

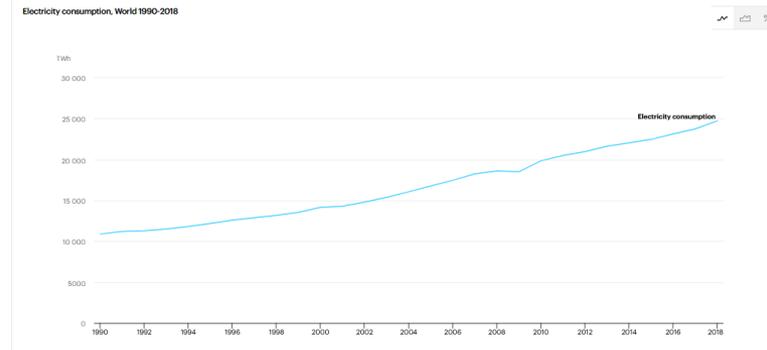
Electrification et décarbonation : Enjeux pour le système électrique

Pr. Dr. N. Hadjsaid
Grenoble INP/UGA
Directeur G2Elab
Président Conseil Scientifique TSG
Vice Président IEEE PES

L'électrification pour décarbonation

Historiquement

- Consommation d'électricité fortement corrélée à la **croissance démographique et économique** → en constante augmentation en moyenne



Décarbonation → Electrification intensifiée

- Plus de 50% des **émissions de CO2** dans le monde sont dues à l'**énergie consommée** par l'industrie, le bâtiment et les transport.
- Décarbonation de la production et **électrification massive de l'économie** → puissants leviers pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050

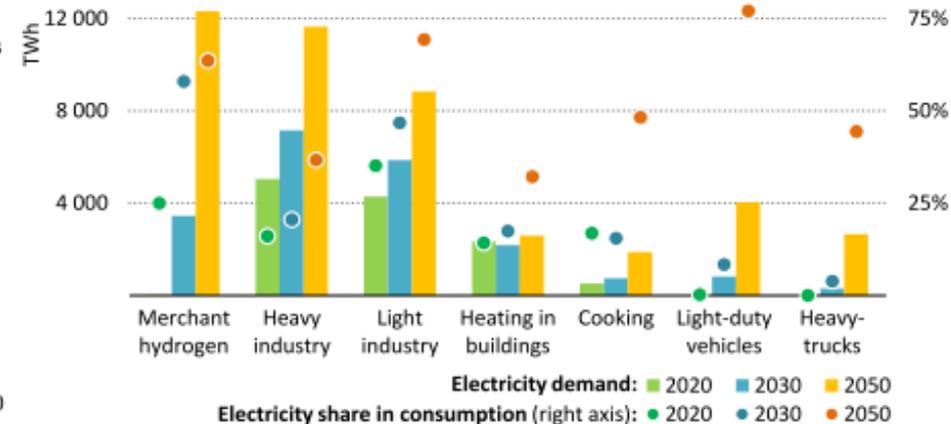
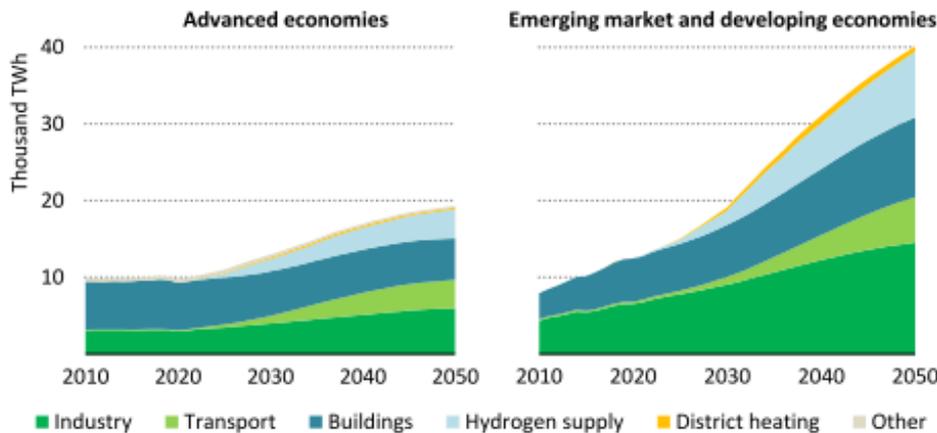
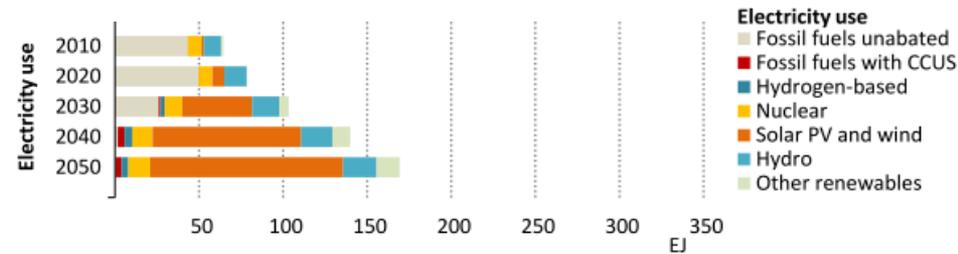
Prévisions d'électrification convergents

