

The logo for RTE (Réseau de Transport d'Électricité) is a blue circle containing the white text 'Rte'.

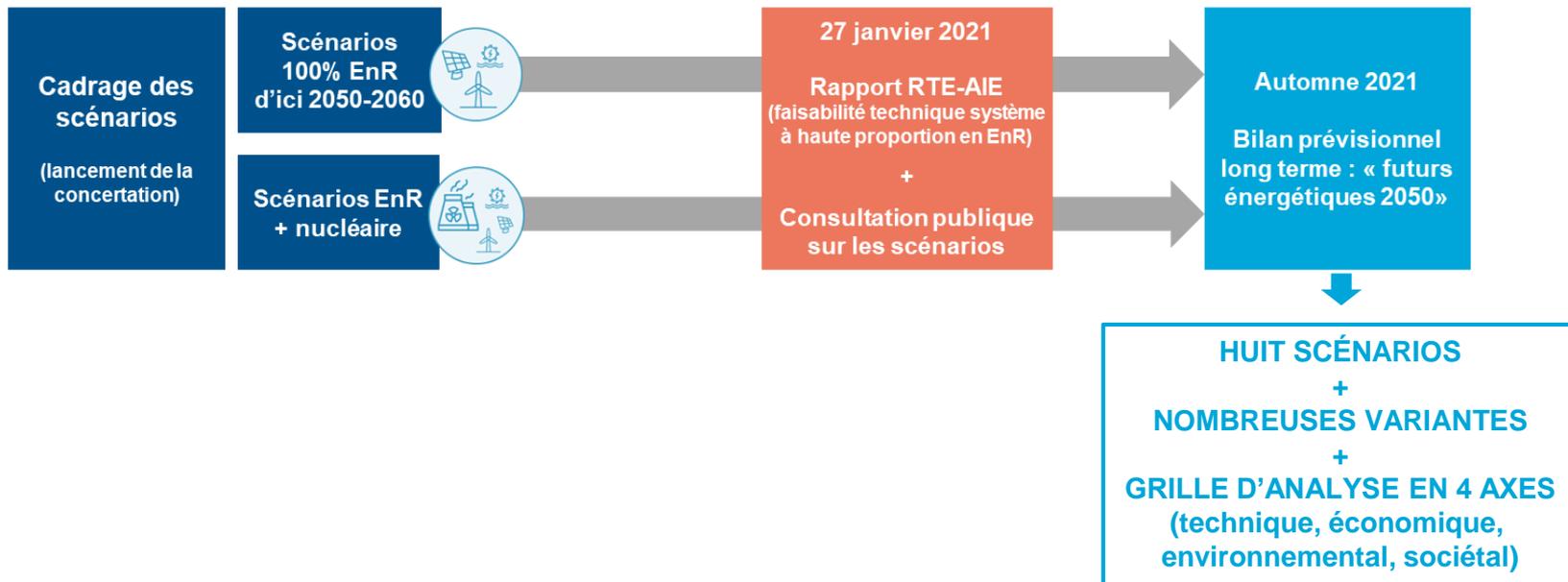
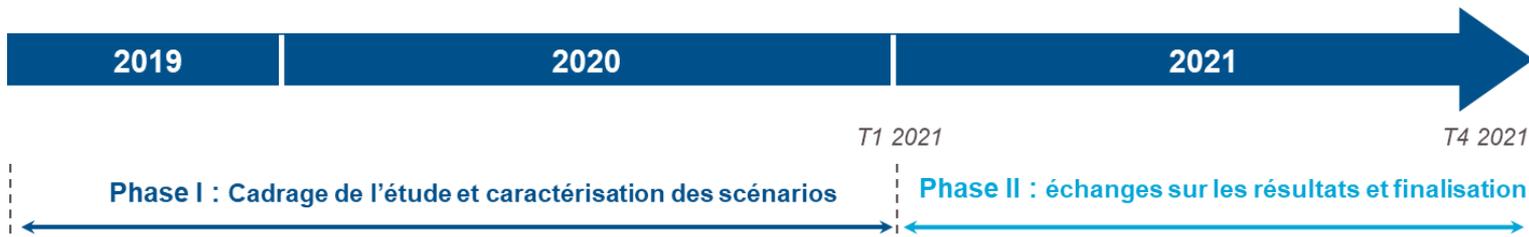
Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050

Chaire MPDD, séminaire EnR n°3, 25 mars 2021



**Le cadrage général
de l'étude des scénarios
« futurs énergétiques 2050 »**

Le rapport RTE-AIE constitue un point intermédiaire dans les travaux d'analyse des scénarios sur les « futurs énergétiques 2050 »



Les éléments de cadrage et la grille d'analyse des scénarios 2050

- Cadrage général des prochains scénarios de long terme :
 - ① articulé autour de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 et des trajectoires de la SNBC
 - ② avec des trajectoires (pas uniquement le point d'arrivée)
 - ③ en intégrant les conséquences du changement climatique
 - ④ avec une modélisation complète du système à l'échelle européenne, et avec une représentation des couplages entre l'électricité et les autres vecteurs (gaz, chaleur...)
- Une description des scénarios selon 4 axes principaux :
 -  Description technique du système
 -  Description des enjeux environnementaux
 -  Description économique
 -  Description des enjeux sociétaux (implication sur les modes de vie)



Un effort inédit de concertation avec les parties prenantes est engagé depuis 18 mois

