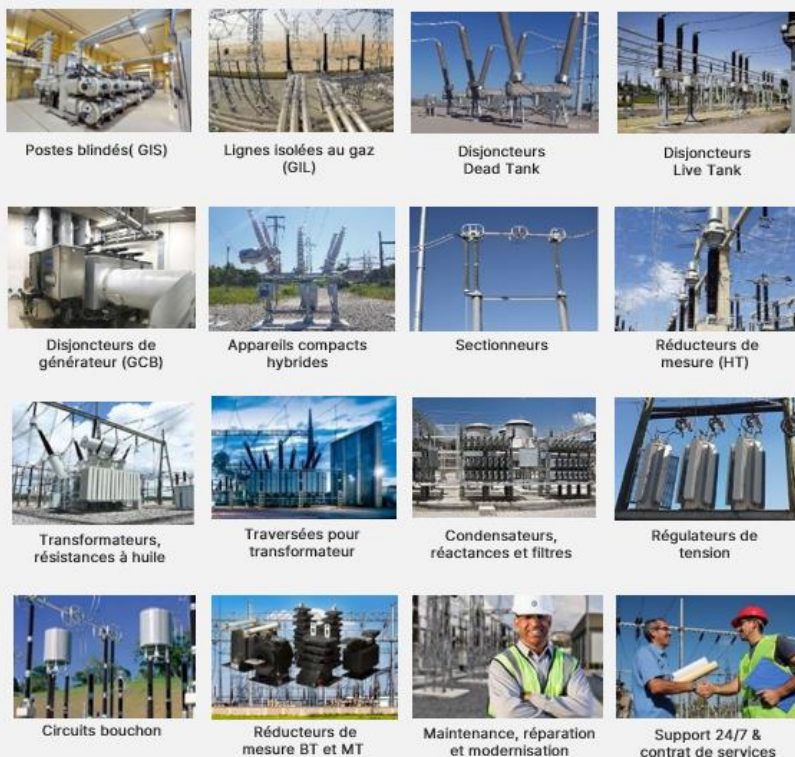
L'ACV et l'éco-conception au sein de GE VERNOVA



➤ Les appareils « Power Transmission »

