

Energie, où allons nous? Quelques repères...

Conférence Bernard Maillard

Plouzané le 6 février 2024

Association Retraités de l'Ifremer-Brest

Électricité, des rubans et des pointes

- Courbe de consommation, **variations quotidiennes (moins de 1 à 2)** et **saisonnnières (de 1 à 3)**
 - <https://www.rte-france.com/eco2mix/la-consommation-delectricite-en-france>
- Sensibilité **l'hiver**, en France, diminution de la température extérieure de **un degré, 2400 MW de demande complémentaire**
- Minimum de 28 530 MW en été et maximum de 82 586 MW en hiver en 2023, Max de 83781 MW le 10 janvier 2024
- **Pointe maximale le 8 février 2012 à 19h de 102 098 MW**

PÉRIODE

mardi 6 février 2024

min

max

● Consommation réalisée

● Prévion J-1

● Prévion J

65751MW

66050MW

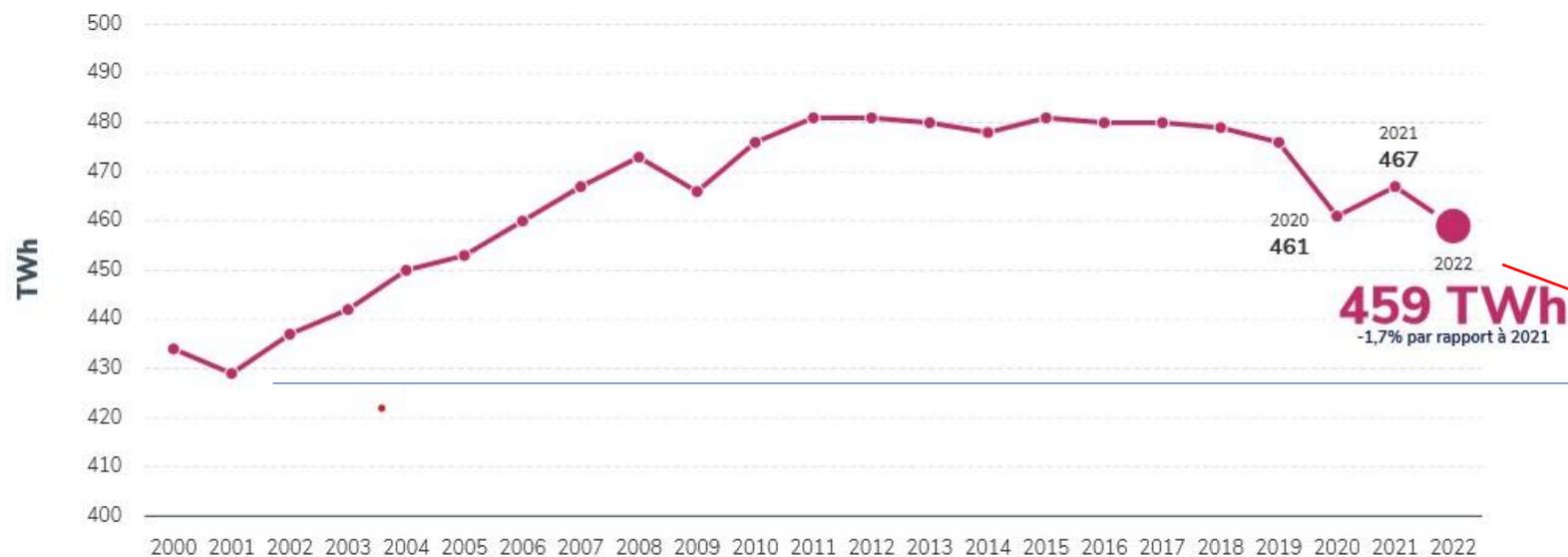
65950MW

Données temps réel



Décroissance passagère en France ?

Figure 1 : Évolution depuis 2000 de la consommation corrigée des effets météorologiques et calendaires



Soit 6,2 MWh
par habitant
et par an en
2023

424 TWh en 2023
Données provisoires

Retour à 2001 ???