- **Objectif** : garantir une transparence complète sur les hypothèses et le cadrage de l'analyse et donner l'opportunité aux parties prenantes de s'exprimer à chaque stade de l'analyse
- **Dispositif** :
 - 9 groupes de travail techniques réunissant de manière régulière des experts de chaque domaine et l'ensemble des parties prenantes intéressées
 - Consultation publique avec plusieurs centaines de pages de réponses
- Fort intérêt, avec de nombreux participants et des échanges constructifs
- **Participants** : énergéticiens, ONG (Negawatt, RAC, Greenpeace, FNE, FNH, WWF, CLER), OS (CGT, CFDT, CFE-CGC, FO, Sud), organisations professionnelles, chercheurs et think-tanks

Instance plénière de concertation



Groupes de travail <i>(partage de la méthode et des hypothèses)</i>	Réunions
GT 1 « Référentiel climatique »	●●●●
GT 2 « Consommation »	●●●●●●
GT 3 « Cadrage et scénarisation »	●●●●
GT 4 « Interfaces électricité et autres vecteurs »	●●●
GT 5 « Dynamiques sociétales »	●●
GT 6 « Environnement »	●●
GT 7 « Flexibilités »	●●
GT 8 « Fonctionnement du système électrique »	●●●●
GT 9 « Coûts »	●●



Consultations publiques

Sur les différents éléments de cadrage et hypothèses

Huit scénarios d'étude principaux

Scénarios « 100% EnR d'ici 2050-2060 »

M1

EnR répartition diffuse
sur le territoire

M2

EnR bouquet
économique

M3

Énergies marines
renforcées

M0

100% EnR en 2050

Mix en 2050



EnR : ~85%



Nuc. : ~15%

(avec différents mix éolien terrestre /
éolien en mer / photovoltaïque)



EnR : ~100%

Scénarios « EnR + nucléaire »

N1

EnR + nucléaire 1
(~8 nouveaux EPR en 2050)

N2

EnR + nucléaire 2
(~16 nouveaux EPR en 2050)

N3

Renouvellement
accéléré du parc
nucléaire

N0

50/50 avec
renouvellement
progressif

Mix en 2050



EnR : ~75-80%



Nuc. : ~20-25%



EnR : ~65-70%



Nuc. : ~30-35%



EnR : ~50%



Nuc. : ~50%



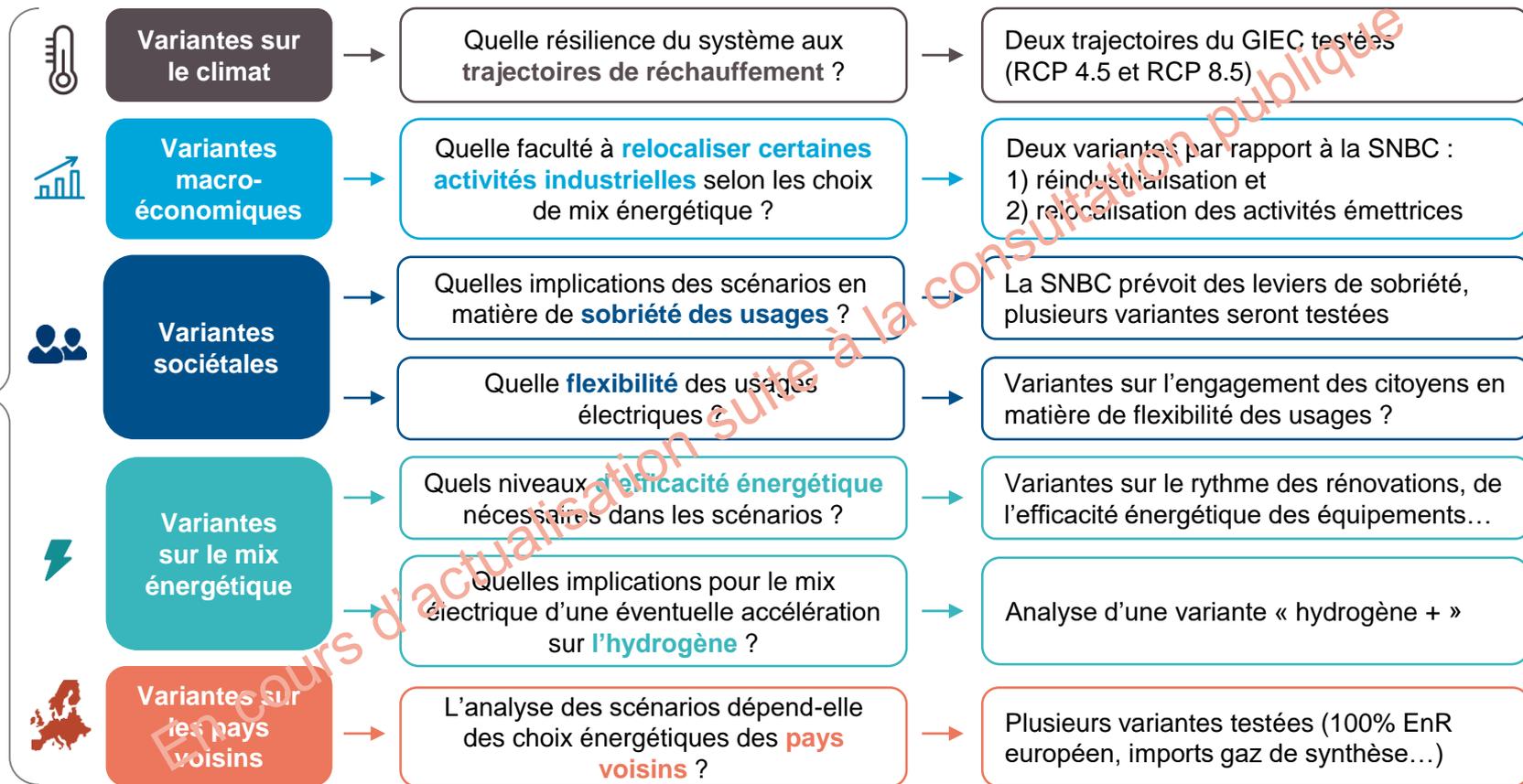
EnR : ~50%



Nuc. : ~50%

... ainsi que de nombreuses variantes pour tester la sensibilité des scénarios à différentes évolutions possibles

