



La flexibilité du parc nucléaire français

Stéphane FEUTRY, EDF

Journée thématique de la SFP, 17 mars 2022

Crédit photo : salarié EDF, CNPE Nogent

2000 années réacteurs au service du système électrique et du pays

La flexibilité du nucléaire, une longue histoire

Les capacités du parc REP EDF en France

Pendant le confinement, un avant goût du mix futur

Les réacteurs flexibles aussi sûrs que les autres

Projections 2030 / 2050

La flexibilité du nucléaire, une longue histoire

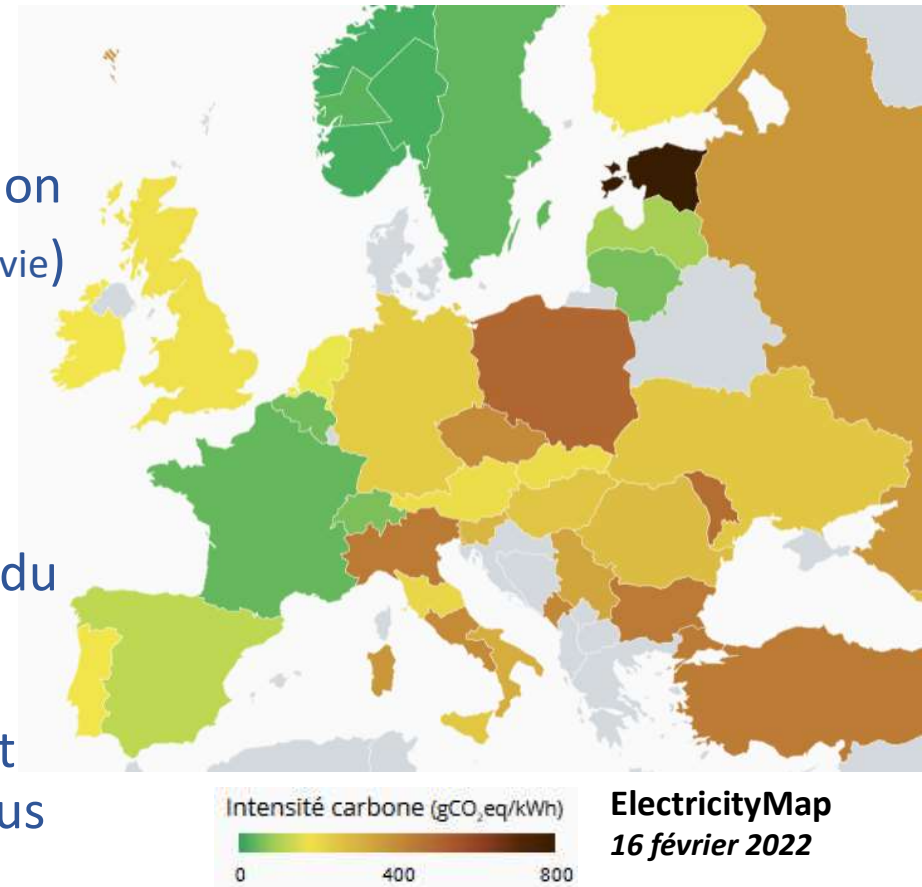
Années 80, part du nucléaire devient prépondérante

- Exportations car très compétitive,
- Modulation si consommation + exports < production
- Production très bas carbone (6 g CO₂/kWh cycle de vie)

Depuis 2010, le développement des énergies renouvelables variables (non pilotables) amplifie les besoins de flexibilité du nucléaire.

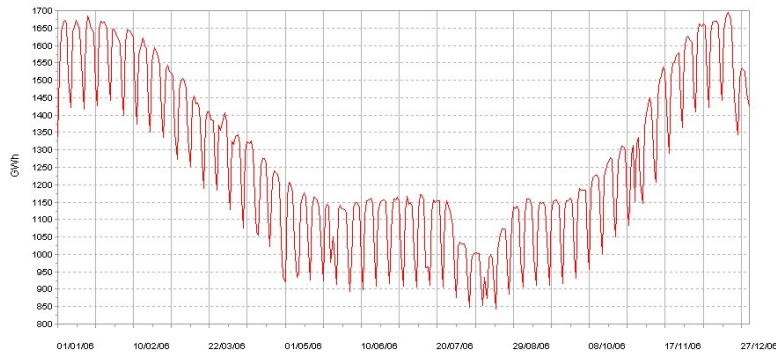
Creux de demande + vent ou soleil → arrêt complet du thermique, des barrages, baisse du nucléaire

2020 : crise sanitaire, baisse de la demande France et Europe (baisse du débouché à l'export) → baisses plus fréquentes et profondes