- Des produits complexes et variés

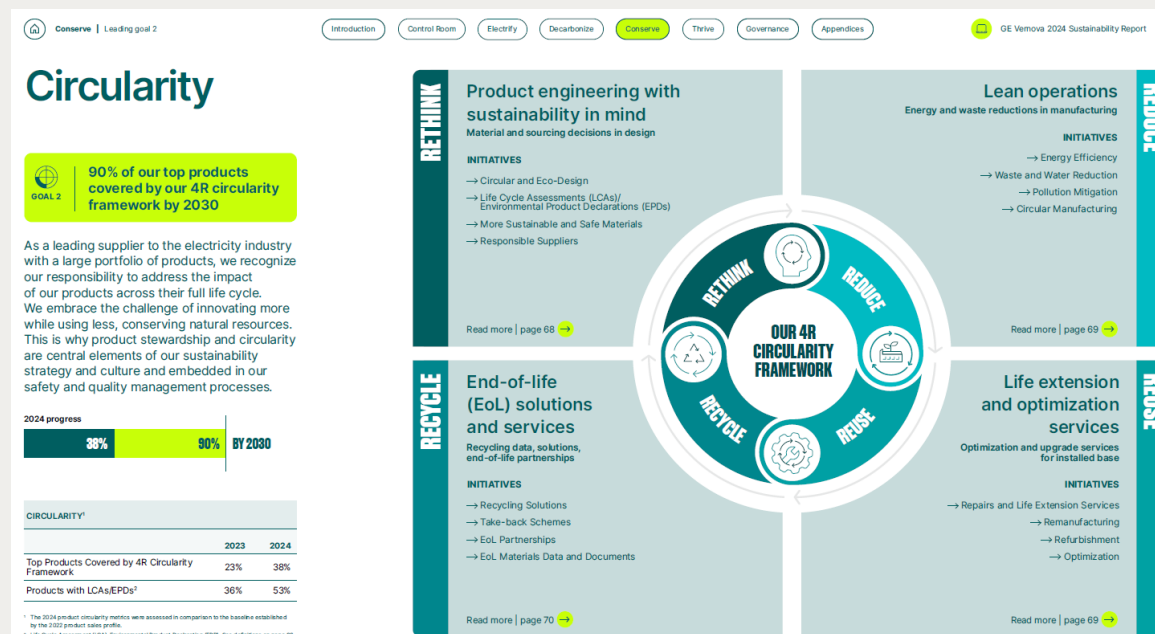
PORTFOLIO



➤ 4R circularity framework

L'ACV et l'éco-conception comme point de départ pour :

- repenser les produits
- contribuer à l'atteinte des objectifs de circularité



Extrait du rapport “Sustainability Report 2024”, p.65,
<https://www.governova.com/sustainability/control-room>

Un exemple d'éco-conception : les disjoncteurs SF₆ free

COMPARISON BETWEEN

SF₆ 145 kV 40 kA GIS



g³ 145 kV 40 kA GIS



- 1,000+ parts modeled
- ENTSO-E mix grid considered
- Focus on climate change impact

CIGRE 2023 - Paper #129: Investigating Contribution Pathways
Towards Global Net-Zero using Life Cycle Assessment



Hotspot identification



1. Gas (SF₆)

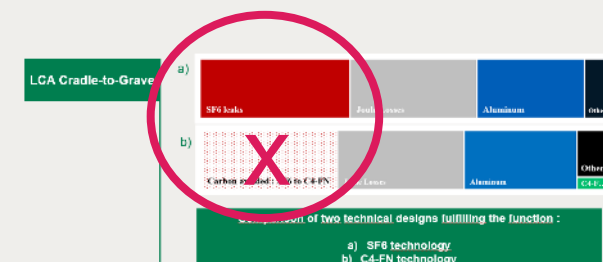
2. Aluminum

Ecodesign levers definition

1. Gas change

2. Alternative material

Action



1. Move from SF₆ to SF₆-free technology

2. Introduce low-carbon material

Conférence du Comité National Français

Achats responsables et résilients : intégrer la durabilité dans les chaînes d'approvisionnement

Emeline CAURAS



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon

16 octobre 2025

La nouvelle politique achats RTE doit permettre de répondre aux différents volets stratégiques du SDDR

➤ Une nouvelle politique achats signée en 2024



Des achats performants et décarbonés au service de la souveraineté industrielle

Pour sortir des énergies fossiles et réindustrialiser le pays, RTE doit tripler ses investissements en 5 ans.
La Direction Achats rend possible ce changement d'échelle en garantissant la compétitivité, la durabilité et la maîtrise stratégique et industrielle de nos achats.

Les fondamentaux pour conduire nos activités

- Respecter une déontologie exemplaire
- Mettre systématiquement en concurrence à partir d'une prescription standardisée
- Elaborer et piloter des marchés pour maximiser la performance globale dans la durée
- Faire émerger et sélectionner des offres compétitives dans une vision « coût complet »
- Systématiser l'intégration de critères RSE dans les consultations
- Maintenir une vigilance permanente sur les conditions de travail et de sécurité

Mobiliser l'écosystème fournisseurs autour du défi des investissements

- Sécuriser les approvisionnements en s'assurant de la disponibilité de l'offre fournisseur par des marchés adaptés aux évolutions du monde industriel
- Faire de nos fournisseurs les partenaires de nos trajectoires d'investissements en leur donnant de la visibilité, au travers de contrats longs et d'engagements réhaussés
- Calibrer et dérisquer la logistique industrielle associée à nos activités au regard des enjeux de développement et de résilience du réseau

Contribuer activement à la souveraineté industrielle

- Renforcer la résilience de la chaîne de valeur en France et en Europe, en réduisant les dépendances stratégiques
- Ancrer une dynamique d'engagements réciproques permettant le développement de capacités de production de proximité
- Participer activement au renforcement de la filière des réseaux électriques français

Être leader en matière d'achats responsables pour contribuer à une société bas carbone

- Réduire durablement l'empreinte carbone de nos achats et engager avec nous l'ensemble de notre chaîne de valeur
- Contribuer à la structuration d'une filière de transformation et valorisation des déchets en lien avec nos activités
- Poursuivre la réalisation d'achats concourant à la vitalité des territoires (TPE, PME...) et inclusifs (STPA, insertion...)