Liste non exhaustive



Conditions and Requirements for the Technical Feasibility of a Power System with a High Share of Renewables in France Towards 2050

International
Energy Agency

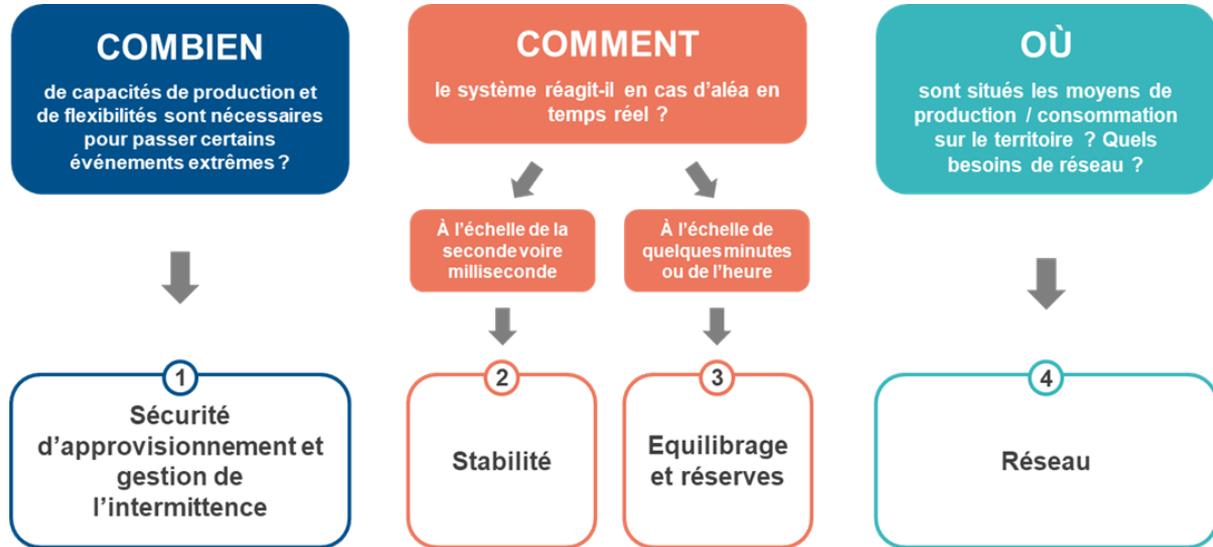


2

Rapport RTE-AIE « Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050 »

Une analyse approfondie des enjeux techniques associés aux scénarios à forte part EnR en partenariat avec l'AIE

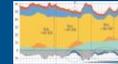
- A la demande de la ministre de la Transition écologique et solidaire, RTE a réalisé, en partenariat avec l'AIE une analyse spécifique des enjeux sur le fonctionnement technique d'un mix à haute part d'EnR
- Ces analyses mettent en évidence les conditions à remplir pour assurer l'intégration massive des énergies renouvelables sur le plan technique



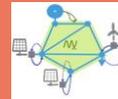
- L'analyse ne porte pas à ce stade sur les enjeux économiques, environnementaux et sociétaux qui feront l'objet de l'étude des scénarios du prochain Bilan prévisionnel long terme

Les grands enseignements à l'issue du rapport RTE-AIE

1. Quoi qu'il arrive, la France comme la plupart des autres pays s'oriente vers **un système qui dépendra largement de l'électricité et des énergies renouvelables variables**
2. Il y a un consensus pour dire qu'il existera des solutions techniques pour accueillir en France, comme ailleurs, de « fortes parts d'ENR variables » en 2050 : les solutions techniques existent au moins à l'état de démonstrateur...
3. ...mais attendre des hautes parts d'énergies nécessite de valider de manière simultanée un grand nombre de conditions sur le plan technique (système / réseau). Principaux défis, après 2035 : **(i) industrialisation, (ii) test à grande échelle et combinaison, (iii) déploiement et installation dans un pays aussi étendu et interconnecté que la France**



