



**EXPLORONS  
LES POSSIBLES**

Pour une **Transition Énergétique  
Soutenable et Économique**

**Contribution du CEA au Débat Public « Nouveaux réacteurs nucléaires et projet Penly »**  
*Complémentarité du nucléaire et des énergies renouvelables pour un mix électrique décarboné*

**Bertrand Charmaison, CEA I-Tésé – 24 janvier 2023**



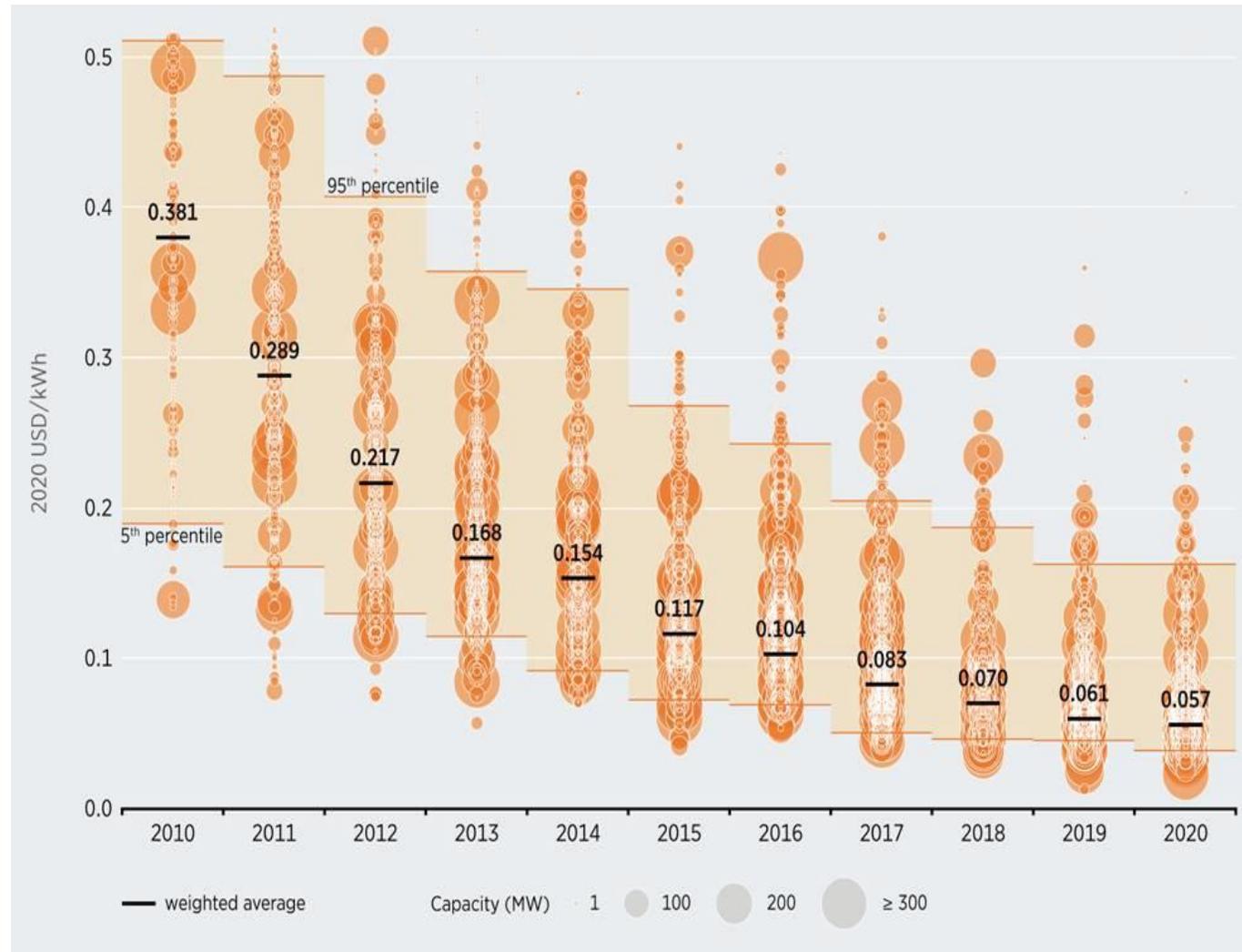
# **Le CEA considère pertinent d'accélérer le développement des énergies renouvelables en France et de relancer un nouveau programme nucléaire**