Politique Achats et Logistique



Xavier PIECHACZYK
Président du Directoire



Thérèse BOUSSARD
Directrice Générale du Pôle Gestion de l'Infrastructure



Clotilde LEVILLAIN
Directrice Générale du Pôle Clients, Conception et Opération des Systèmes



Sophie MOREAU-FOLLENFANT
Directrice Générale du Pôle Transformation, Environnement, Salariés



Thomas VEYRENC
Directeur Général du Pôle Economie, Stratégie et Finances

➤ Empreinte carbone : consommation de ressources minérales X 3 à 5

➤ Passage à l'échelle

➤ Stratégie de la chaîne d'approvisionnement

➤ Acceptabilité des projets
➤ Vitalité des territoires

Un exemple : le recyclage de l'aluminium des câbles aériens déposés du réseau RTE



➤ Une expérimentation concluante avec un câblier

07/11/2023

NATIONAL ENTREPRISE RESPONSABLE

👍 0 🗨️ 0 🔄 2

Câbles aériens en aluminium recyclé : une première pose sur le réseau

Cet été, RTE a pour la première fois expérimenté la pose de câbles électriques aériens composés d'un alliage d'aluminium (almélec) en partie réalisé à partir de matière recyclée. Ces câbles ont été installés dans le département de Maine-et-Loire, sur la ligne 225 kV Cholet-Distré ainsi que sur la ligne à 90 kV Egletons-Naves-Eyrein, dans le département de la Corrèze. Ils ont été fabriqués en utilisant une part de matière issue d'un câble usagé, retiré du réseau RTE en vallée de la Maurienne.



- Sécurité d'approvisionnement
- Intérêt économique
- Meilleure empreinte environnementale
- Gain CO2 (scope 3) : rapport de 1 à 15 (impact carbone aluminium recyclé en France vs aluminium primaire hors France)
- Pas de sous-cyclage de notre aluminium en surplus
- Meilleure traçabilité de la matière



Jusqu'à 30 % d'aluminium recyclé dans les nouveaux câbles (faisabilité technique confirmée sur certaines technologies, passage à l'échelle qui dépend de l'engagement des fournisseurs)