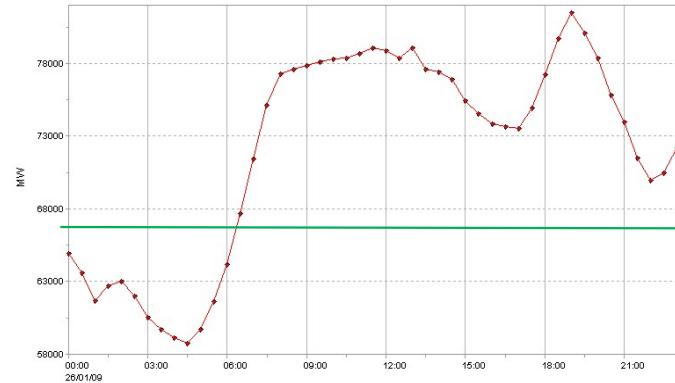


La flexibilité du nucléaire, une déjà longue histoire

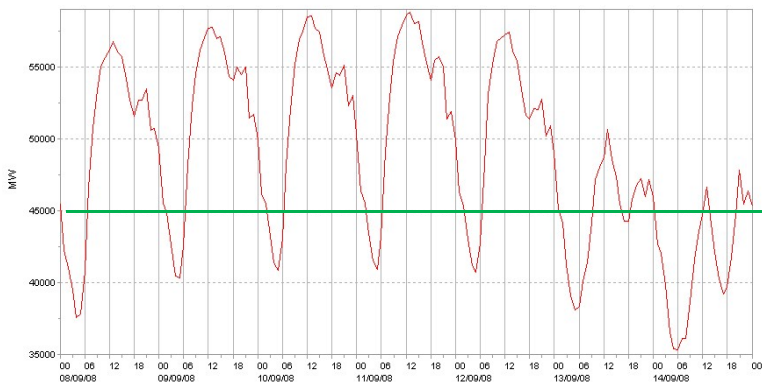
A toutes les mailles de temps, la consommation varie



Annuel : placement des arrêts pour rechargement



Quotidienne :
placement des
baisses de puissance
courtes, ajustements,
réglage de fréquence



Hebdomadaire : placement des baisses de
puissance de durée moyenne (6 à 18h)

L'électricité se stocke peu

Mais l'énergie primaire se stocke bien

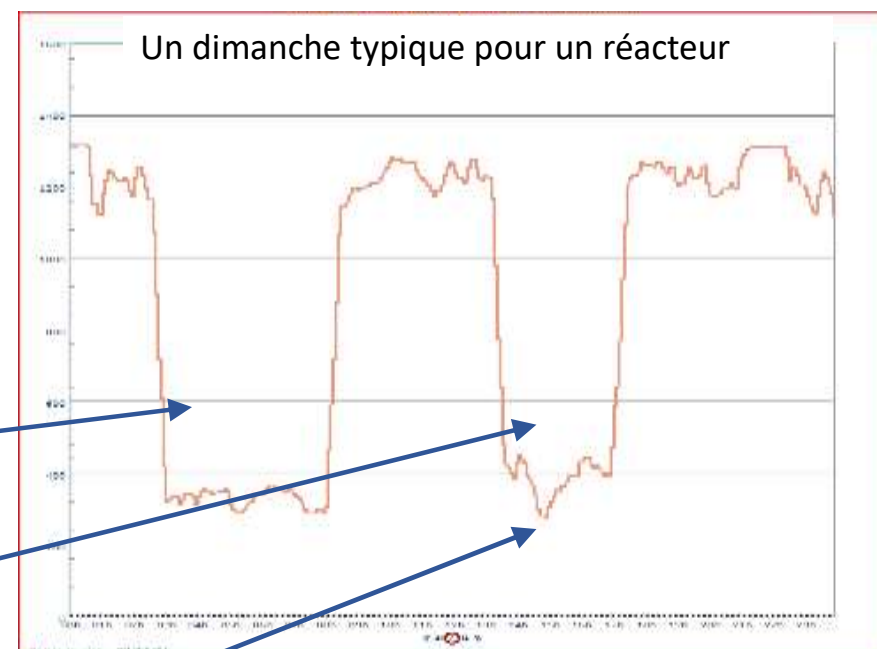
- Charbon, gaz
- Eau des barrages, STEP
- Combustible en cuve des réacteurs

Les capacités du parc EDF en France

- Amplitude 80% de la puissance nominale
- En 1/2 heure
- Deux baisses par jour
- Plage de réglage de fréquence +/- 7%