- Différents scénarios (SNBC, EU, AIE, USA, ...) visant la **neutralité carbone** → la part de **l'électricité** dans la consommation d'énergie apparaît en **augmentation nette** à long terme
 - Nécessité de passer de 20-25% aujourd'hui à plus de 50%-60% à l'horizon 2050

Quelques chiffres prévisionnels 2030-2050 : AIE

IEA:

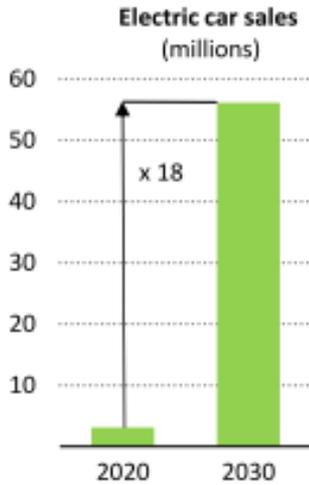
“The share of electricity in final energy use jumps from 20% in 2020 to 50% in 2050”



Global electricity demand and share of electricity in energy consumption in selected applications in the NZE

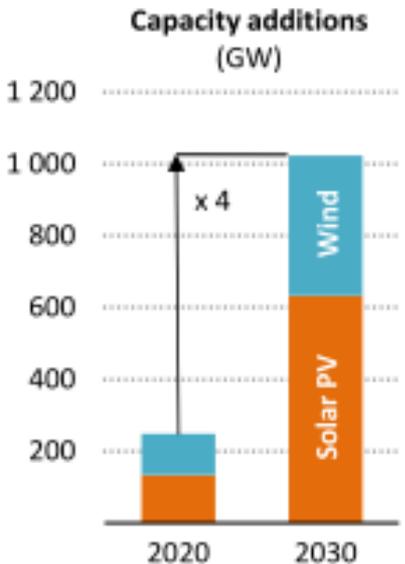
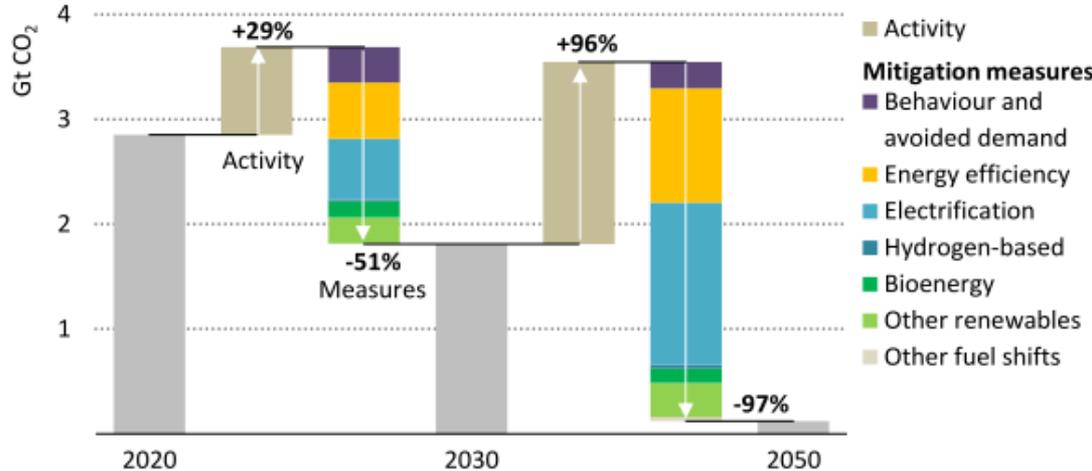
Electricity demand by sector and regional grouping in the NZE