Demande électricité décarbonée France 2035

- Développement des **Pompes à Chaleur**, **Besoin Pointe + 5 GW**
 - Besoins en volume compensés par l'efficacité énergétique
- 18 millions de **véhicules électriques** = **+ 35 TWh en volume**
- Besoins d'électricité décarbonée pour la **production d'hydrogène** pour transports et industrie = **+ 65 TWh en volume**

Et besoins complémentaires pour **le numérique suivant l'attractivité de la France sur le plan fiscal, sociétal, environnemental...**

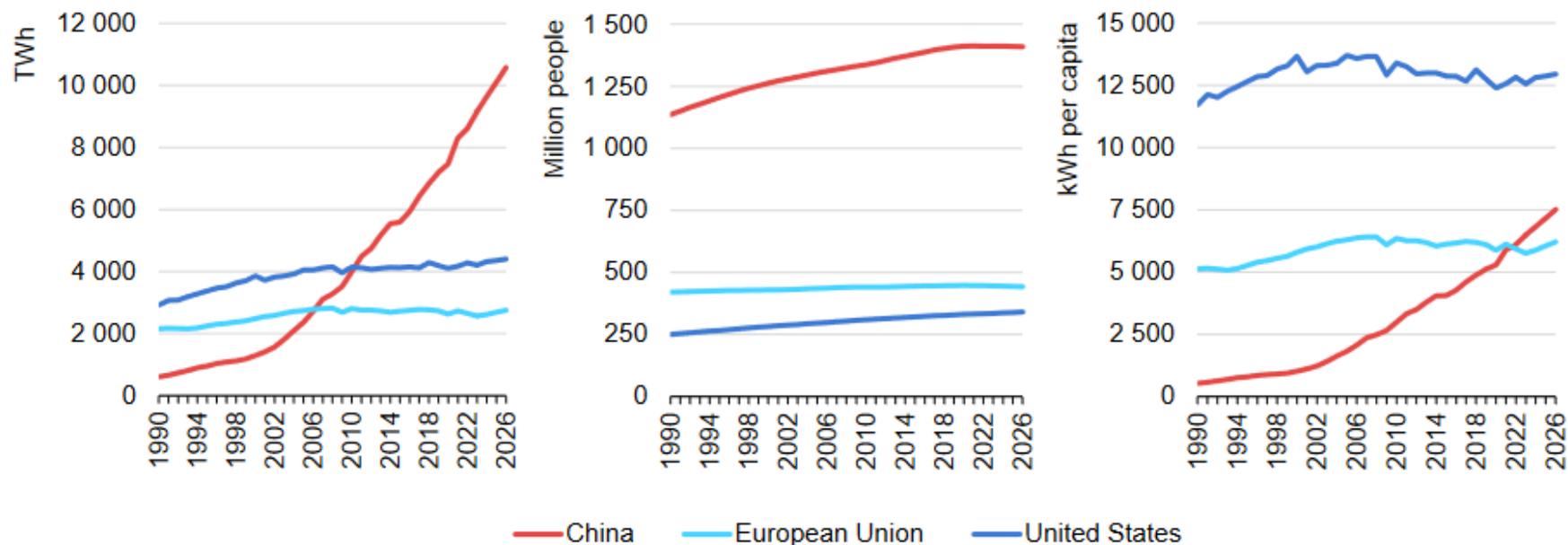
Et en Europe, et dans le monde?

Une conjoncture Particulière en 2022 - 2023 ?

- **Union Européenne, baisse de – 3,1 % en 2022 et - 3,2% en 2023**
 - Dont – 6% dans le secteur industriel (chimie – papier - métallurgie...)
 - Dont -4,8 % Pour l'Allemagne
- Afrique +1,5 % en 2022, + 2 % en 2023
- Russie, +1,5% en 2022 et +1%? en 2023
- **US et Chine, + 2,6 % en 2022 mais + 1,6 % US en 2023 et + 6,4 % Chine en 2023**
- En 2023, la demande de la Chine (8 615 TWh), plus de deux fois celle des US (4208 TWh), trois fois celle de l'UE (2568 TWh), huit fois celle de la Russie (1020 TWh), et onze fois celle de l'Afrique dans son ensemble (780 TWh)
- **La demande mondiale d'électricité en 2023 s'est élevée à 27 682 Twh, en progression de 2,2 % par rapport à 2022, elle-même en progression de 2,4 % par rapport à 2021**