**En l'état actuel de nos connaissances, un mix électrique s'appuyant sur cette complémentarité entre énergies renouvelables et nucléaire fait pleinement sens :**

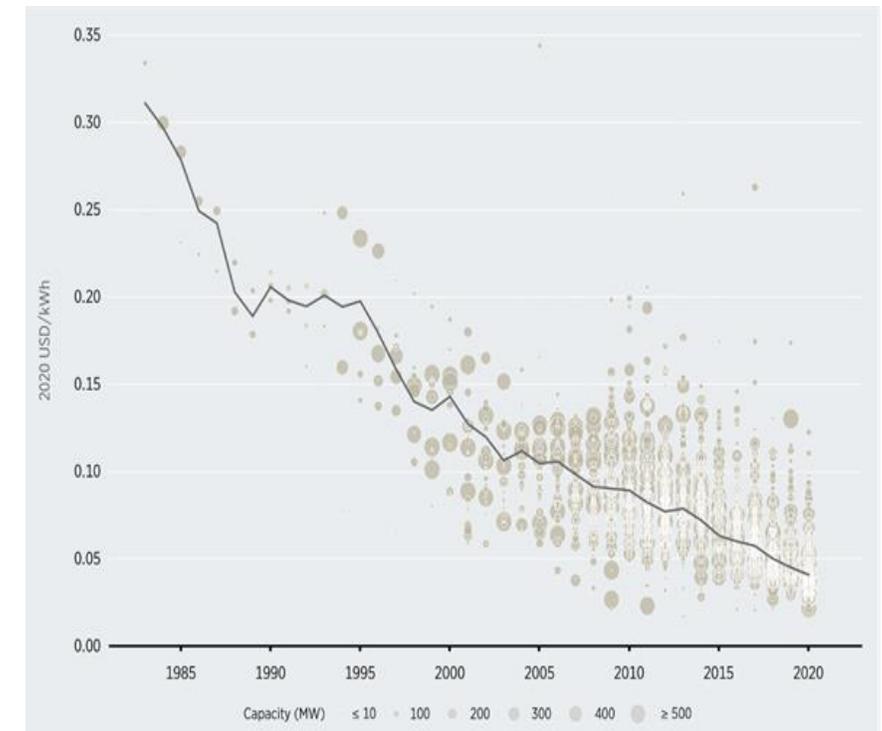
- **Techniquement,**
- **Economiquement,**
- **Géopolitiquement.**

**Accompagnée d'une forte réduction de la demande d'énergie, cette approche doit permettre à la France de se passer au plus vite des énergies fossiles et d'atteindre la neutralité carbone.**

# Accélérer la production d'électricité à partir de solaire photovoltaïque et d'éolien, dont les coûts ont fortement baissé