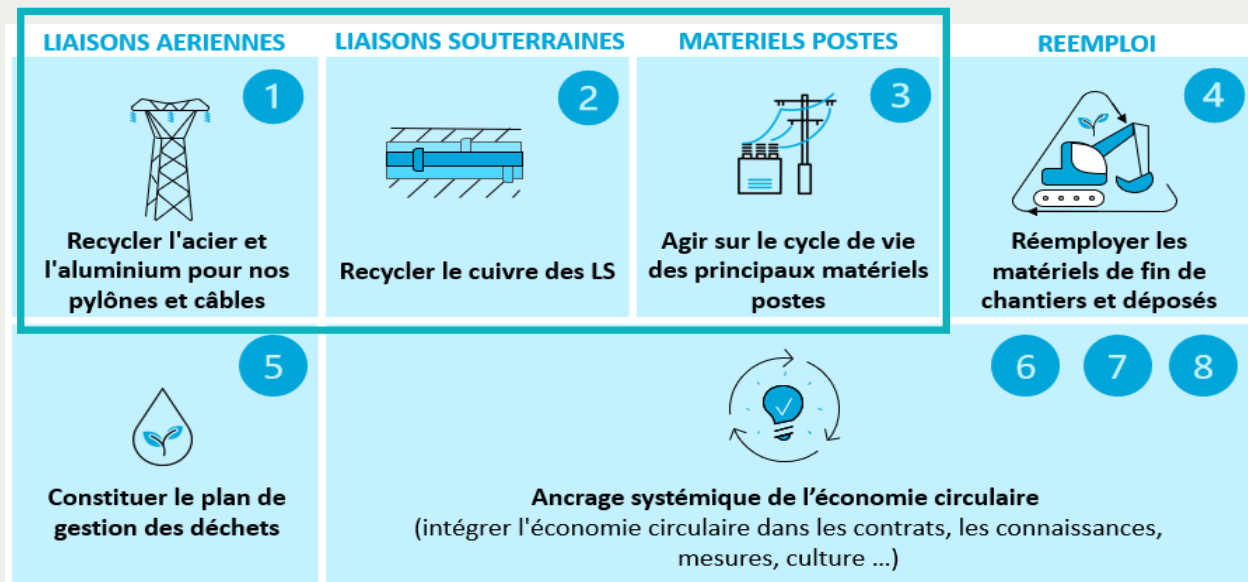
17 000 tonnes d'ici 2030

RTE mobilise d'autres câblers en vue d'un passage à l'échelle


Cible : 30% d'aluminium recyclé dans les nouveaux câbles d'ici 2040

L'enjeu : industrialiser la démarche et rendre plus durable la chaîne d'approvisionnements de RTE

➤ Mettre en mouvement tous les acteurs de la chaîne de valeur Achats



Plan d'actions économie circulaire
RTE

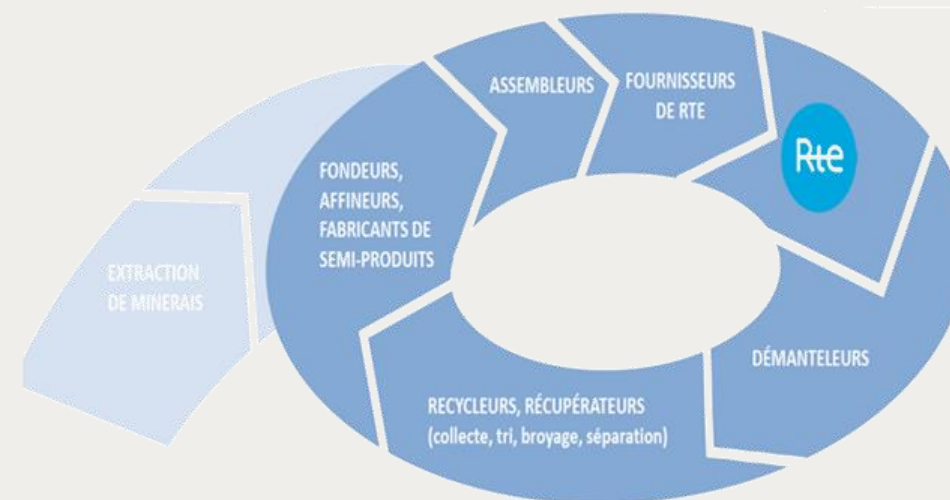



6 expérimentations en cours ou à venir sur le recyclage de l'aluminium, du cuivre et de l'acier (en boucle ouverte et/ ou fermée)



Perspectives 2030

- Cuivre (câbles aériens, souterrains, transformateurs de puissance)
- Acier des pylônes



Conférence du Comité National Français

La résilience vue par les organisations normatives internationales IEC et IEEE

François Trichon

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025



cigre

For power system expertise

Life Is On

Schneider
Electric

Enjeux climatiques et vulnérabilités



SEG 13 report



IEEE PES TR123

- **définition : Fiabilité versus Résilience**
- **Intensification des événements extrêmes : canicules, inondations, tempêtes, incendies, séismes.**
- **Vulnérabilités des équipements électriques : transformateurs, lignes, postes, câbles.**
- **Risques pour la continuité du service et la sécurité énergétique mondiale.**