Basculement géopolitique du monde 1/2

Total electricity demand (left), population (centre), and electricity consumption per capita (right) in China, European Union, and the United States, 1990-2026

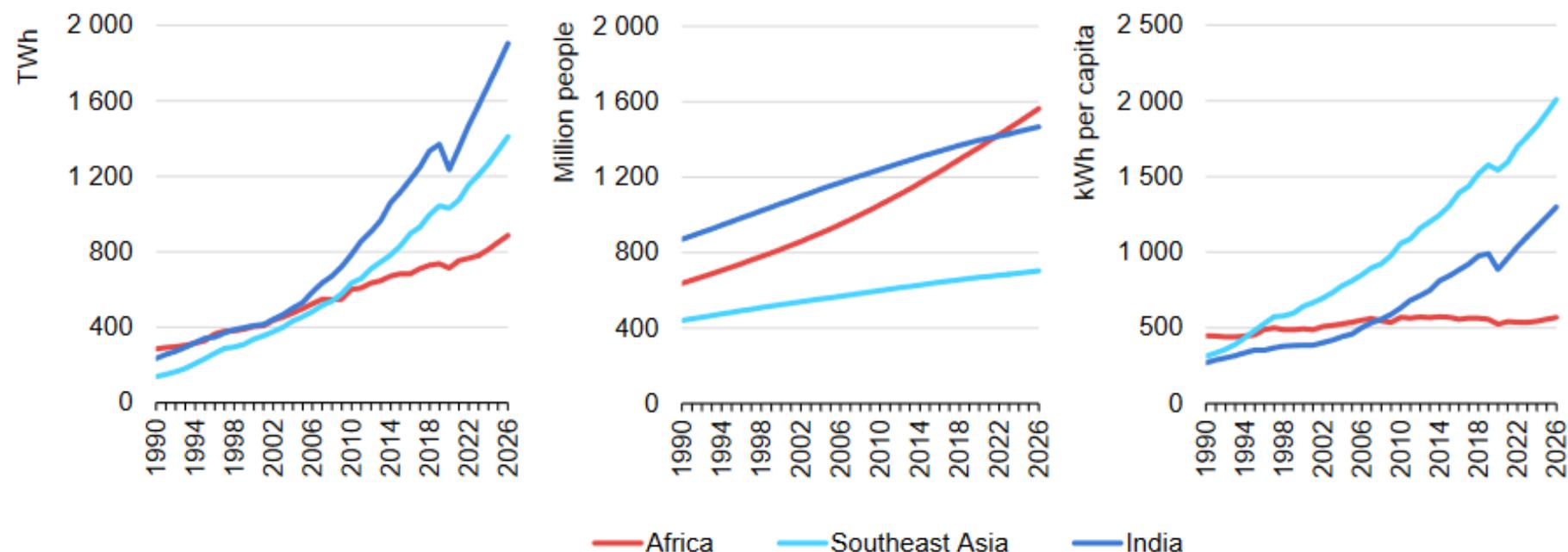


Données réelles 2023 – prévisionnelles 2024 – 2026 source AIE

IEA. CC BY 4.0.

Basculement géopolitique du monde 2/2

Total electricity demand (left), population (centre), and electricity consumption per capita (right) in Africa, Southeast Asia, and India, 1990-2026



Données réelles 2023 – prévisionnelles 2024 – 206 source AIE

IEA. CC BY 4.0.

Et pour équilibrer en temps réel Demande et Production ?