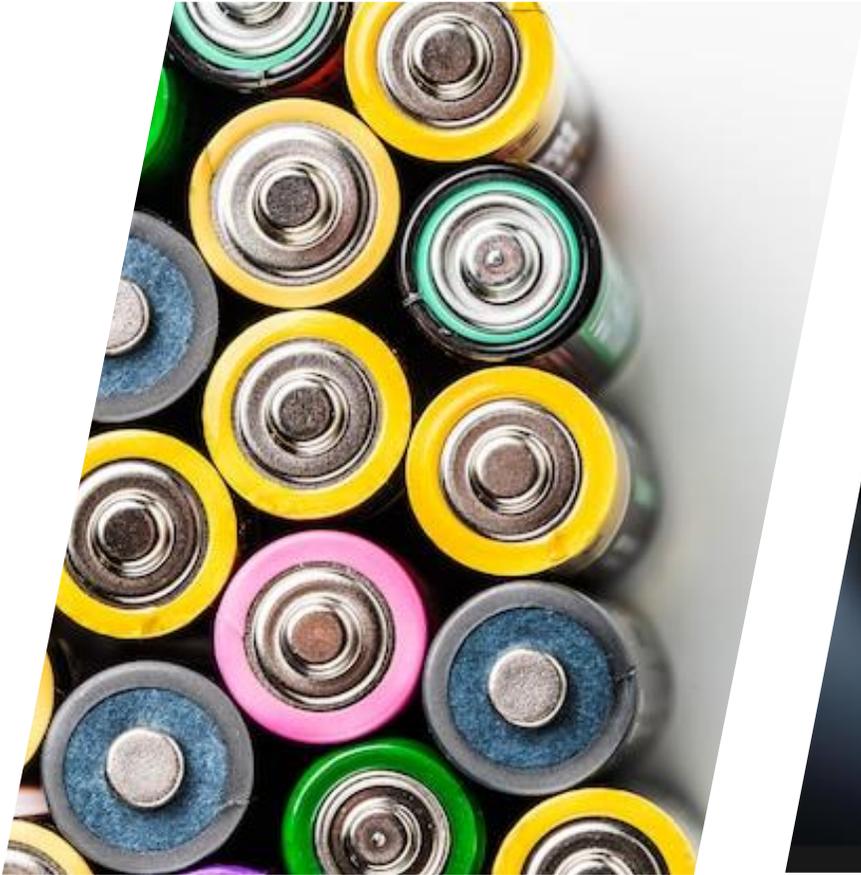
LCOE Solaire photovoltaïque



LCOE éolien terrestre

IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

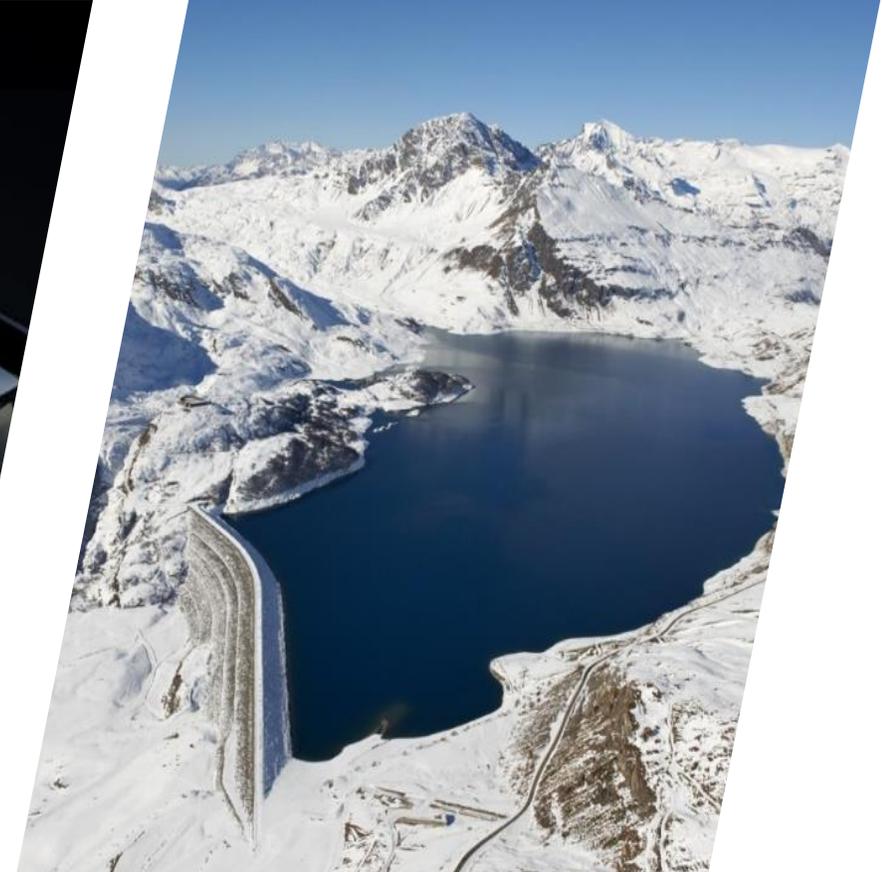
# La production PV et éolienne est intermittente, et l'électricité est difficilement stockable



@ Freepik



@ Volkswagen



@ EDF - Hydraulique Pays de Savoie

# Quelles sont les options pour produire de l'électricité décarbonée avec des technologies de production pilotables ?

*Centrales gaz / charbon  
avec capture et  
séquestration de CO<sub>2</sub>*



@ ENGIE Laborelec

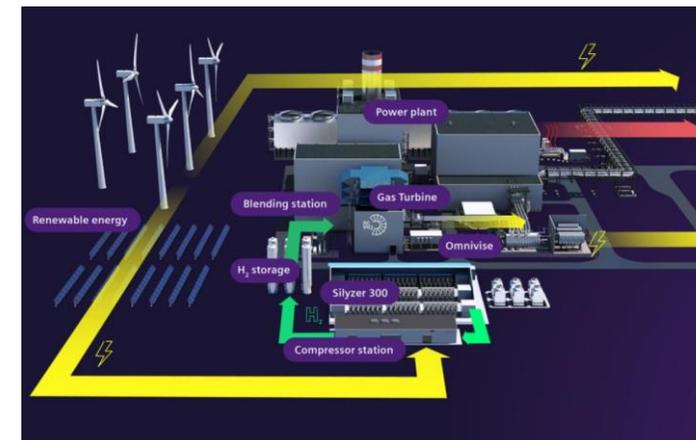
**Impact effectif sur les émissions de GES ? (taux capture, fuites de méthane...)**