Suffisamment de capacités flexibles



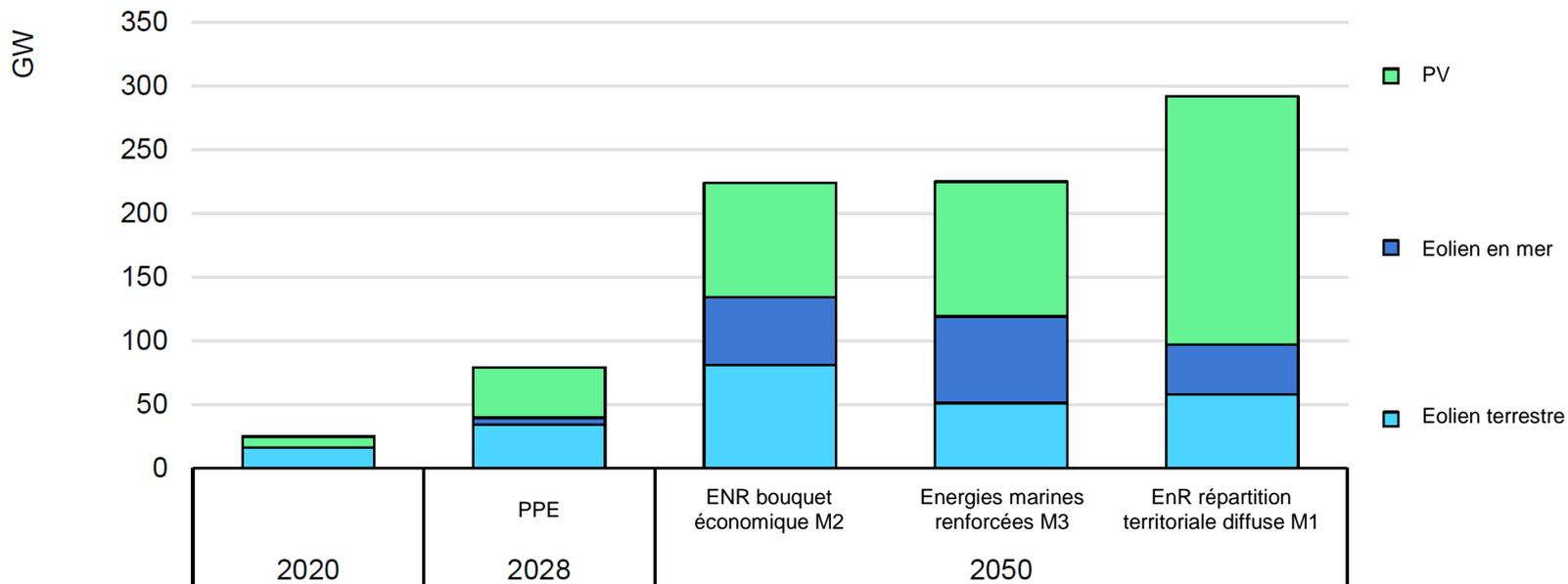
Changement radical du système électrique : plus variable, plus « smart » et automatisé



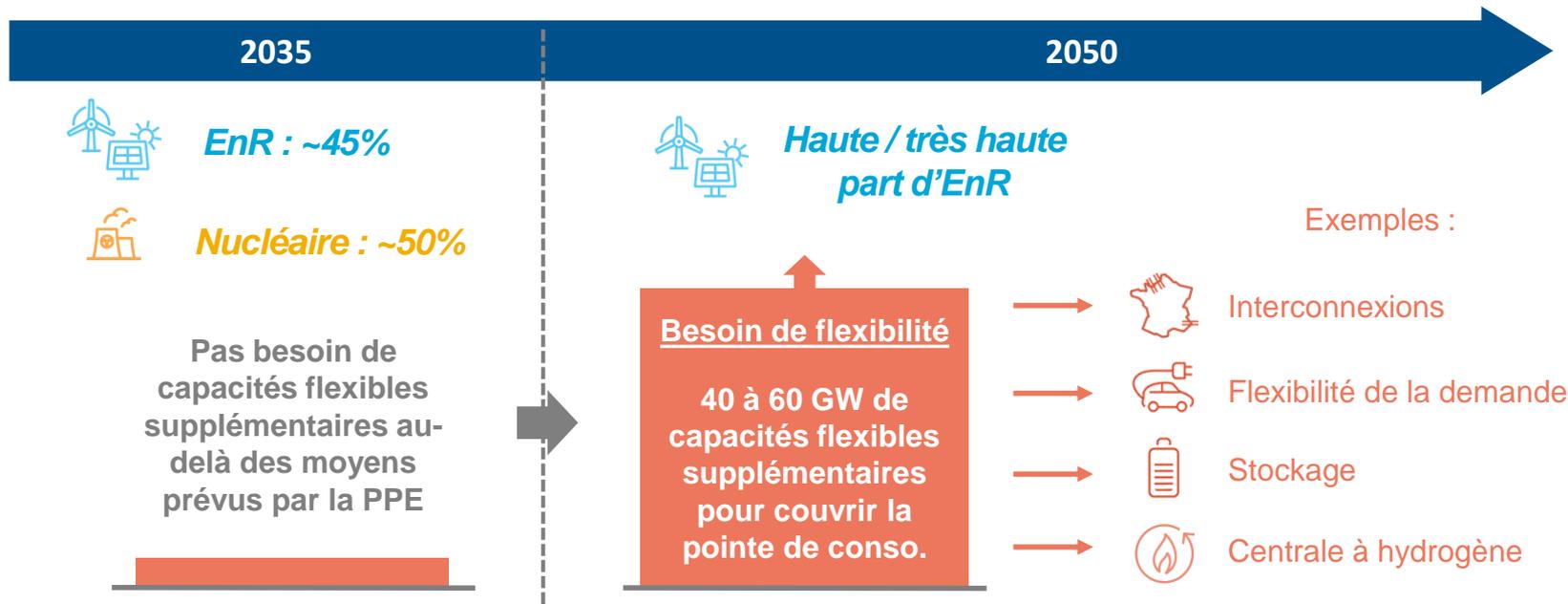
Evolutions structurantes du réseau

- **Prolongement sur les études prospectives** : analyse complète dans le BP2050
- **Prolongement industriel** : **2 feuilles de route** pour l'expérimentation et l'industrialisation des solutions technologiques pour **compenser la variabilité des EnR** et pour la **stabilité du système**

Gestion de la variabilité EnR : des scénarios tendant vers 100% EnR avec des mix différenciés



Gestion de la variabilité EnR : l'intégration massive des EnR nécessite donc de développer une combinaison de solutions de flexibilité