- Courbe de consommation
 - <https://www.rte-france.com/eco2mix/la-consommation-delectricite-en-france>
- Contrôle temps réel de la fréquence 50 Hz, de Tunis à Istanbul via Athènes
- Interconnexions
- Enjeu du pilotable, si possible décarboné

PÉRIODE

mardi 6 février 2024

min

max

● Consommation réalisée

● Prévission J-1

● Prévission J

65751MW

66050MW

65950MW

Données temps réel

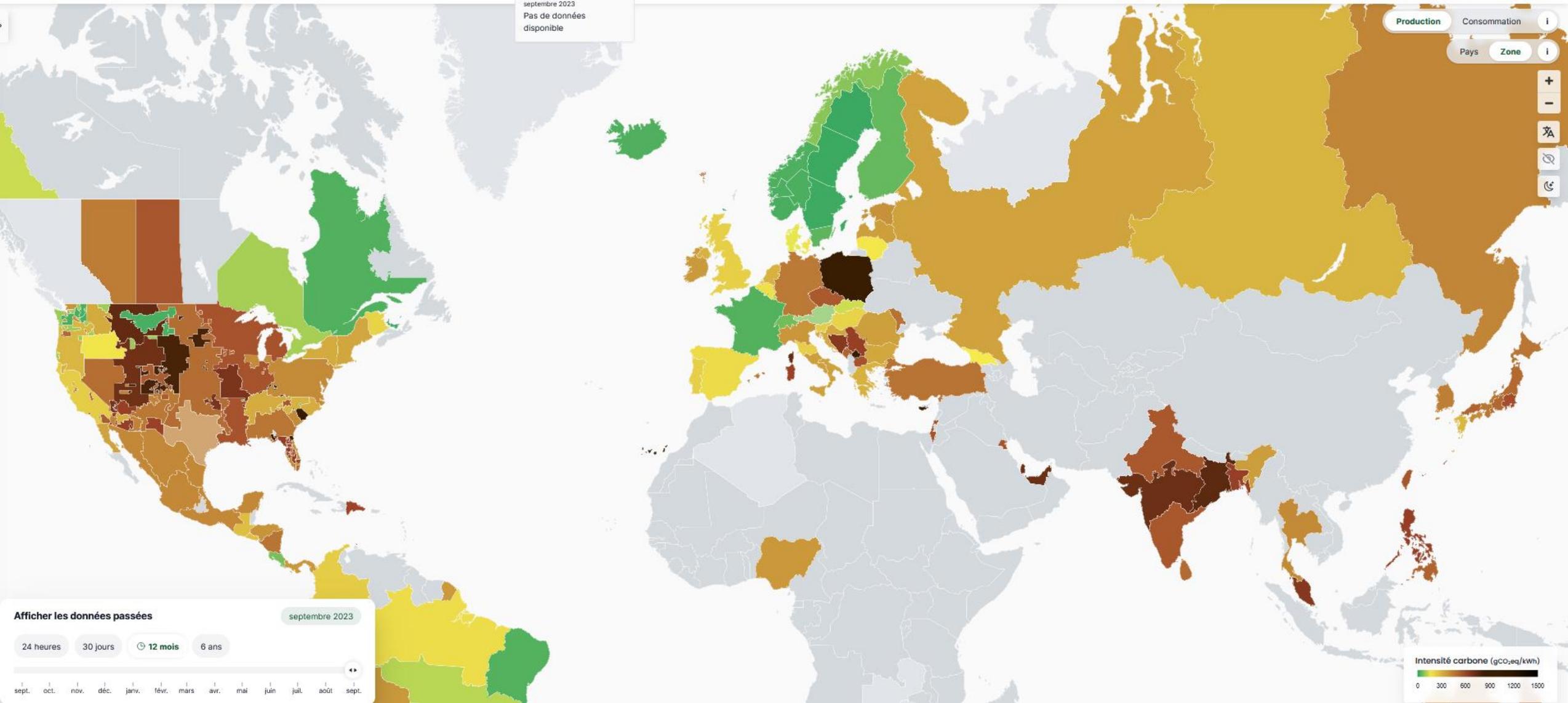




En France, quelle production?