Quelques chiffres prévisionnels 2030-2050 : AIE

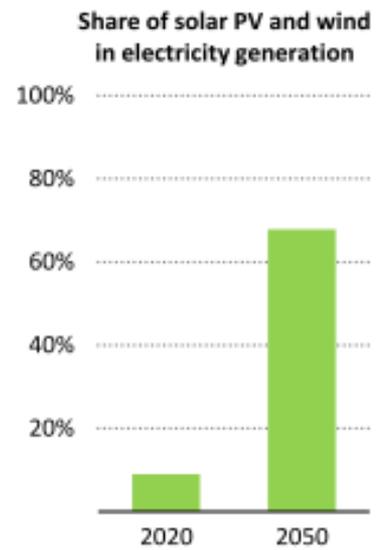
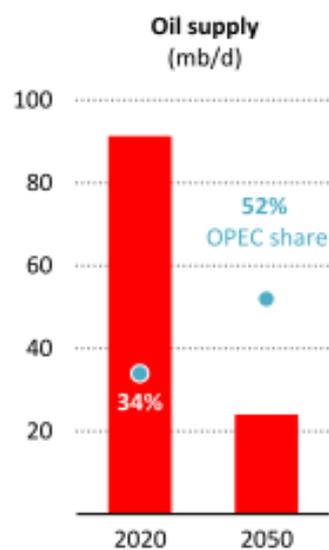