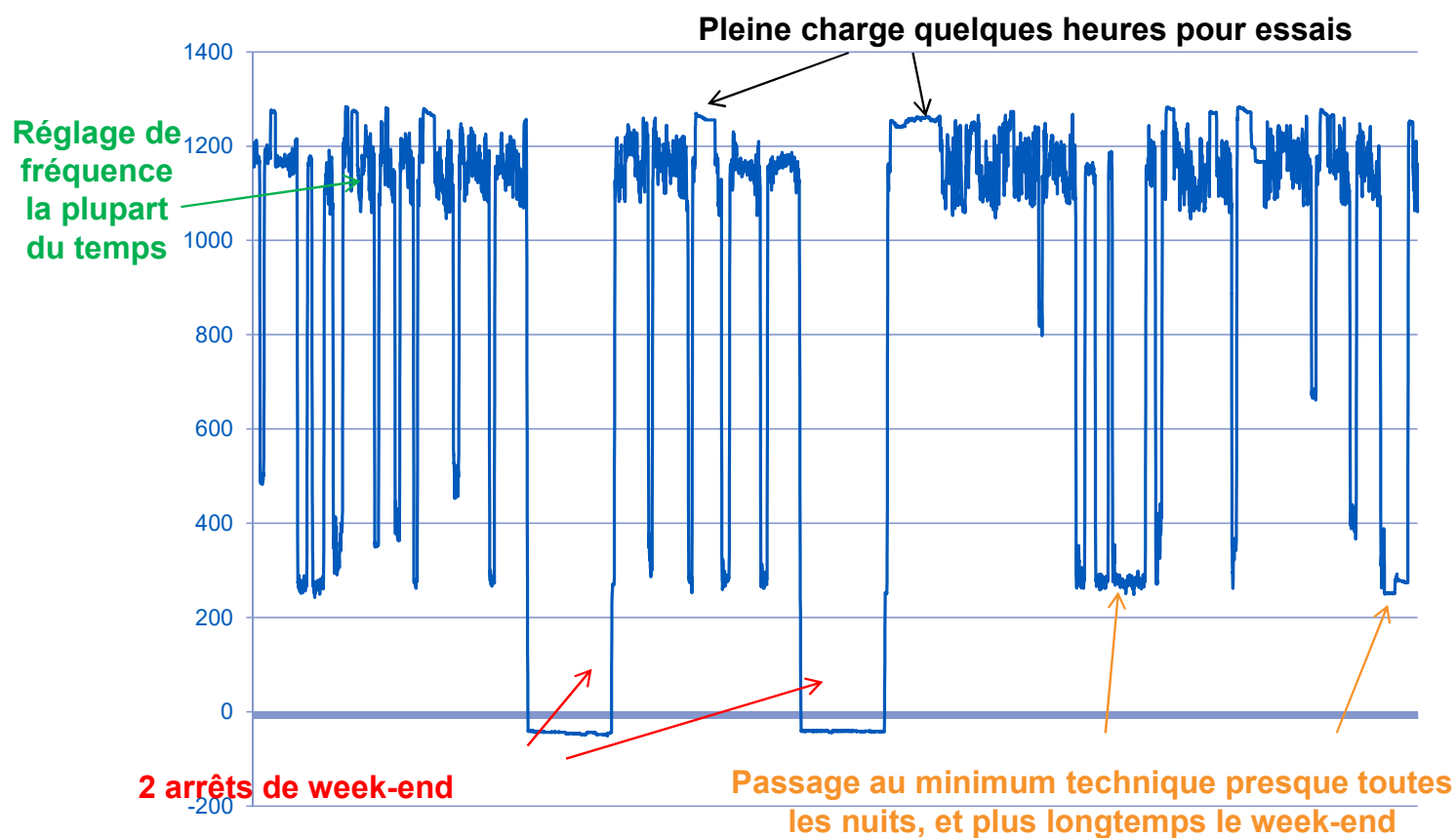
Suffisant pour répondre aujourd'hui et demain :

- Aux creux de consommation : nuit,
- Aux variations de production renouvelable : creux d'après-midi amplifié par le photovoltaïque
- Aux écarts de prévision de la consommation ou des renouvelables



Les capacités du parc EDF en France

Production – Golfech 2 – Juin 2013 – Coefficient d'utilisation 65 %



Situation observée pour 3 à 7 réacteurs chaque année, les autres étant nettement moins sollicités.

Choix des réacteurs selon le placement de leur prochain arrêt pour rechargement. La liste des réacteurs concernés tourne d'une année sur l'autre.

Production : 20 jours équivalent pleine puissance
Economie stock combustible : 10 jours
X 4 mois → report arrêt suivant de 40 jours, de février à avril par exemple