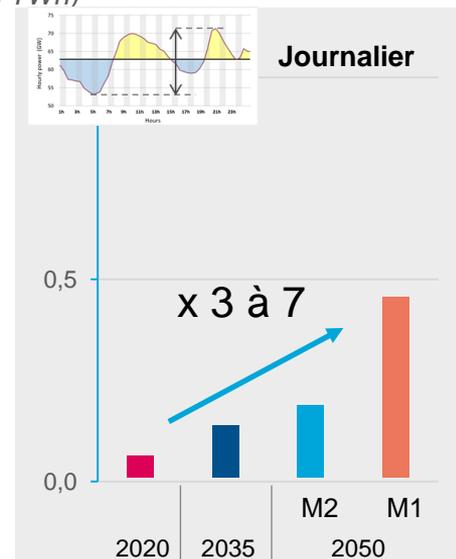
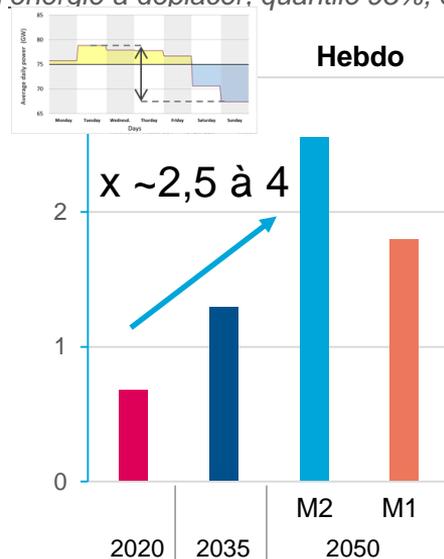
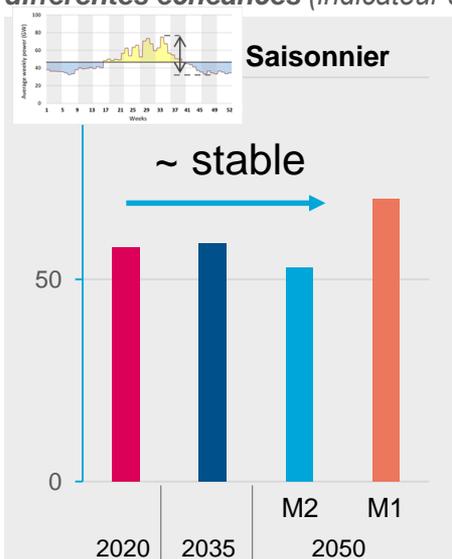
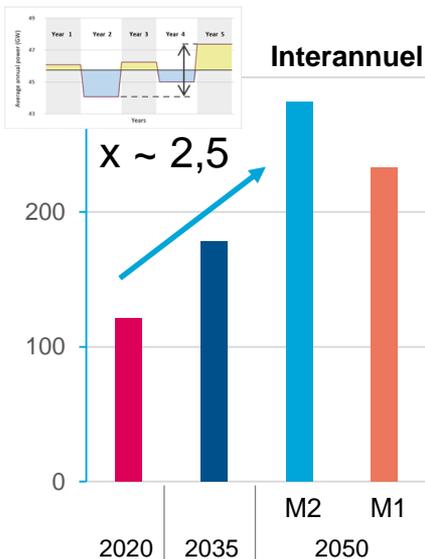


- Une évaluation approfondie des besoins et des coûts / impacts associés dans la future étude de RTE
- Besoin d'une feuille de route volontariste sur le mix de flexibilités décarbonées engageant les pouvoirs publics et les industriels

Gestion de la variabilité EnR : des besoins de modulation en très forte croissance dans un mix vers 100% EnR

- Les analyses menées conjointement par RTE et l'AIE montrent qu'à l'horizon 2050, les besoins de flexibilité augmentent fortement dans tous les scénarios
- Les plus grandes évolutions sont attendues pour les variations hebdomadaires et journalières qui augmentent pratiquement d'un ordre de grandeur
- Le PV accroît les besoins de flexibilité aux échéances journalière et saisonnière

Évolution des besoins de modulation d'un mix tendant vers 100% EnR selon les différentes échéances (indicateur d'énergie à déplacer, quantile 95%, en TWh)



M2 : mix vers 100% avec beaucoup d'éolien

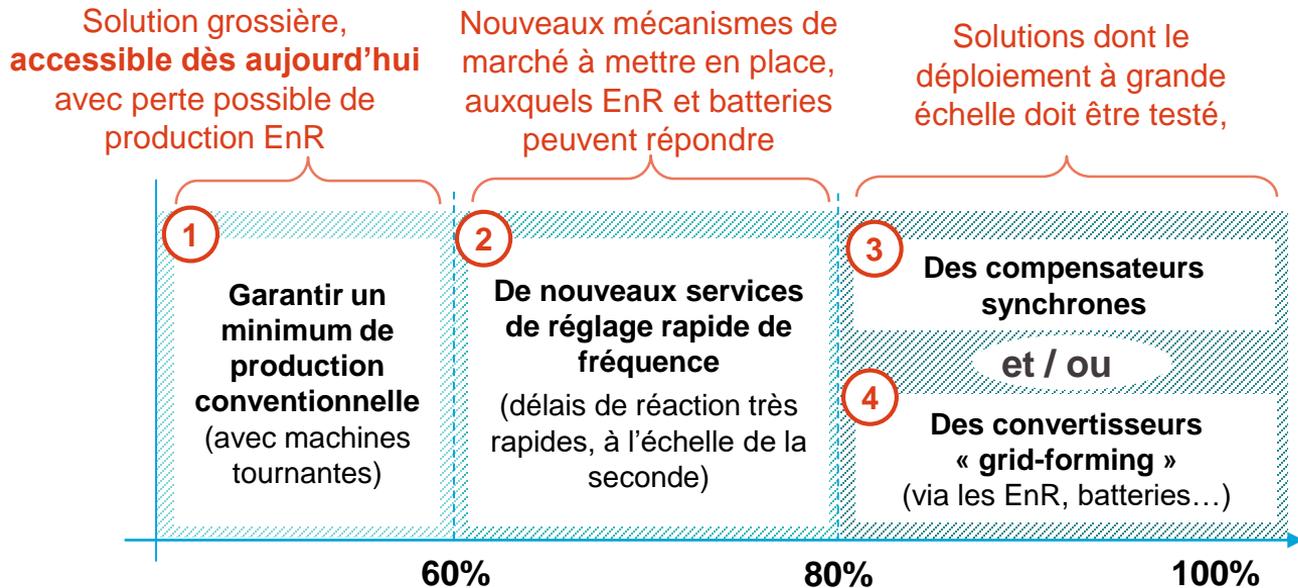
M1 : mix vers 100% avec beaucoup de PV

Stabilité : de nouvelles solutions à tester et à développer (+ cf. présentation de T. Prévost - RTE)