- Bonne nouvelle, **l' électricité française est déjà quasi décarbonée**, grâce au parc existant hydraulique et nucléaire (6 g CO₂/kWh pour hydraulique et nucléaire – 14 g pour l'éolien – 55 g pour le solaire – 418g CO₂/kWh pour la production par le gaz et 1060 g CO₂/kWh par le charbon)
- <https://app.electricitymaps.com/map>
 - **Sur 12 derniers mois France : 56 gCO₂/kWh**; 419 gCO₂/kWh pour Allemagne
 - En 2022, 590 gCO₂/kWh Asie – Pacifique ; **460 gCO₂/kWh moyenne monde**
- Diversité en France de la production d'électricité

<https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere>



Energie où allons-nous ? Quelques repères- Bernard Maillard
Plouzane 7 février 2024

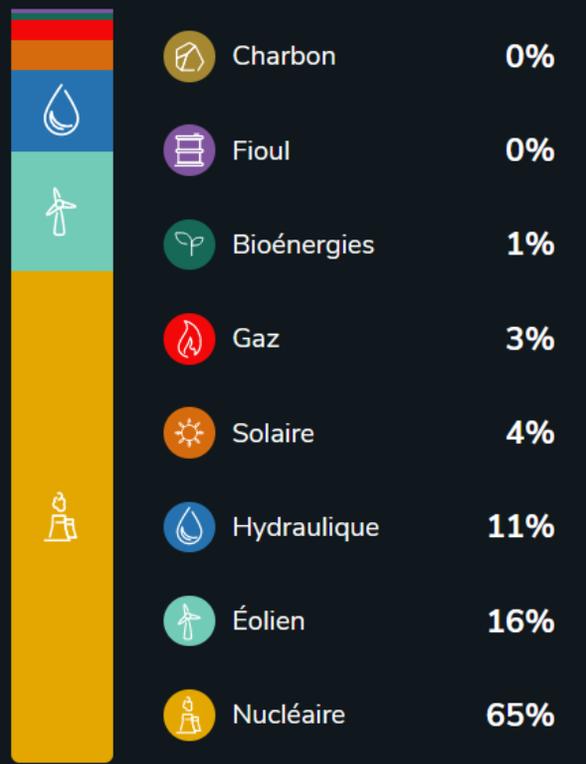
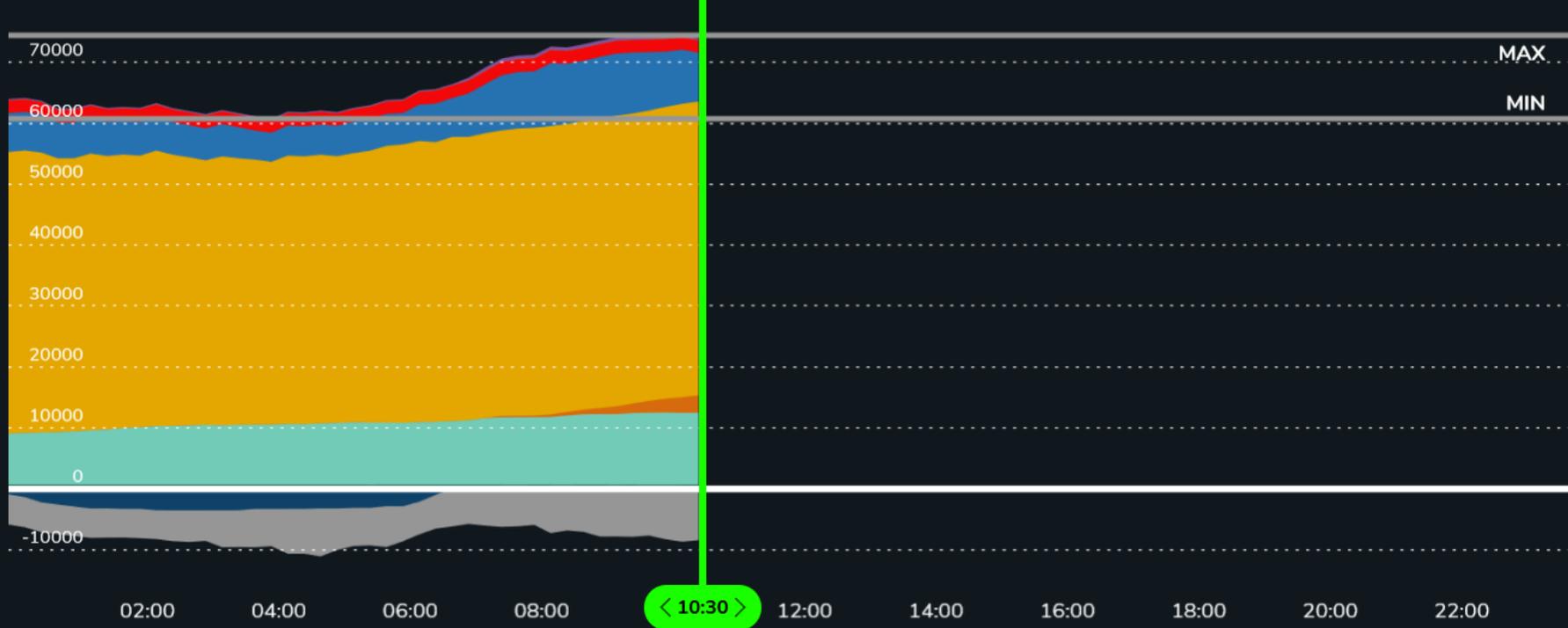
PÉRIODE