*Biomasse et  
Biométhane*



**Coûts (biométhane)  
Quantités limitées  
(concurrence de la biomasse avec d'autres usages)**

*« Power to gas  
to power » (H<sub>2</sub>)*

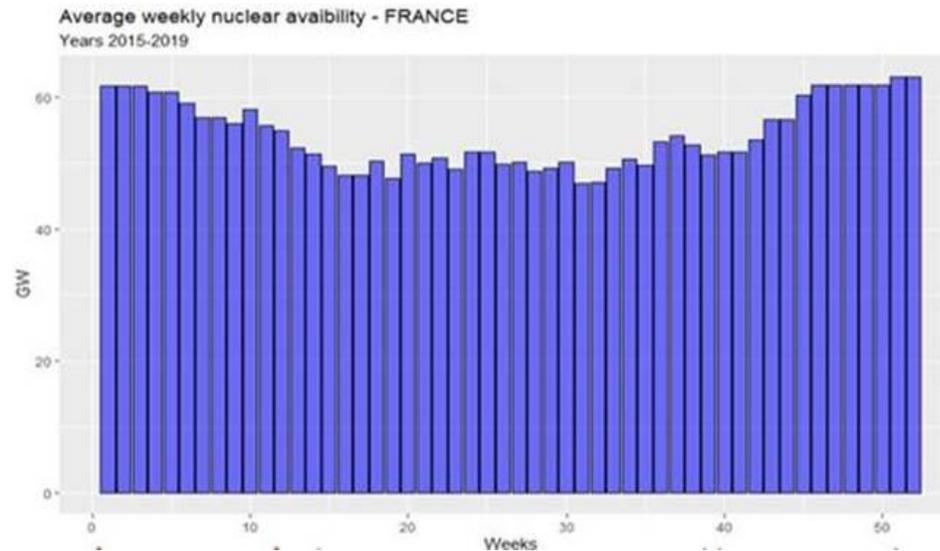


@ Siemens

**Coûts et rendements  
futurs de la chaine P2G2P?  
Infrastructures (ENR,  
stockage)  
Quid de la Souveraineté ?**

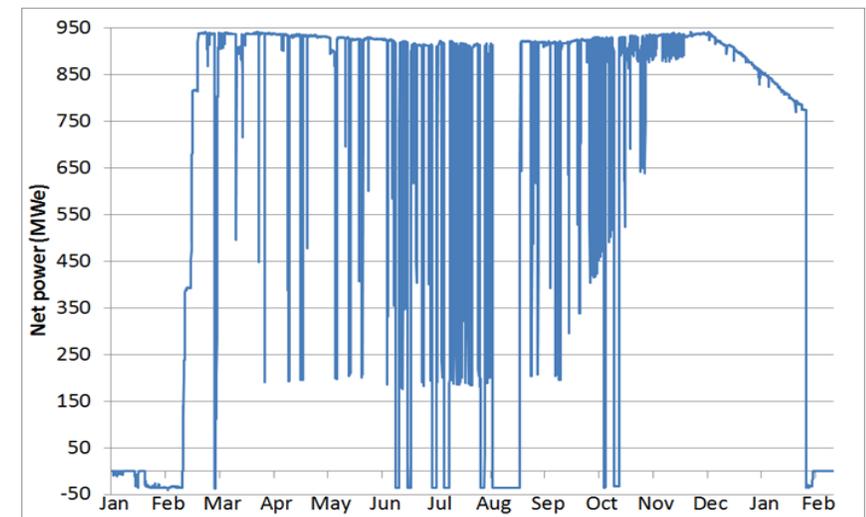
# Le nucléaire, technologie mature, maîtrisée et sûre, permet de produire des quantités importantes d'électricité décarbonée et d'apporter de la flexibilité sur différents horizons temporels