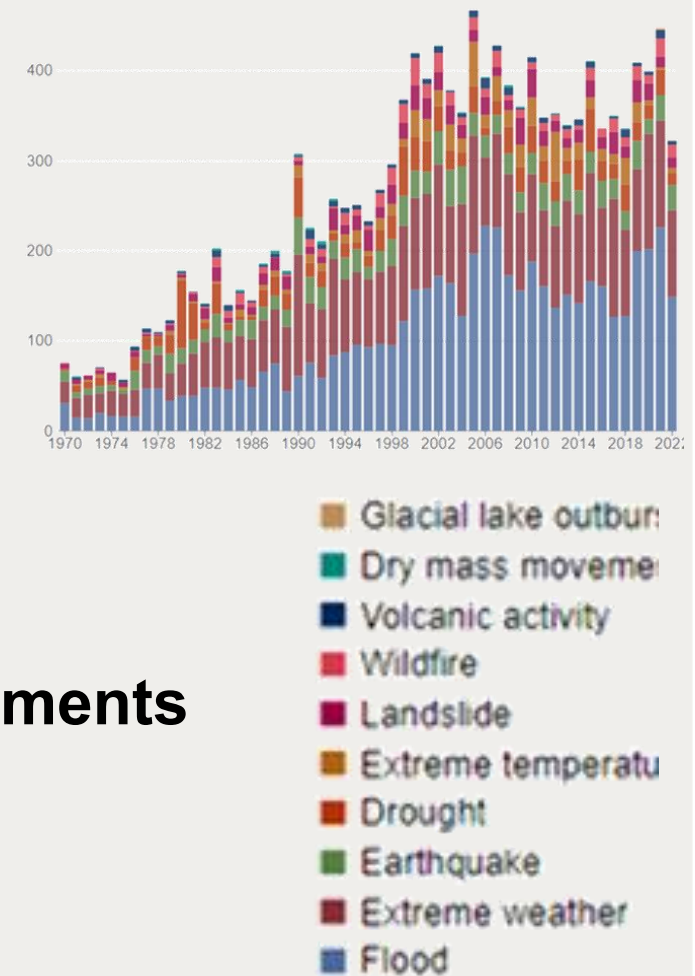
Approches stratégiques



IEEE



- ✓ IEC SEG13 : analyse par type de catastrophe, technologies émergentes (capteurs, IA, UAV, télédétection), recommandations normatives.
- ✓ IEEE PES TR123 : vision systémique, durcissement des infrastructures, résilience multi-niveaux, cadre d'évaluation, priorisation des menaces.
- ✓ Complémentarité : IEC focalisé sur les équipements et la normalisation ; IEEE sur les systèmes, les métriques et les politiques énergétiques.





- ✓ IEC SEG13 : la cybersécurité est un facteur transversal dans la protection des infrastructures critiques.
 - L'IEC a publié des White Papers sur la cybersécurité dans les environnements énergétiques intelligents
- ✓ IEEE PES TR123 : La cybersécurité est considérée comme indissociable de la résilience : un réseau peut être physiquement robuste mais vulnérable aux attaques numériques.
- ✓ Les deux organisations convergent vers une résilience globale : physique, climatique et numérique.

Compétences et recommandations pour les ingénieurs

- **Comprendre les interactions climat/infrastructure électrique et les risques extrêmes.**
- **Maîtriser les technologies de monitoring : capteurs, IA, télédétection, radars, fibre optique.**
- **Participer à l'élaboration de normes internationales (IEC, IEEE) pour la résilience.**
- **Étudier des cas concrets : séismes (Wenchuan, Bam), incendies (Californie), inondations (Henan, Rhode Island).**
- **Développer des stratégies de réponse rapide et de restauration post-catastrophe**
- **Développer des compétences en cybersécurité opérationnelle.**

Conférence du Comité National Français

Perspective internationale : durabilité et performance environnementale des systèmes électriques face aux transitions