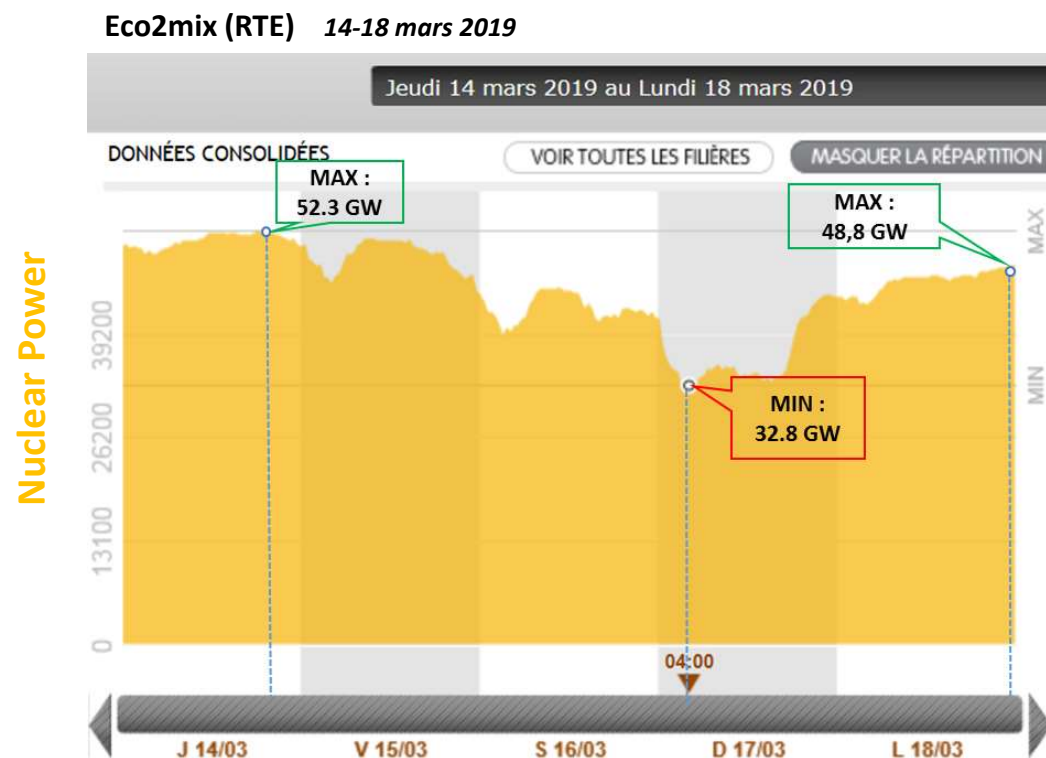
Les capacités du parc EDF en France

2014 : Les études EDF montrent un besoin de 20 GW d'amplitude de variation pour le parc à l'horizon 2020

Mars 2019 : une amplitude record de 19,5 GW observée, passée avec succès

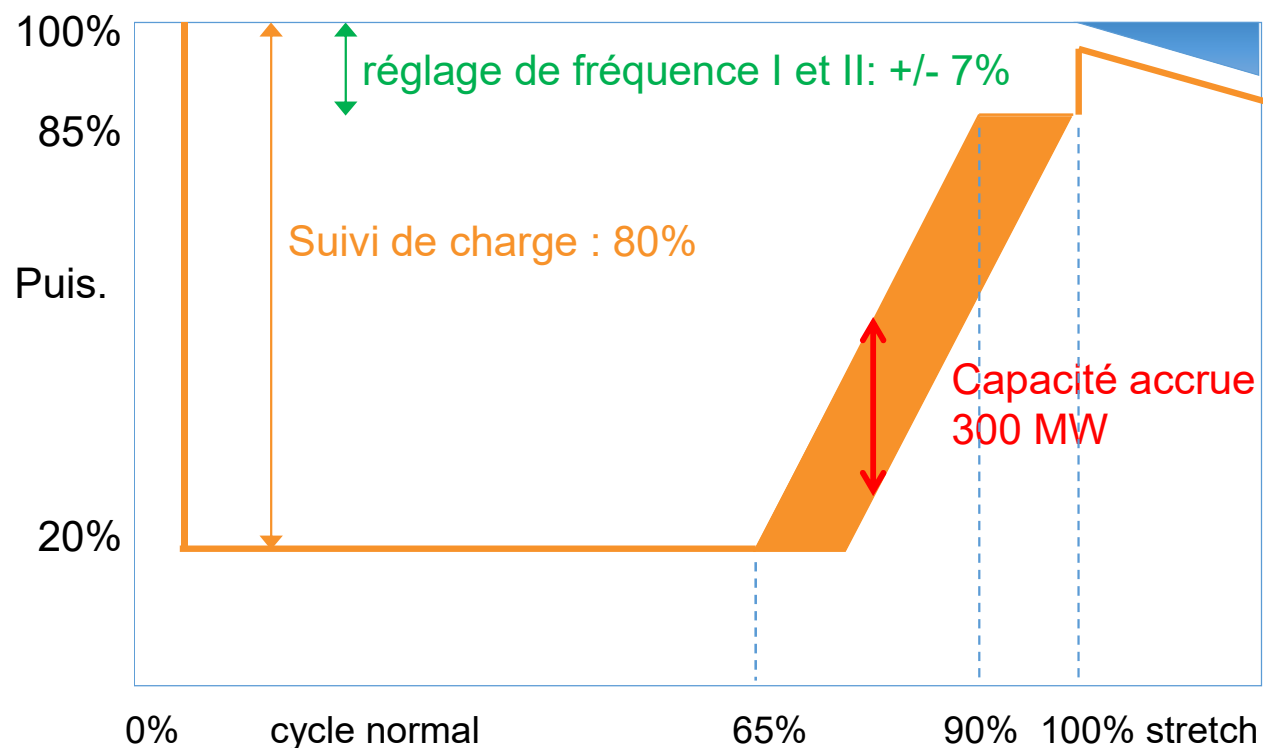
Nul besoin d'augmenter les capacités de chaque réacteur

Il suffit d'appeler plus de réacteurs à la baisse simultanément



Les capacités du parc EDF en France

Baisser plus bas



En fin de cycle, l'amplitude de baisse diminue.