## Disponibilité moyenne du parc nucléaire français entre 2015 et 2019



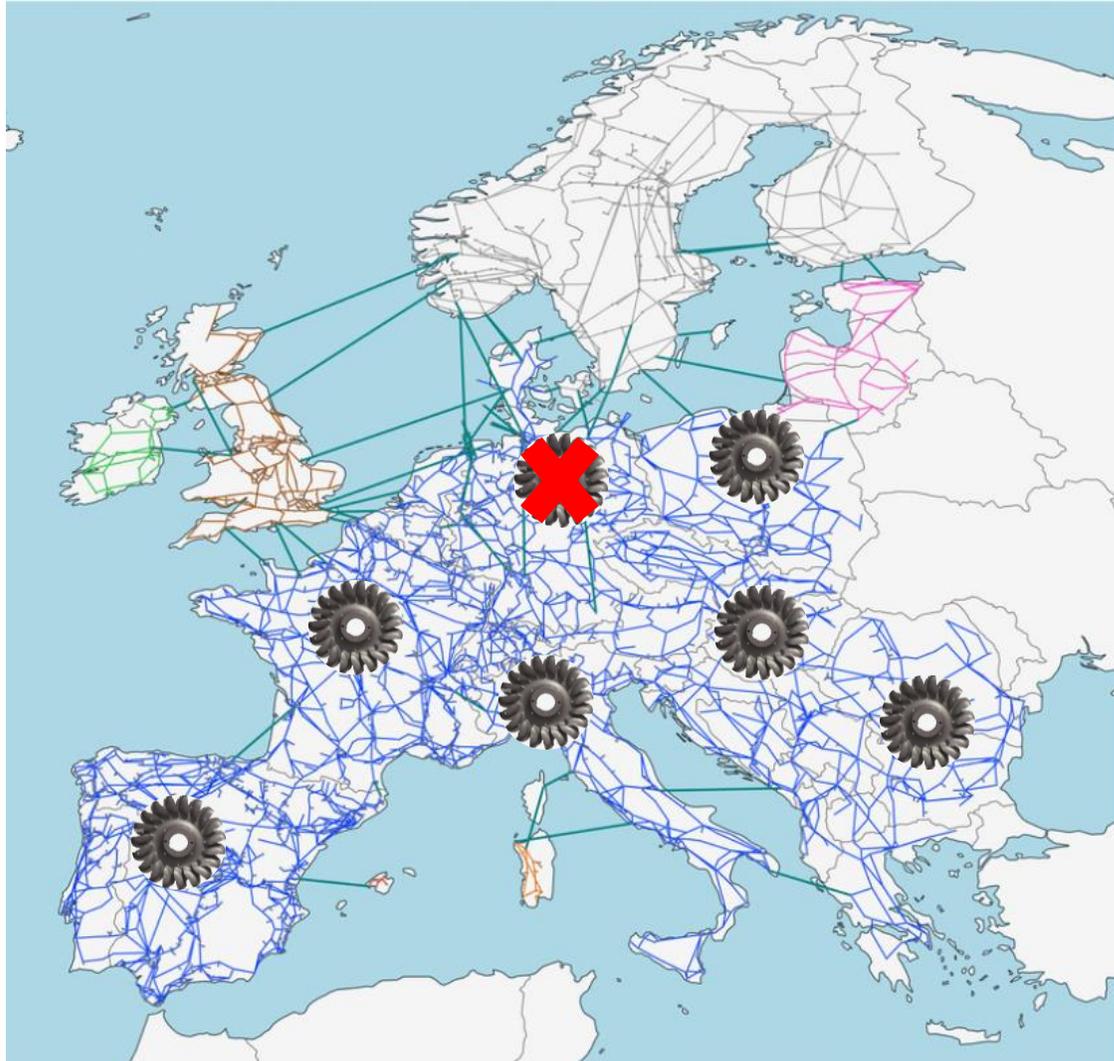
A. Lynch, Y. Perez, S. Gabriel, et G. Mathonniere, « Nuclear fleet flexibility: Modeling and impacts on power systems with renewable energy », *Appl. Energy*, vol. 314, p. 118903, mai 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.118903.

## Profil de production du réacteur n°2 de la centrale du Blayais de 01/2014 à 02/2015



Camille Cany, « Interactions entre énergie nucléaire et énergies renouvelables variables dans la transition énergétique en France : adaptations du parc électrique vers plus de flexibilité », Université Paris-Saclay, CEA I-Tésé, CentraleSupélec, 2017.