Key clean technologies ramp up by 2030 in the net zero pathway

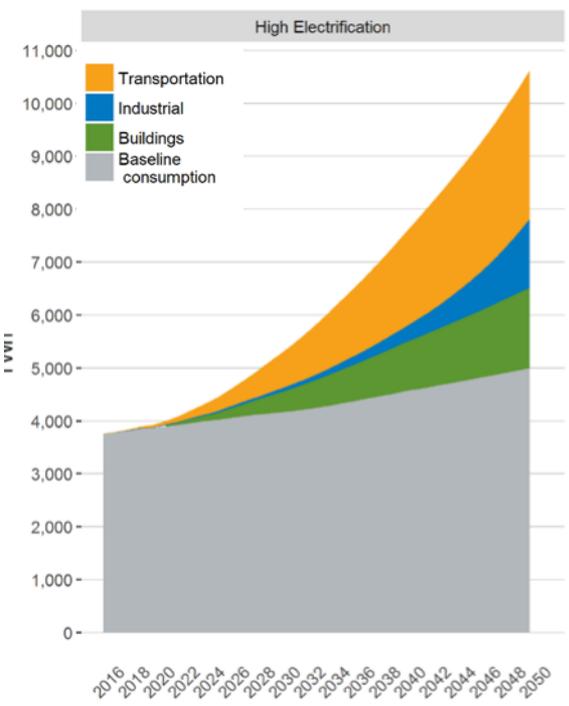
Usages



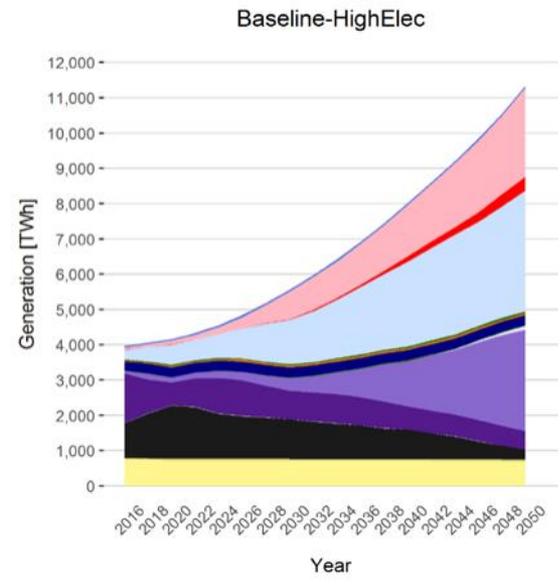
Source production



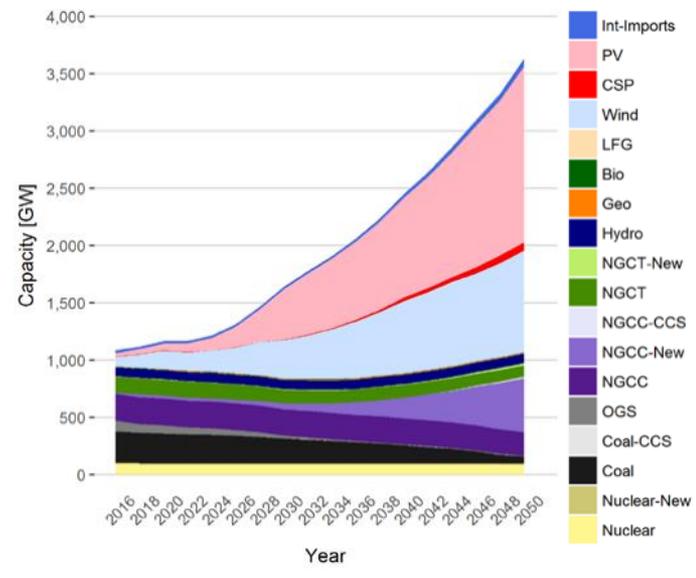
Quelques chiffres prévisionnels 2030-2050 : USA



Reference and incremental electricity consumption from electrification by sector, 2016–2050



Generation and capacity mix over time for the Baseline-HighElec scenario



Electrification intensive tirée par les reports d'usage et des EnR sur la montée

Quelques chiffres prévisionnels 2030-2050 : RTE



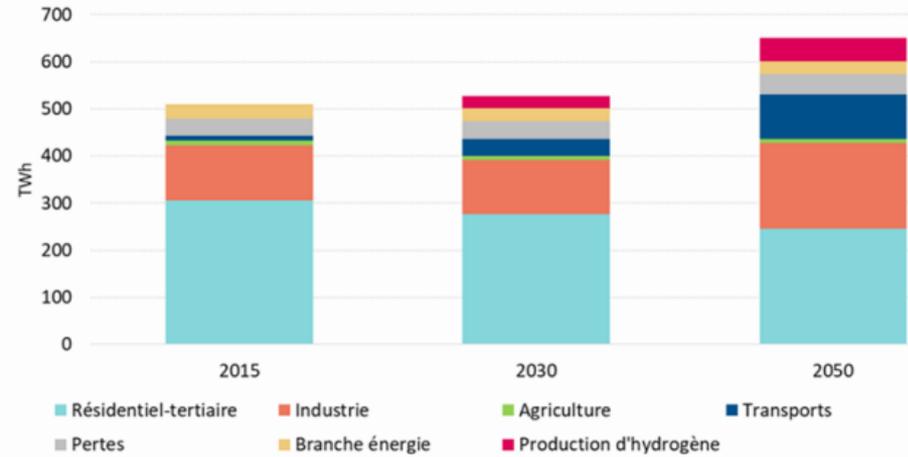
(dans le scénario AMS de la SNBC)

Projection RTE + 154TWh (+34%)

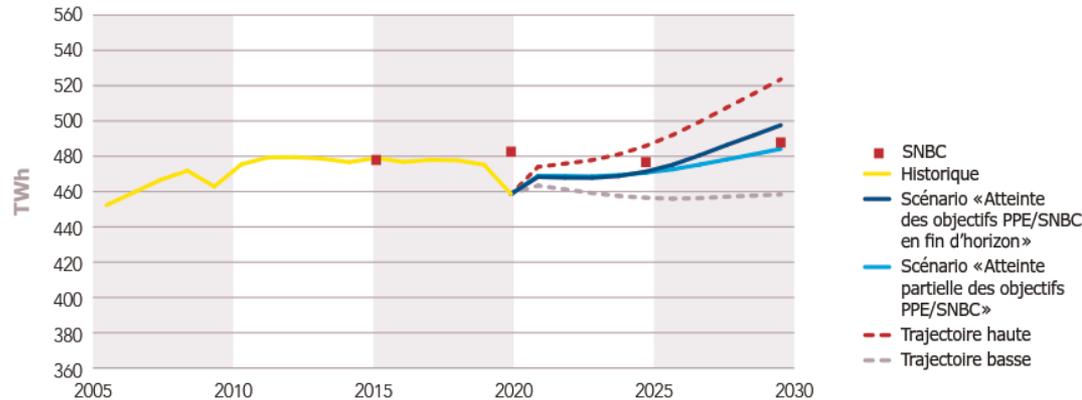
- Bâtiment → 57-70TWh à H2030
- Transport → 100TWh à H205 (1)
- Industrie → 180 TWh à H2050
- Couplages avec d'autres vecteurs → 50TWh à H2050 (2)(3)