Des marges existent pour maintenir une amplitude plus grande.

Conçus et testés depuis 2016, de nouveaux programmes de baisse ont été mis en œuvre à plusieurs reprises au printemps 2020.

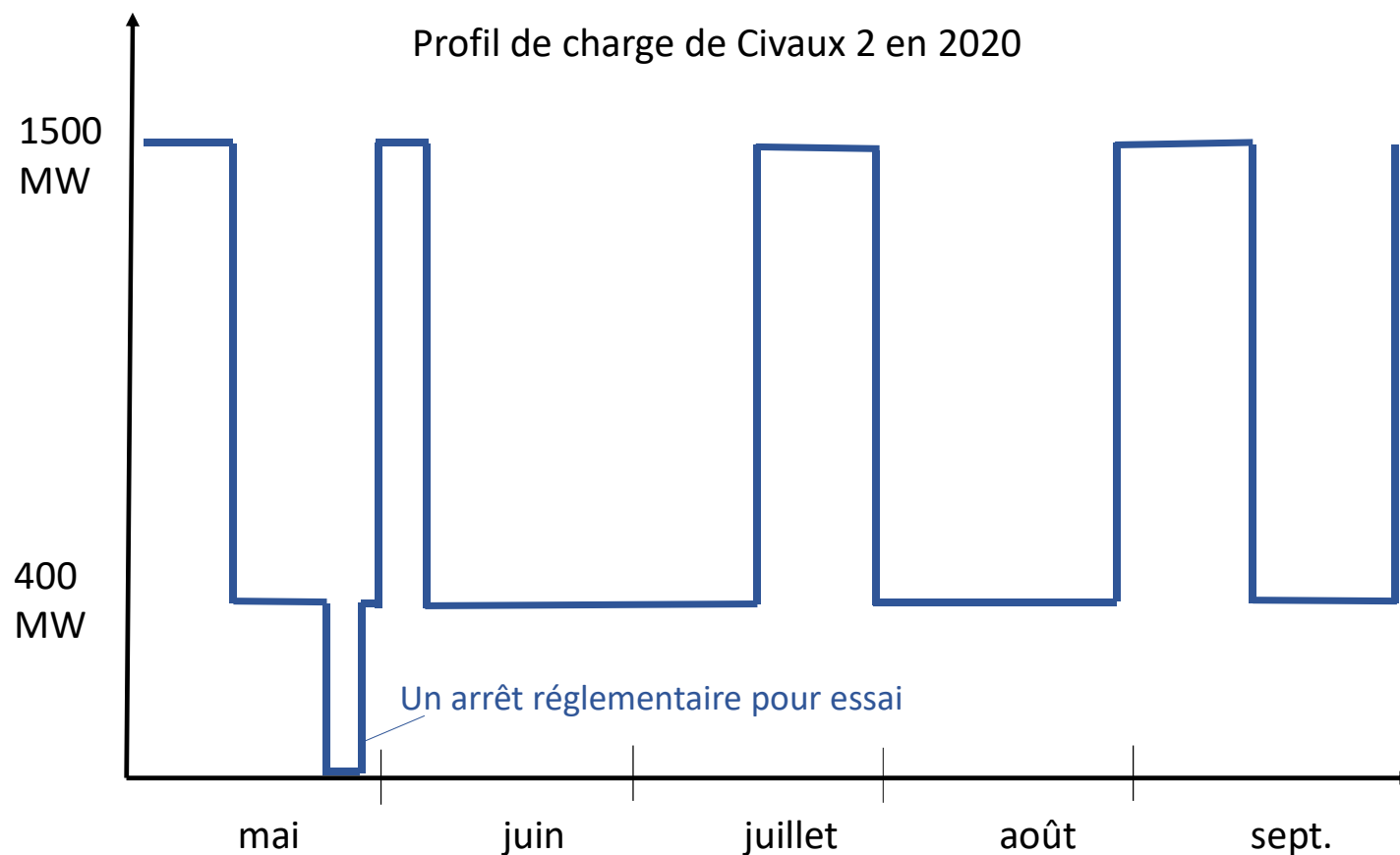
Jusqu'à 3 tranches ont simultanément utilisé ce programme → 900 MW de baisse supplémentaire, équivalent à la capacité d'1 tranche 1300

Potentiel : 6 à 8 tranches à la fois

Les capacités du parc EDF en France

Baisser plus longtemps

Profil de charge de Civaux 2 en 2020



Journée thématique SFP - 17 mars 2022 - Toute reproduction interdite sans l'accord d'EDF

Crise COVID

- recalage planning des arrêts
- report de l'arrêt de Civaux 2
- 90 jours de combustible à économiser.

Civaux 1 en arrêt rechargement.