# L'intérêt opérationnel d'un socle nucléaire pour continuer à assurer la stabilité du système électrique dans son ensemble



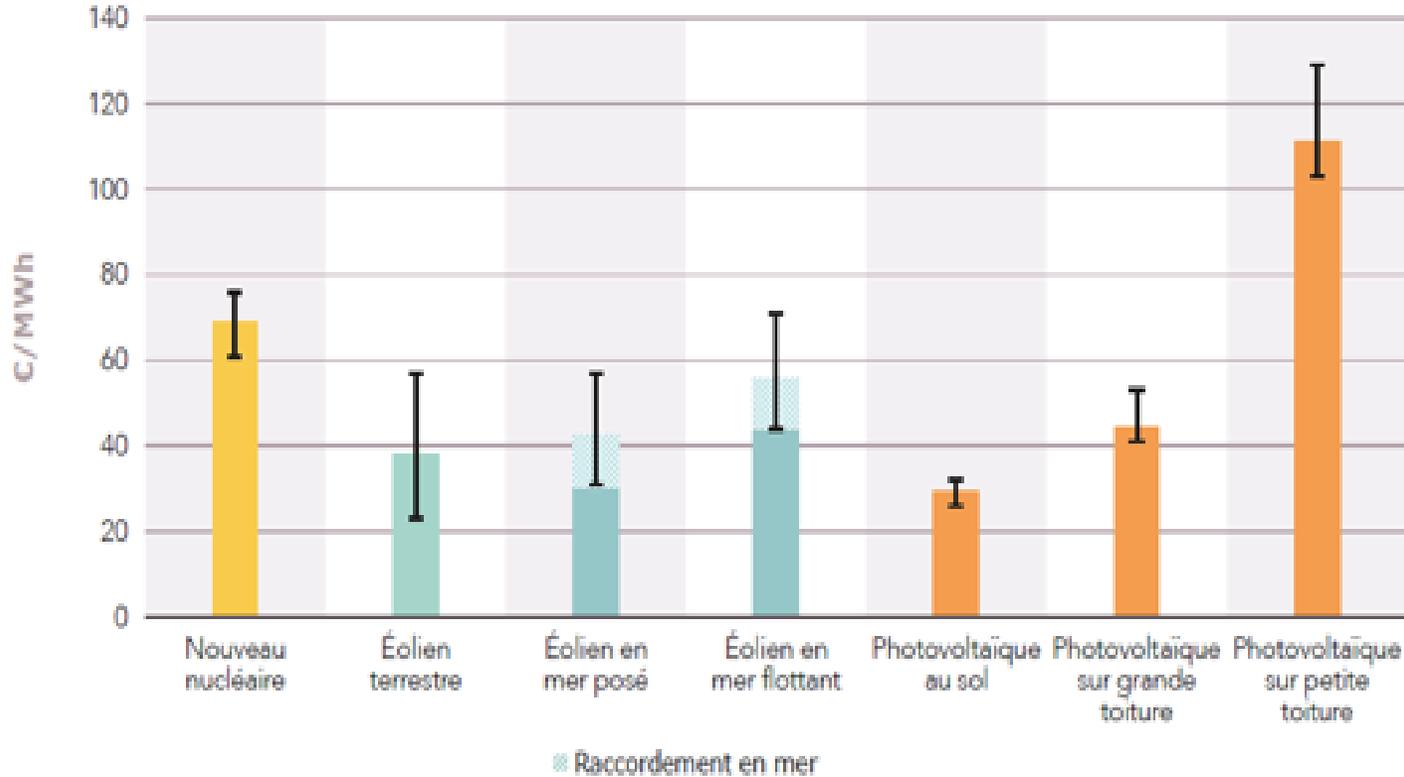
Synchronisation des machines tournantes  
au niveau du Continent Européen

Inertie permettant de faire face aux aléas  
techniques et de maintenir la fréquence du  
courant autour de 50 Hz

Verrou technologique : *Capacité à déployer  
des solutions qui fonctionnent à petite  
échelle au niveau d'un Continent?*