D'autre sources (+50-76%)

- 750-840TWh (4)



Trajectoires d'évolution de la consommation



RTE: Bilan prévisionnel 2021

Source: RTE

(1) 20 % du parc automobile électrique à l'horizon 2030 (19 TWh)

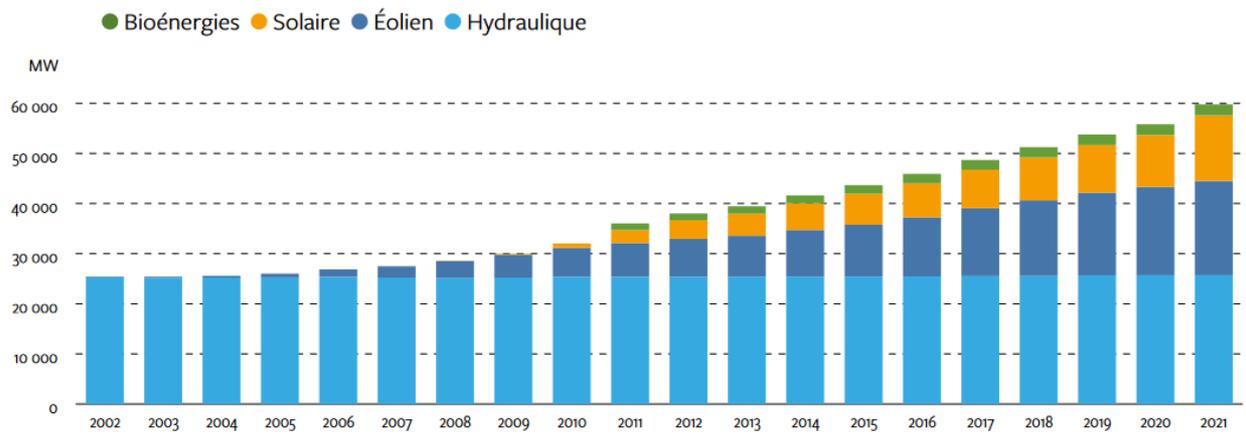
(2) 5 % de la consommation d'électricité consacrée à la production d'hydrogène décarboné à l'horizon 2030

(3) Selon l'AIE, environ 50 kWh d'électricité et 9 litres d'eau sont nécessaires pour produire 1 kg d'hydrogène par électrolyse

(4) EDF, Académie des technologies, ...

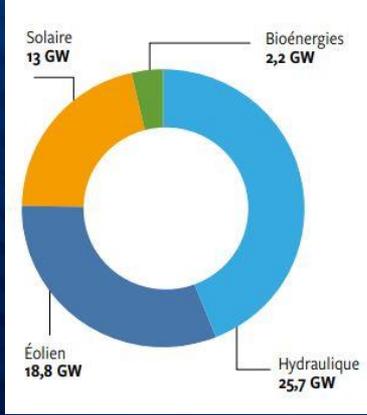
EnR: Evolution Française et mondiale...

Évolution de la puissance installée



Source: ENEDIS

Parc renouvelable au 31 décembre 2021



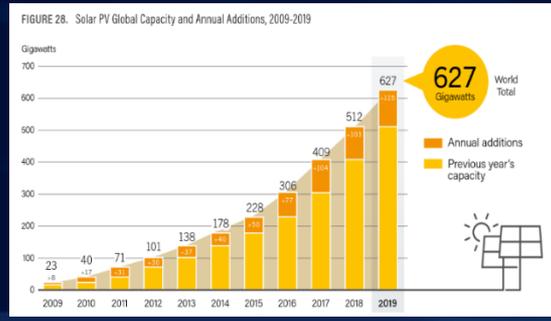
- +3951 MW sur une année
- + 14 967 MW sur 5 ans
- + 34 361 MW depuis 2002