RTE a besoin de l'autre tranche couplée pour régler la tension dans la région

L'essentiel de l'économie est réalisée en fonctionnement prolongé à basse charge.

Pendant le confinement, un avant goût du mix futur

Depuis 2015, le minimum d'appel au nucléaire est de plus en plus bas.

Faible puissance x temps court → faible impact sur l'énergie annuelle produite

Avant 2018 : 30 GW

2018 : 28 GW

2019 : 26 GW

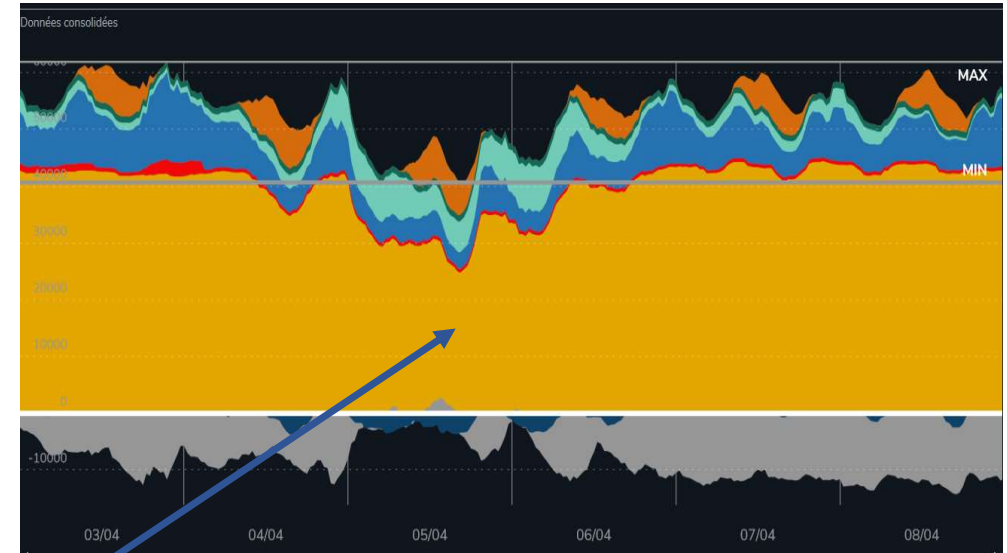
Le ralentissement de l'économie avec la crise sanitaire a amplifié le mouvement :

5 avril 2020 : 24,6 GW (en jaune)