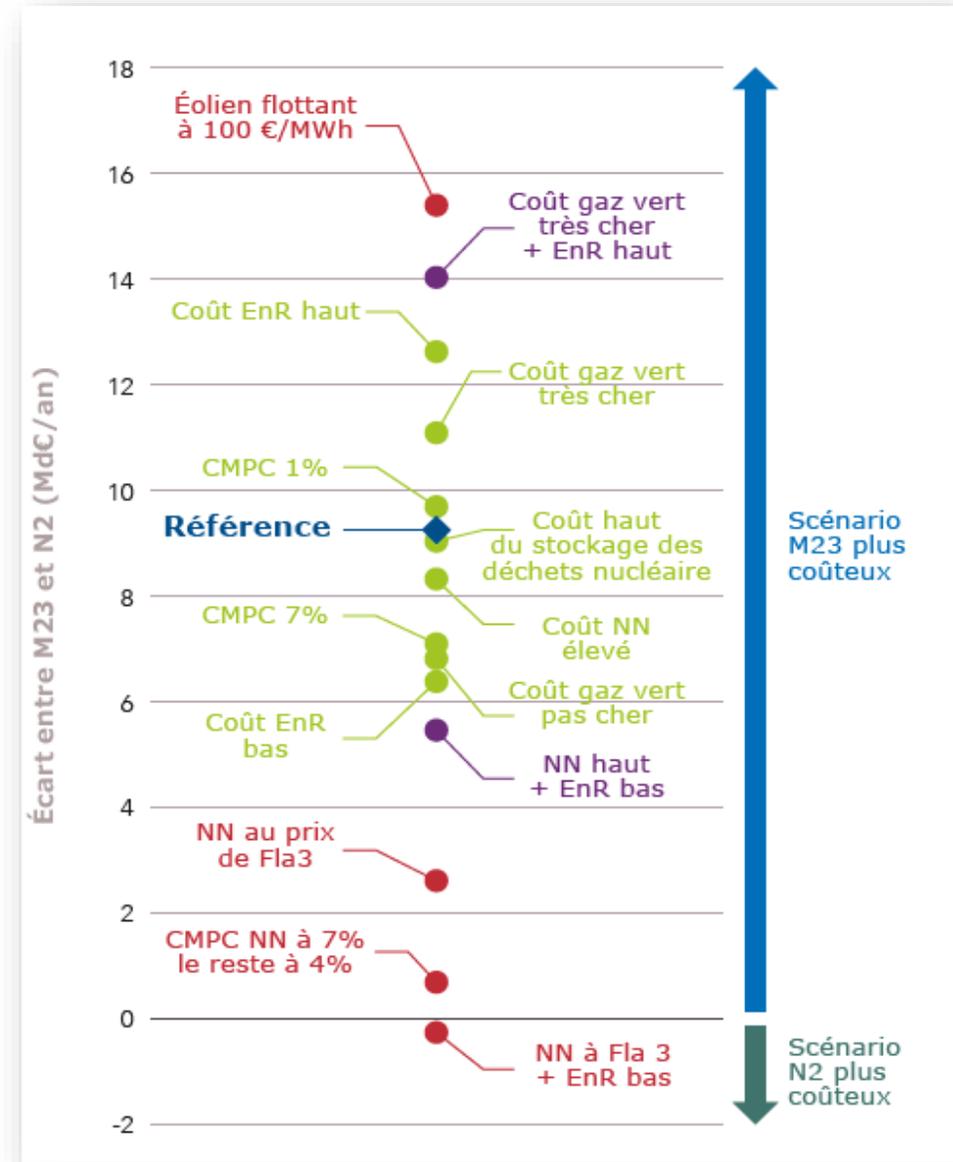
# Coût du système électrique

## Enseignements du rapport RTE «futurs énergétiques 2050 »



Coûts de production des principales filières de production à horizon 2050

Différence de coûts annualisés en 2060 entre les scénarios M23 (100% ENR) et N2 (ENR / nucléaire)



# Quels prix pour l'électricité ?



## Capacités de production pilotables

	Coût marginal de production (€/MWh)	Centrales pilotables installées en France en 2060			
		Mix de production <b>100% ENR</b> (scénario M23)		Mix de production <b>ENR/nucléaire</b> (scénario N2)	
		en GW	en %	en GW	en %
nucléaire, bioénergie	[6; 50]	4	6%	40	72%
biométhane, e-méthane, H2	[130 ; 410]	30	48%	5	8%
STEPS, batteries stationnaires	<i>coût d'opportunité</i>	29	47%	11	19%
		<b>63</b>	<b>100%</b>	<b>55</b>	<b>100%</b>

Mix renouvelable / nucléaire : 72% des capacités de production pilotables à un **coût marginal < 50 €/MWh**