Marcela MANTILLA



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon
16 octobre 2025

CIGRE's Study Committees and domains of work

Group A Equipments	Group B Technologies	Group C Systems	Group D New materials and IT
<p>A1 Power generation and electromechanical energy conversion</p> <p>A2 Power transformers and reactors</p> <p>A3 Transmission and distribution equipment</p>	<p>B1 Insulated cables</p> <p>B2 Overhead lines</p> <p>B3 Substations and electrical installations</p> <p>B4 DC systems and power electronics</p> <p>B5 Protection and automation</p>	<p>C1 Power system development and economics</p> <p>C2 Power system operation and control</p> <p>C3 Power system sustainability and environmental performance</p> <p>C4 Power system technical performance</p> <p>C5 Electricity markets and regulation</p> <p>C6 Active distribution systems and distributed energy resources</p>	<p>D1 Materials and emerging test techniques</p> <p>D2 Information systems, telecommunications and cybersecurity</p>

Outcomes

- ✓ Technical Brochure (WG)
- ✓ Papers (Symposium and Paris session)

C3: Power System Sustainability and Environmental Performance

Technical Directions



1 – Asset management and environment

- ☐ Life cycle (from cradle to grave): from planning to decommissioning
- ☐ Risk assessment
- ☐ Tools and measures



2 – Sustainability: rôle of the power sector

- ☐ Next trends
- ☐ Anticipating future challenges and their implications
- ☐ Renewables (global approach)



3 – Stakeholders' engagement and public acceptance

- ☐ Engagement strategies
- ☐ Improvement of decision-making process

Working groups

AG C3.01

EMF and Human Health

JWG A2/C3.70

Lifecycle assessment of transformers

JWG B1/C3.85

Environmental impact of decommissioning of underground and submarine cables

JWG C3/B2.24

Methods of reducing electrocution of birds from power lines

WG C3.22

Vegetation management in substations

WG C3.25

Ecodesign methods for the power system

JWG B3.A2.A3.C3. D1.66

Guidelines for life cycle assessment in substations considering the carbon footprint evaluation

Preferential subjects C3 – Paris Session 2026



PS1 - Biodiversity conservation & enhancement. Towards positive contribution.

- ☐ Mitigating the impact from power system infrastructure: new generation facilities, transmission and distribution. Preventive and corrective measures: nature inclusive design, commissioning, asset management and end of life
- ☐ Offsetting measures & ecosystems restauration. Net Zero impact and positive impact. How to measure?
- ☐ New standards regarding biodiversity. i.e. IPBES; TCNFD