➤ Point de départ du débat :

« **Moins de centrales nucléaires & thermiques = moins de machines tournantes pour stabiliser le système** » (en l'état actuel, les énergies renouvelables ne fournissent pas nativement les mêmes services)

➤ Conséquences : de nouvelles solutions à développer pour assurer la stabilité



➤ Enjeu : R&D

➤ Feuille de route stabilité avec expérimentation FR et EU à échéance 2030



Stabilité : une feuille de route grid-forming est déjà définie pour la prochaine décennie

La feuille de route grid-forming repose sur **3 piliers** :

1. Des démonstrateurs...

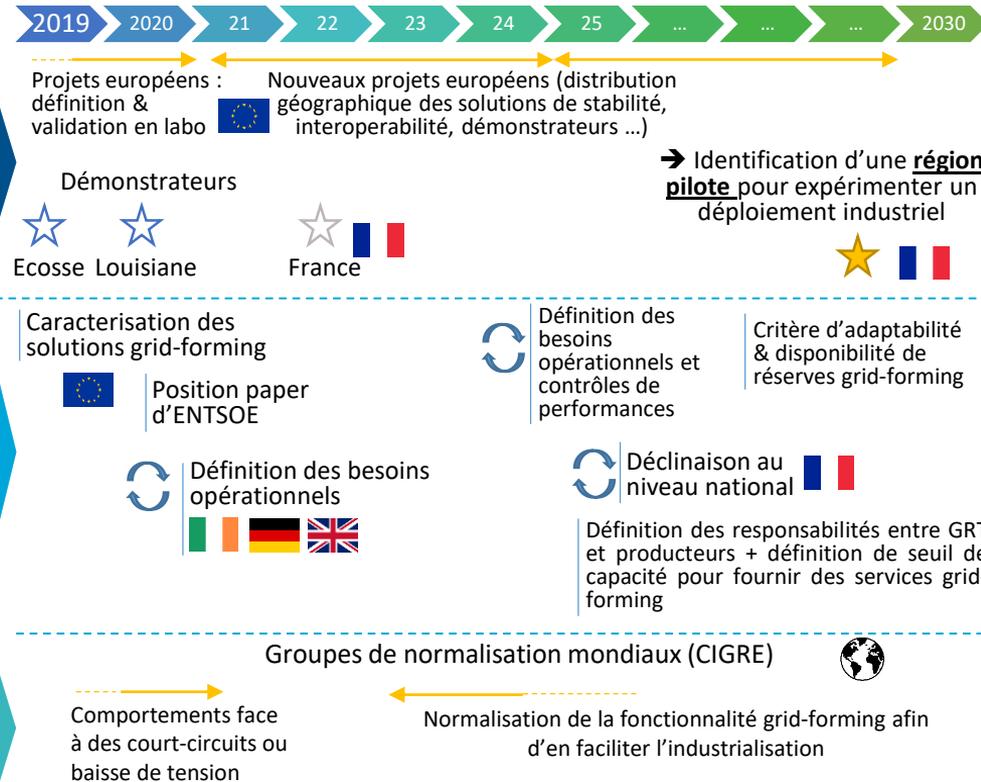
... pour accroître progressivement la confiance des fabricants de convertisseurs et des GRT dans la fiabilité et le niveau de coût raisonnable des solutions grid-forming

2. La consultation des parties prenantes dans le cadre du processus réglementaire...

... afin de préparer une définition européenne harmonisée des exigences et des mesures de performance des solutions grid-forming

3. La participation à la collaboration internationale...

... afin de permettre un marché suffisamment important pour les fabricants de solutions de grid-forming.



Réerves : le dimensionnement des réserves et marges peut être réinterrogé avec le développement massif des EnR

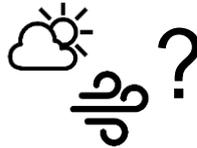
Aujourd'hui

- Réserves automatiques dimensionnées par rapport à un aléa simultané sur les 2 plus gros groupes de production en Europe
- Réserves manuelles dimensionnées essentiellement par rapport aux incertitudes sur les prévisions de consommation