mardi 6 février 2024

min max



Données temps réel



Renouvelable, où en sommes nous ?

- **Nouveau renouvelable**, éolien (47 Twh en 2023, 10%) et solaire (21 TWh en 2023, 4%), **Opportunité d'une production plus locale et diversifiée**
- **intermittent** (facteur de charge de l'éolien de 22% - **variation de la puissance agrégée de 1 à 100** en janvier 2022 au niveau France)
- <https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere>
- Intermittence éolien maritime
- <https://www.entsoe.eu/data/transparency-platform/>
- Requier des **moyens de production ou de stockage pilotables complémentaires de compensation** (rendement du stockage à prendre en considération, très variable de 30 à 80 % pour H2 ou pour batteries)
- **Nouvelle architecture et renforcement des réseaux électriques**

PÉRIODE

01/01/2022 au 31/01/2022

- Import 1332MW
- Fioul 1334MW
- Charbon 1767MW
- Gaz 8528MW
- Hydraulique 11518MW
- Nucléaire 49550MW
- Solaire 5589MW
- Éolien 155MW**
- Bioénergies 1115MW

Données consolidées



Coût du nouveau renouvelable

- **Nouveau Renouvelable déjà réalisé encore soutenu:** (cf délibération CRE 2023 – 200)
 - éolien terrestre : 96,9 euros le MWh - éolien maritime: 179,1 euros le MWh,
 - solaire : 244,1 euros le MWh ,
- **45 euros le MWh annoncés pour le l'éolien maritime Centre Manche 1**
 - (1GW - couplage en 2031 – Investissement de 2 Meuros)
- Investissements annoncés très importants en volume (selon UE, **800 Milliards d'euros à investir en Europe** dans l'éolien maritime – 300 GW d'ici 2050)
- **Sans inclure coût des investissements dans le réseau, et du nécessaire pilotable décarboné associé**

Hydraulique, atout important

- **Hydraulique**, fil de l'eau. **Intermittent**, ou barrage, **pilotable**
- **Enjeu stratégique du pompage (STEP) et du stockage**, contentieux qui demeure au niveau européen sur les concessions hydrauliques
- <https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere>
- **Forte sensibilité au climat**, aux régimes de sécheresses et de grandes pluies (baisse de 67,8 TWh en 2018 à 49,6 TWh en 2022, production la plus faible depuis 1976 puis remontée à 58,2 TWh en 2023, 11,5 % de la production France)
- **Enjeu de sûreté hydraulique**, tenue des barrages et débit dans les rivières et fleuves
- **Faible dépendance au coût des matières premières** sauf pour le nouvel hydraulique. Quelques **nouvelles STEP possibles**, à terre, et en mer?