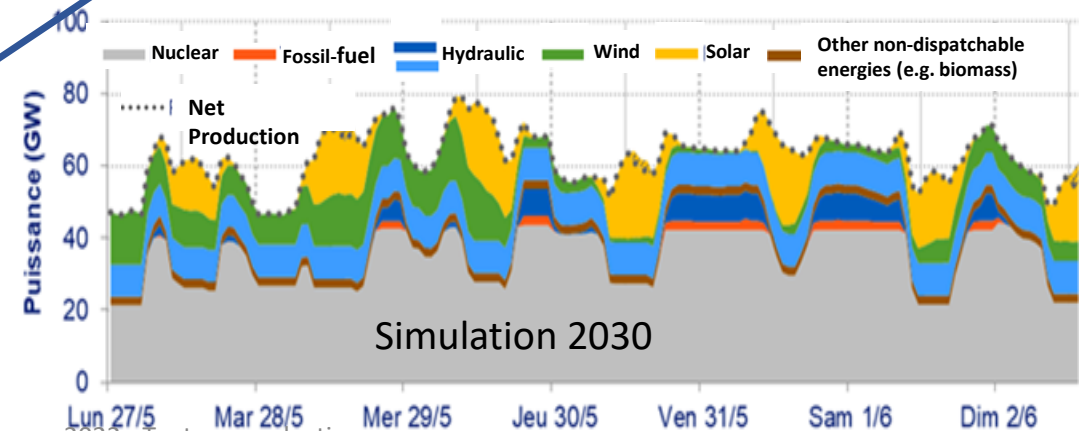
6 juin 2020 : 23,2 GW

5 juillet 2020 : 19,9 GW

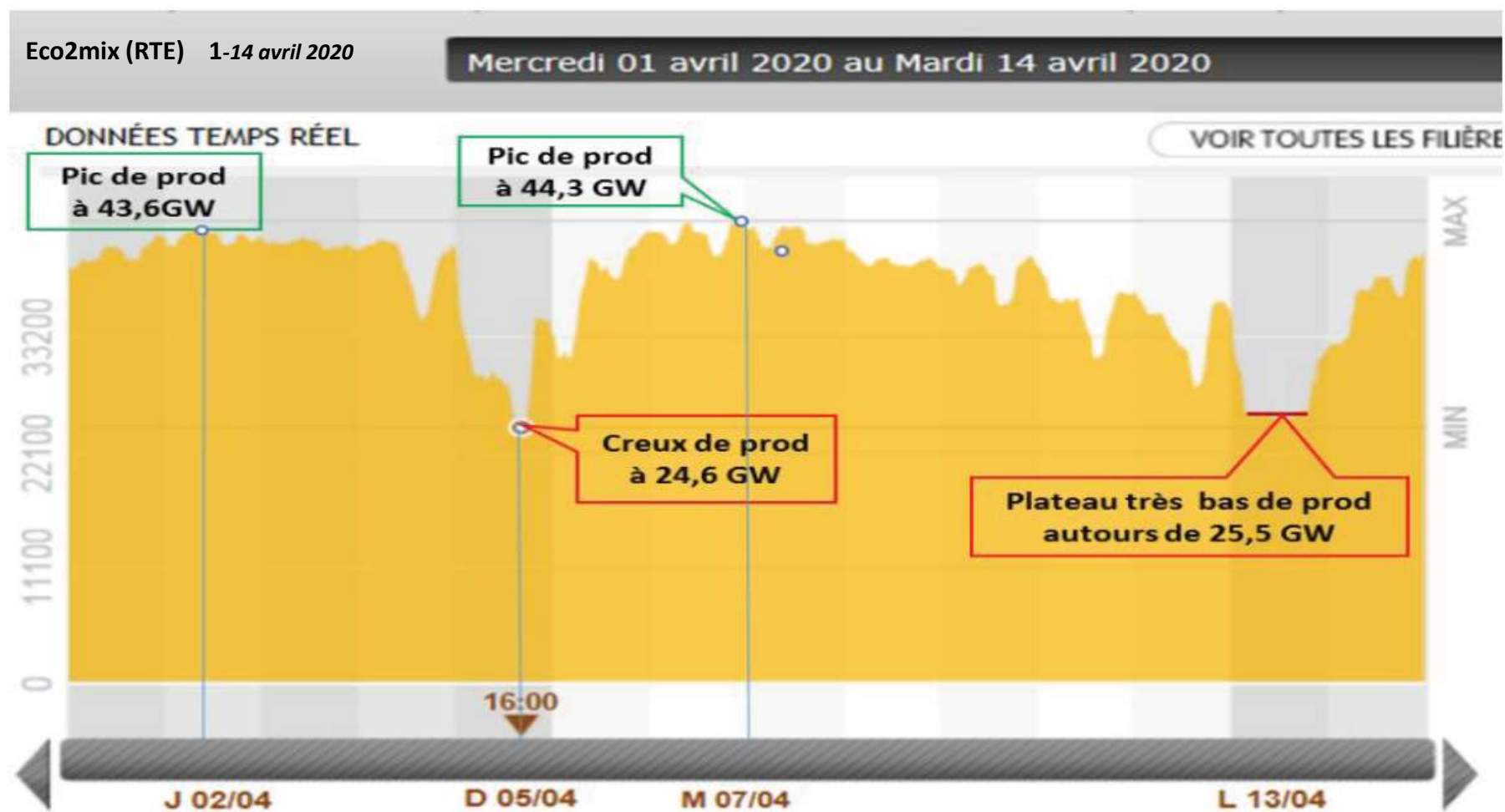
Ceci nous a rapproché des niveaux attendus pour 2025... avec succès