Demain

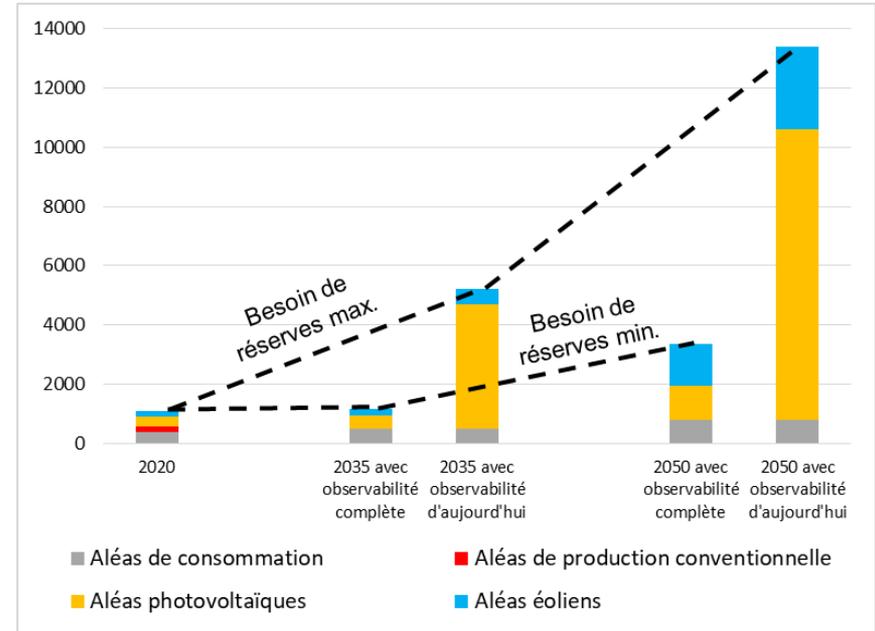
- Réserves potentiellement **redimensionnées** par rapport aux incertitudes sur la production renouvelable
- Dépend beaucoup des **possibilités d'amélioration de l'observabilité du photovoltaïque** et des modèles de prévision éolien, photovoltaïque et de la conso nette



- Les technologies identifiées pour les besoins de flexibilité pourront aussi répondre au besoin de réserves

➤ **ENJEU TECHNIQUE** (R&D, passage à l'échelle)

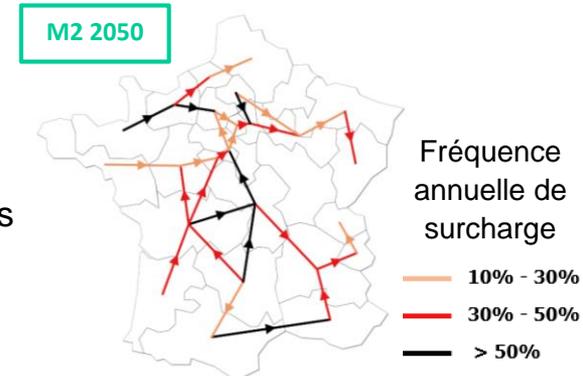
Besoins de réserves mobilisables en 15 minutes (en MW)



Réseau : les réseaux électriques devront radicalement évoluer pour s'adapter à la nouvelle localisation des unités de production et à l'évolution des flux d'énergie

- En France, le réseau de transport actuel joue un rôle de hub dimensionné pour relier la production, la consommation et les interconnexions.
- Une première étape d'adaptation structurelle du réseau (SDDR) est déjà prévue pour les années à venir (approuvée par le ministre et la CRE en 2019 et 2020)
- **Au-delà de 2030 et d'ici 2050, la localisation de la production pourrait être totalement modifiée**, notamment avec :
 - la restructuration du parc nucléaire
 - le développement de la production offshore le long des côtes françaises
 - l'essor de la production photovoltaïque principalement dans le sud
 - une production plus distribuée qu'aujourd'hui vers les réseaux régionaux
 - le développement de flexibilités tant en France que dans les pays voisins
- D'ici 2050, des changements importants dans les réseaux actuels (grand transport, régionaux, interconnexions, en mer) seront nécessaires dans tous les scénarios où la part des EnR est élevée.

2050 : un changement de paradigme dans la structure du réseau



➤ **ENJEU environnemental et sociétal** (emprise « production + réseau + stockage » d'énergie)



Merci pour votre attention

Les scénarios d'évolution du système électrique à l'horizon 2050 : le cadrage général

Les prochains scénarios de long terme :

- 1 ... seront articulés autour de l'objectif de **neutralité carbone** en 2050 et des trajectoires de la SNBC (éclairage pour le débat public sur le mix EnR / nucléaire à long terme et les filières industrielles)
- 2 ... seront présentés sous la forme de **trajectoires** (pas uniquement le point d'arrivée)
 - identification des chemins possibles pour atteindre la neutralité carbone et mise en évidence des jalons de décision et de la valeur d'option des différentes technologies
- 3 ... intégreront une modélisation des **conséquences du changement climatique** sur le système
 - angle mort des études existantes
 - analyse de la résilience des scénarios à des événements climatiques pré-identifiés
- 4 résulteront d'une **modélisation complète du système à l'échelle européenne**, et avec une représentation des couplages entre l'électricité et les autres vecteurs (gaz, chaleur...)
 - une modélisation complexe mais nécessaire pour représenter les effets de foisonnement et l'équilibre entre besoins et services de flexibilité rendus par les différents moyens

Les scénarios sont analysés selon une grille d'analyse définie au cours de la première phase de la concertation

1

Technique



- Description complète du système (production – réseau – consommation), en énergie et en puissance, en 2030, 40, 50, 60
- Projections avec les scénarios RCP 4.5 et 8.5 du GIEC et analyse de résilience avec stress-test climatiques (canicule – sécheresse – grand froid – absence de vent en Europe continentale)

2

Economique



- Coût complet pour la collectivité
- Analyses de sensibilité aux différents paramètres, notamment coût du capital
- Volet spécifique sur la faculté de chaque scénario à intégrer des perspectives de relocalisation / réindustrialisation

3

Environnemental



- Empreinte carbone le long de la trajectoire, en intégrant le cycle de vie des matériels
- « Bilan matières » pour chaque scénario (en lien avec enjeu de criticité)
- Occupation des sols (réseau + production)
- Volume de déchets et polluants