Plus de 400 000 Unité de production au niveau des réseaux de distribution



Source: REN21

Monde



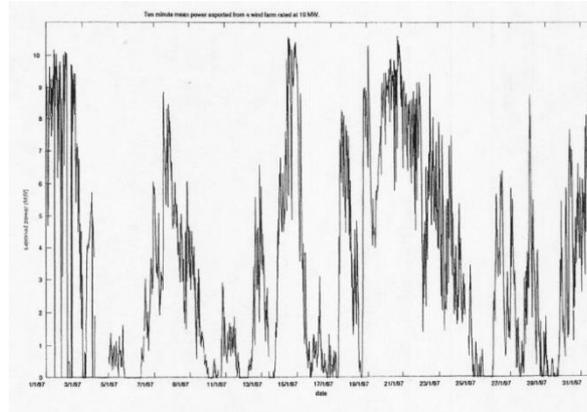
Source: REN21

Intégration de la production "variable" & du VE rechargeable dans le système électrique

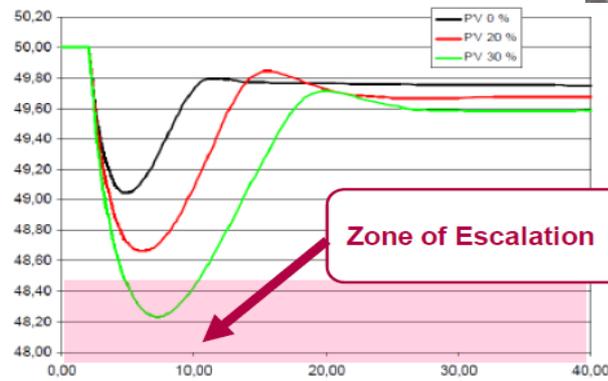
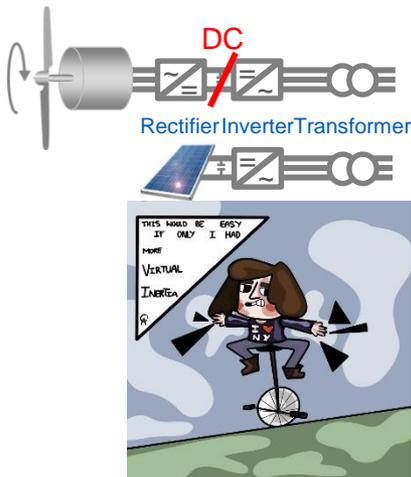
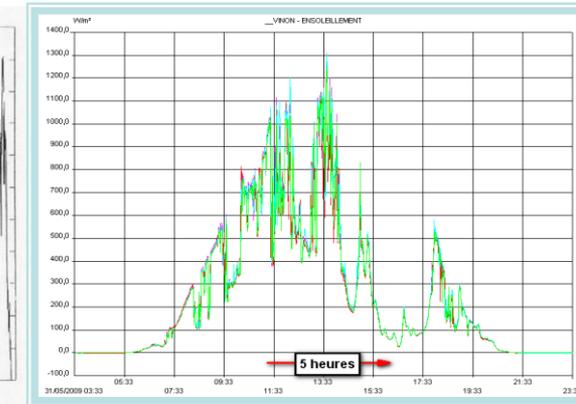
Enjeux techniques

- **Aspect variabilité**
 - **Global:** maîtrise de la stabilité et d'équilibre P-C dans un contexte incertain
 - **Local:** contraintes V, I, h,...
- **EnR interfacée par EP: E-Grid**
 - **Diminution** de l'inertie globale
 - **Impact** sur la réponse du système: f, Icc, protection, ...
- **Réserves** opérationnelles

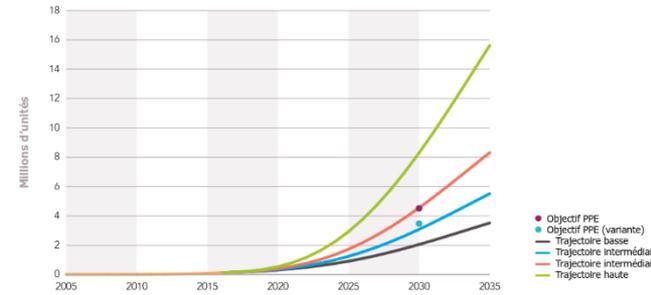
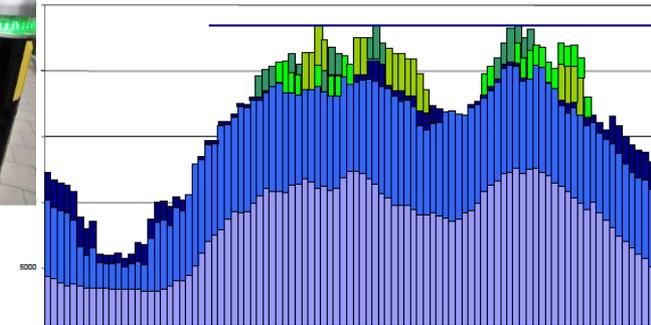
Wind farm over output over 1 month, UK