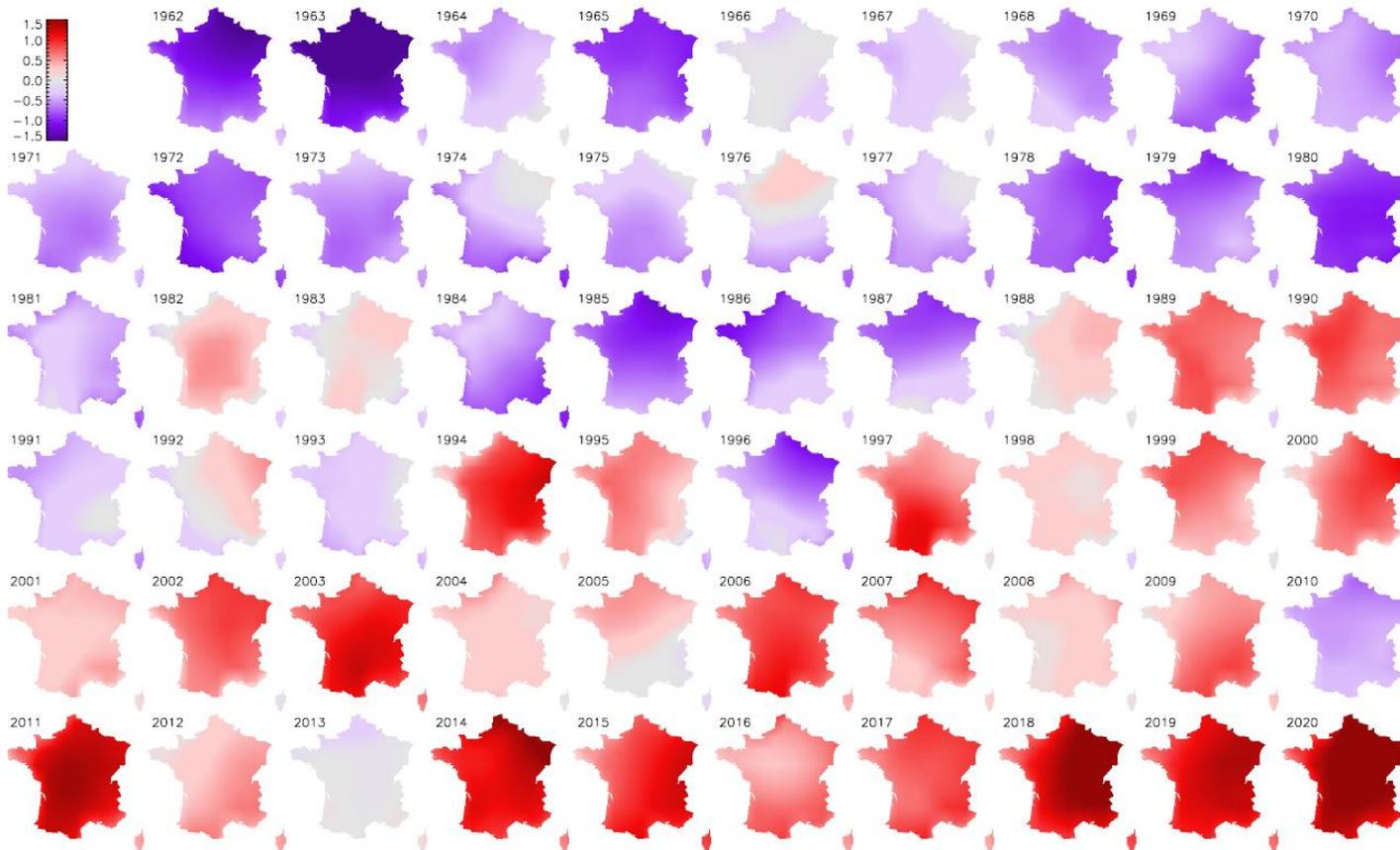
Mix 100% ENR : 48% des capacités de production pilotables à un **coût marginal compris entre 130 et 410 €/MWh**

Risque d'exercice de pouvoir de marché ?

# L'enjeu du temps

Les équipes du CEA œuvrent à lever les verrous technologiques, à réduire le coût des technologies et à ouvrir de nouvelles options

## Evolution de la température en France de 1962 à 2020



Data : Berkeley Earth - Figure : FM Breon (CEA/LSCE)

**Agir maintenant**

**Réduire fortement les consommations d'énergie**

**Bâtir un mix de production renouvelables & nucléaire**