4

Sociétal



- Description exhaustive des implications sur les modes de vie et conditions de validité des scénarios (télétravail vs. mobilité, consommation d'électricité, niveau de sobriété souhaité vs. requis, niveau de flexibilité des usages)
- ATTENTION : le travail du BP consiste à être explicite sur ces dimensions, non à se prononcer sur leur réalisme ou leur désirabilité



Les scénarios d'étude proposés dans la consultation publique

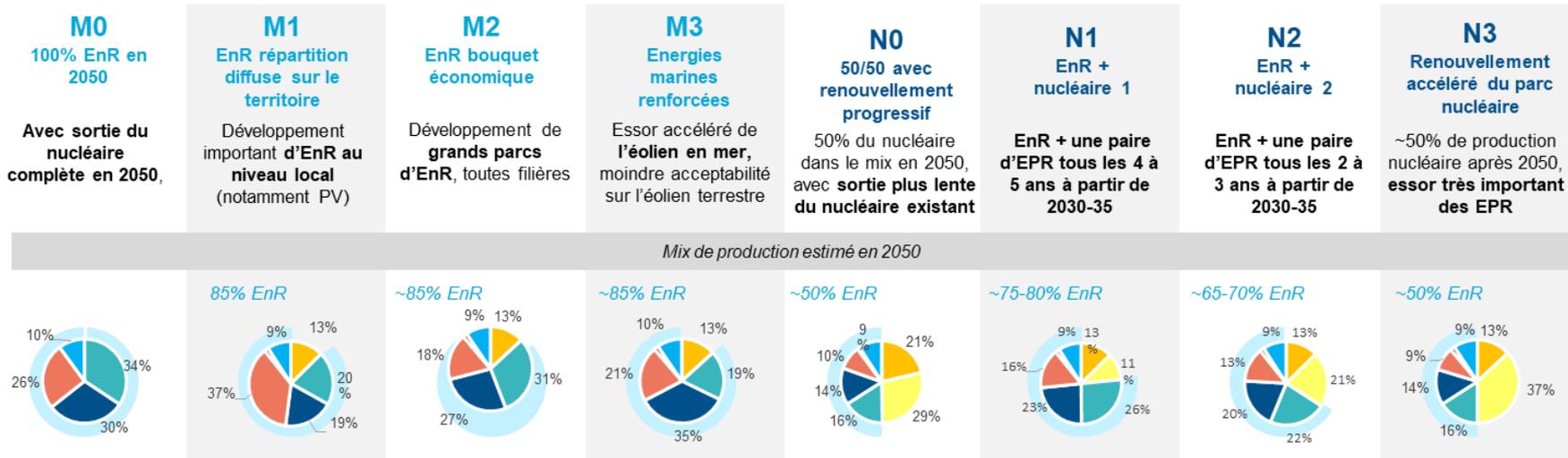
- Huit scénarios d'étude contrastés sur la place des différentes filières dans le mix électrique mais avec systématiquement un développement important des énergies renouvelables



Scénarios « EnR sans nouveau nucléaire »



Scénarios « EnR avec nouveau nucléaire »

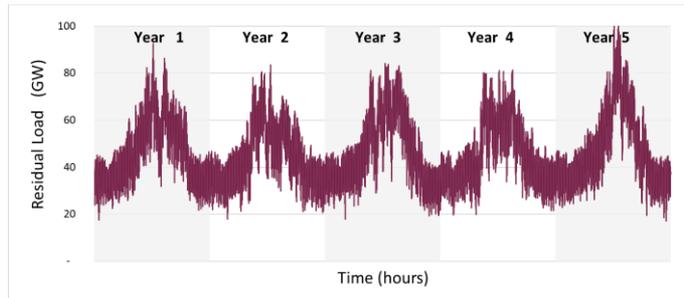


+ un socle macro-économique commun, en cohérence avec la SNBC



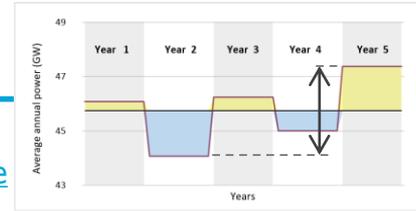
Gestion de la variabilité EnR : la flexibilité est comprise comme la capacité du système à s'adapter aux variations

- Variations « prévisibles » : consommation, production EnR
- Variation incertaines : disponibilités des groupes, météo, fortuits...
- Les besoins de flexibilité s'analysent selon différentes échéances

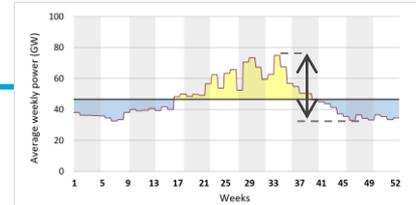


N.B. : le besoin de modulation du système électrique s'établit à partir de la consommation résiduelle (consommation diminuée de la production fatale)

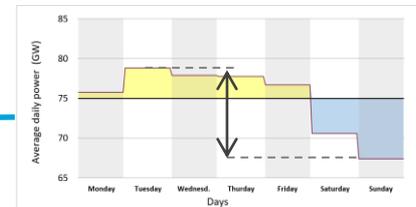
Modulation
interannuelle



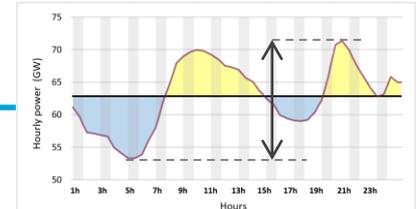
Modulation
saisonnière



Modulation
hebdo



Modulation
journalière



- **Aujourd'hui, la flexibilité du système électrique repose essentiellement sur le nucléaire, l'hydraulique, et le thermique en France et à l'étranger (via les interconnexions)**