PS2 - Building a more sustainable power system for the future

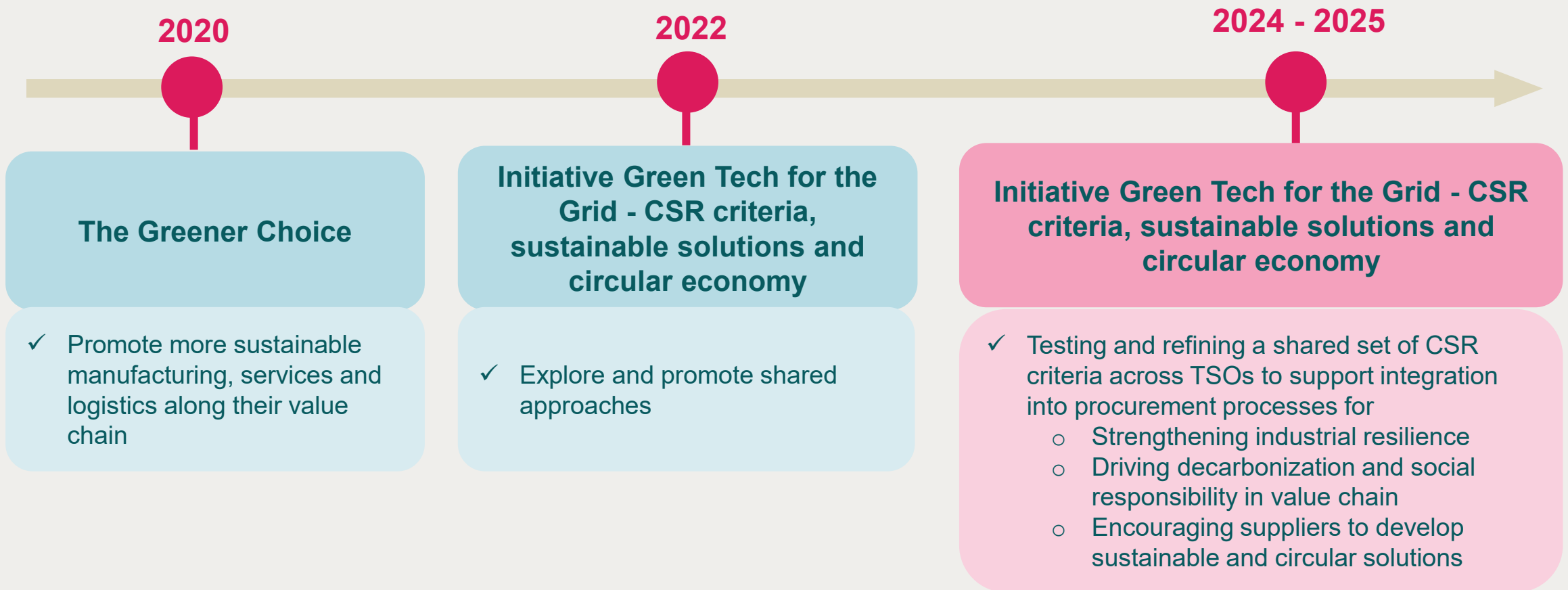
- ☐ Identification, quantification and assessment of impacts. Tools and methodologies. LCA approach, considering climate change and beyond
- ☐ Eco-design to reduce impacts
- ☐ Innovative solutions to enhance circularity



PS3 - Disclosing sustainability

- ☐ Reporting standards & regulation. Indicators
- ☐ Stakeholder reporting requirements. Impact of disclosure on social perception and acceptance
- ☐ Value chain information, strategies and methodologies to obtain complete and reliable information

Advancing Sustainability and CSR in Procurement: A Collaborative TSO Perspective



Le moment des questions/réponses



Conférence du Comité National Français

Conclusion et Clôture

Vincent Thouvenin
Président de CIGRE France



cigre

For power system expertise

Bâtiment Gaston Berger - INSA Lyon

16 octobre 2025

Vincent THOUVENIN Président de CIGRE France

NGN: Next Generation Network



Membre Etudiant & Doctorants - Gratuit

Rejoignez CIGRE France et propulsez votre carrière dans les réseaux électriques !

Le secteur énergétique connaît des évolutions majeures, et CIGRE est au cœur des avancées techniques et des innovations. L'adhésion Étudiant, réservée aux étudiants et doctorants, vous offre des opportunités uniques pour enrichir vos connaissances, développer vos compétences et commencer à bâtir un réseau professionnel influent.

cnf-cigre.org

🎓 **Adhésion Étudiant & Doctorant — Gratuite avec CIGRE France**
Rejoignez la communauté qui façonne les réseaux électriques de demain !

🚀 **Ce que vous apportera votre adhésion**

- **Accès gratuit** à toutes les ressources CIGRE (e-cigre.org, ELECTRA, webinaires, conférences).
- **Réseau d'experts** : échangez avec professionnels, jeunes ingénieurs et chercheurs du monde entier.
- **Participation** aux projets, groupes de travail et événements phares du secteur.
- **Communautés dédiées** : *Next Generation Network* (<35 ans) & *Women in Energy*.

📄 **Conditions**

- Étudiants & doctorants : **adhésion gratuite** (justificatif annuel).
- **+1 an après diplôme** possible sur présentation du justificatif de diplomation. (ça tu verifies avec gerald, mais c'est les dernières infos)

👉 **Adhérez dès maintenant via le CNF / CIGRE France**
et démarrez votre carrière au cœur de la transition énergétique.

Merci à toutes et tous !



cigre

For power system expertise