Eco2mix (RTE) 3-8 avril 2020



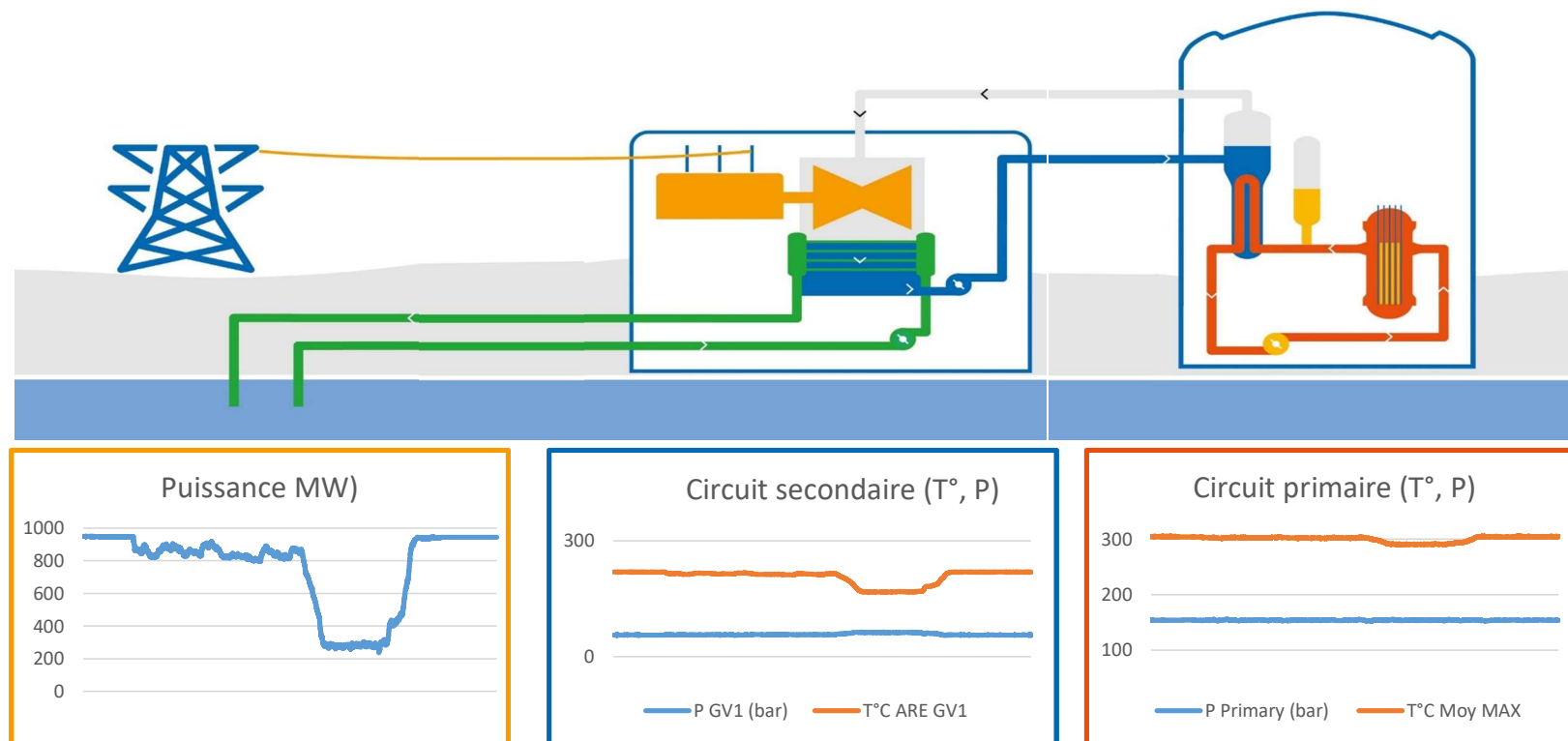
Pendant le confinement, un avant goût du mix futur



Les réacteurs flexibles aussi sûrs que les autres

Sureté : Les variations de puissance demeurent dans les limites autoris es, limites adoss es à une démonstration de sûreté, compatible avec une durée de vie étendue.

Combustible : Fonctionnement cumulé de longue durée possible sans impact sur l'interaction pastille - gaine



Les réacteurs flexibles aussi sûrs que les autres

Environnement : pas d'impact notable sur les rejets liquides, gazeux ou la production de déchets solides

Chimie & radioprotection : pas d'impact notable, une bonne coordination des équipes de Conduite et de Chimie est nécessaire pour ajuster les paramètres

Maintenance : pas d'impact significatif sur les volumes de maintenance ni sur la durée de vie des installations. Le circuit secondaire (conventionnel) subit des variations de ses conditions d'exploitation qui méritent un bon suivi des risques d'érosion – corrosion.

Compétitivité : en choisissant les réacteurs appelés les premiers à la baisse, l'exploitant pilote la durée du cycle combustible et optimise le placement de l'arrêt pour rechargement suivant. La production est élevée en période de forte demande et de prix élevés ; elle est abaissée en période de moindre demande et de prix bas, voire nuls ou négatifs.

NB : ce n'est pas la baisse de production qui fait baisser les prix. C'est la baisse des prix de marché, représentative d'une moindre demande, qui oblige à baisser la production : on ne produit pas si on n'a pas de client ! Processus contrôlé par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE)

Compétences : le pilotage du réacteur en toute sûreté, c'est un métier, et un métier qui repose sur des compétences, donc de la formation, des règles, et des procédures. Des outils d'aide informatiques sont déployés pour optimiser ce pilotage (R&D).

Projections 2030 / 2050

Facteurs amplifiants

Développement du solaire

Régulier, quotidien

Développement de l'éolien

Irrégulier, moins prévisible,
plusieurs jours

Baisse ou stagnation de la consommation

scénario écarté
conversion > efficacité

Facteurs lissants

Hausse de la consommation

Conversion thermique → électrique

Interconnexions 17 → 25 GW

Exports vers GB, IRL, Italie, ~ Espagne

Véhicules électriques : charge / décharge

Batteries (et autres stockages)

seconde → minute → heure/ jour / hebdo ?

Pilotage de la demande, smart grid, effacements, prix variables

Power to gas to power, Hydrogène

Projections 2030 / 2050

Prévisions EDF

- **Augmentation du nombre de variations / réacteur / an**
- **Sans dépasser les maxima connus**
- **Plus de réacteurs concernés**
 - Préparation, planification

Flexibilité intégrée à la conception des EPR et SMR

Un nucléaire non flexible →

- **moins de réacteurs en exploitation,**
- **plus de centrales gaz,**
- **plus de CO2**

Conclusion

La manœuvrabilité du nucléaire est utile à un marché très fluctuant avec beaucoup de renouvelables

Elle améliore encore le bilan carbone du mix électrique

Elle ne crée pas de difficultés techniques

Merci

Questions / réponses