Ex : Vinon sur Verdon (May 31st)

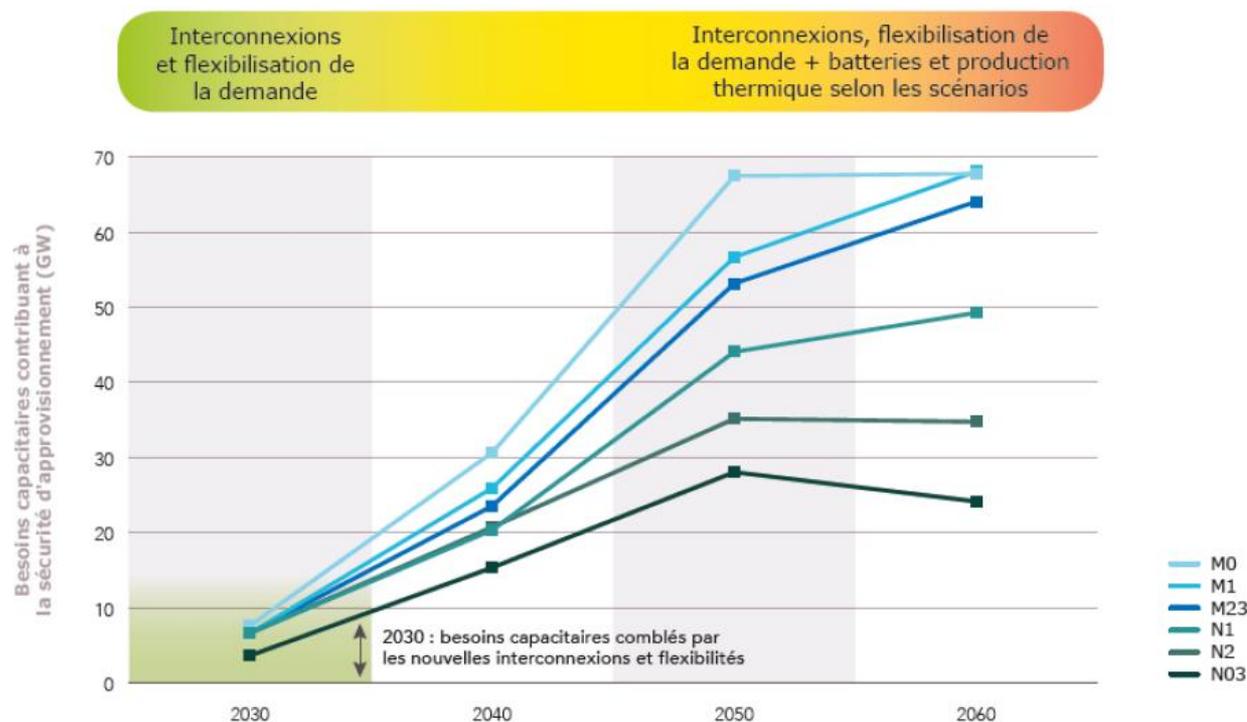


Example of frequency variation due to 20% loss of production on an off-grid system depending on Renewable integration (EdF source)



Les différents scénarios pour les besoins de flexibilité

*Evolution des besoins de nouvelles capacités de flexibilités contribuant à la sécurité d'approvisionnement (en plus de la flexibilité intrinsèque des installations de production nucléaires et renouvelables)**



- Type de flex:

- **Consommation**
- **Hydro** (stockage)
- **Batteries**
- **Centrales thermique** assises sur des stocks de gaz décarbonés (surtout dans le cas sans relance forte du nucléaire)
- **Interconnexions** (pour mutualiser les flexibilités en europe)

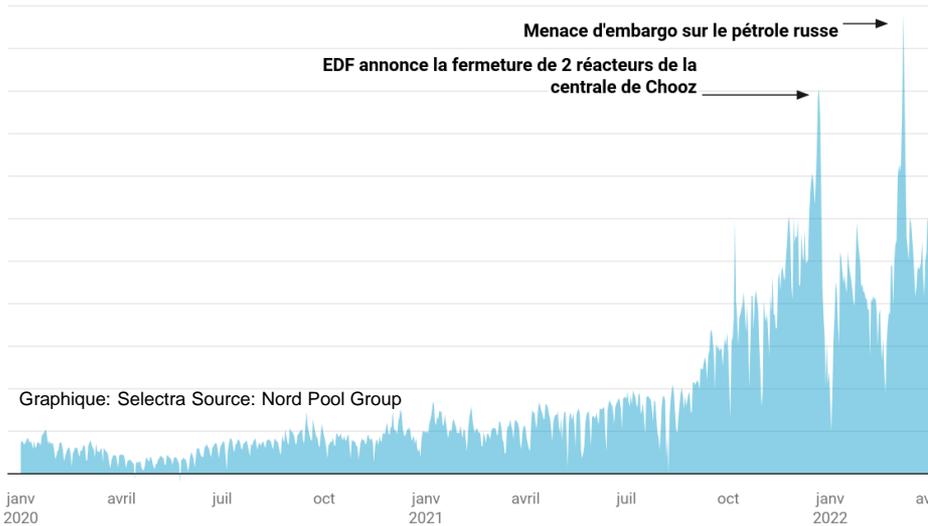
- Valorisation

- Marché
- Pointes
- Contraintes réseau
- Équilibre P-C
- Valeur réseau

Des prix de l'électricité sur la montée...

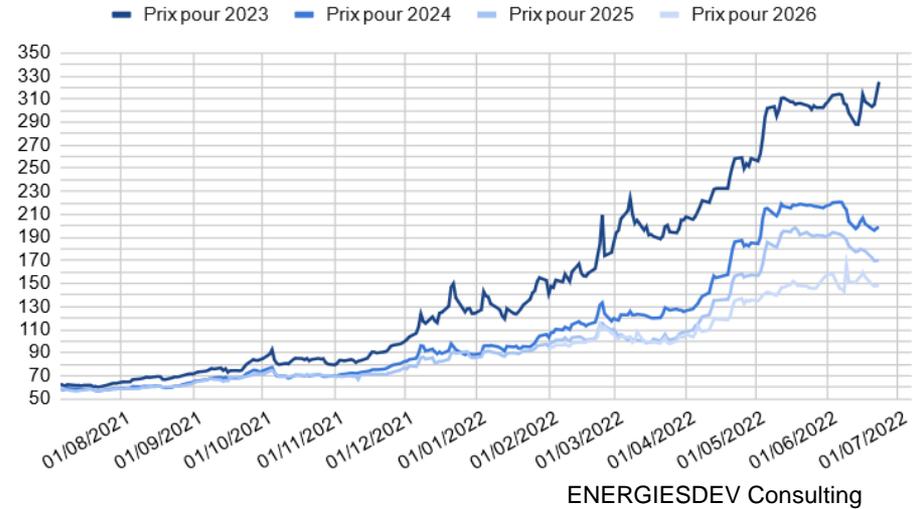
Prix de l'électricité sur le marché de gros (Epex Spot France)

Prix en euros / MWh



Evolution du prix de l'électricité base load (€/MWh)

www.energiesdev.fr



Évolution du prix de l'électricité Spot (day-ahead)

	Prix Spot de demain	Prix Spot du jour	Prix Spot un mois avant	Prix Spot un an avant
Prix en €/MWh	335.24 €/MWh	334.25 €/MWh	151.16 €/MWh	87.84 €/MWh
Évolution en €	-	-	184.08€	247.4€
Évolution en %	-	-	121.78 %	281.65%

Electrification, complexité système et hydro

- **Electrification** pour la décarbonation → forte intensification
- **EnR/VE et variabilité** → accélération de la montée en puissance
- **Thermo-sensibilité électrique** (France) → + de contrainte
- **La pointe** → hausse (retour) et impact investissements
- **Marché électricité** en tension (croissante!)
- **Prix de la tonne de carbone** en augmentation*
- **La résilience** → un enjeu majeur
- **Besoins de services système et de flexibilité** en forte croissance (Flexibilité → 70 GW)
- **Stockage** → modèle économique en recherche de viabilité
 - 99% des capacités mondiale = hydro
- **Place de l'hydro**: déjà grand contributeur à la flexibilité du système électrique → des qualités intrinsèques uniques! → perspectives en discussion:
 - Gisement
 - Grande vs petite
 - Technologies (gestion, agrégation, prévision, pilotage ...)
- **Coordination et valeur système**