PÉRIODE

01/01/2022 au 31/01/2022

Détails

Import
6813MW

Fioul
400MW

Charbon
1637MW

Gaz
8838MW

Hydraulique
16109MW

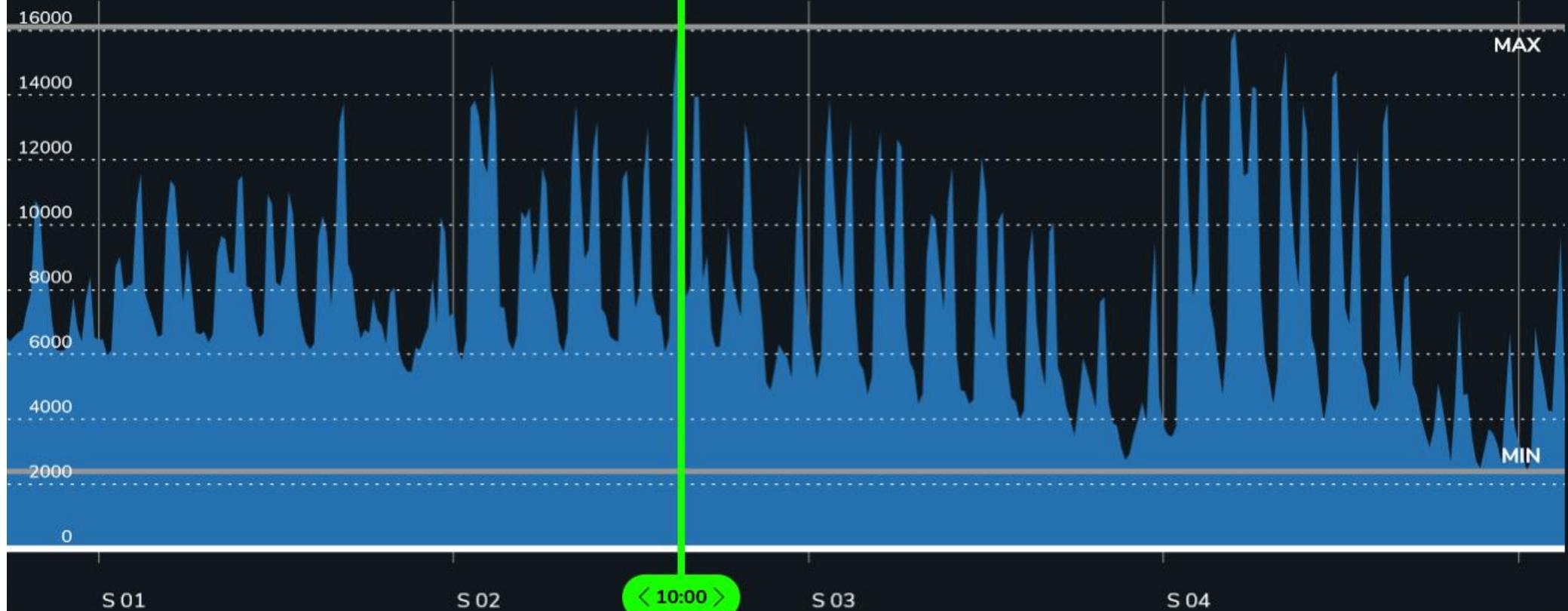
Nucléaire
48534MW

Solaire
2094MW

Éolien
913MW

Bioénergies
1173MW

Données consolidées



Gaz, cœur du pilotable ou seulement pointe?

- **Indispensable pilotable** pour répondre à la demande en électricité si pas de vent, pas de soleil, peu d'hydraulique, et, peu ou pas de nucléaire....
 - En régime anticyclonique, lors de vagues de froid sur plusieurs jours et nuits sur toute l'Europe de l'Ouest, **le gaz demeure nécessaire à l'Europe**
- **Europe dépendante**, malgré gisements de la Norvège, en Méditerranée et autres donc **un enjeu géostratégique**
- **Énergie carbonée 418g CO₂/kWh**
- 6% en France en 2023 avec 28 TWh (10% en 2022 avec 44,1 TWh)

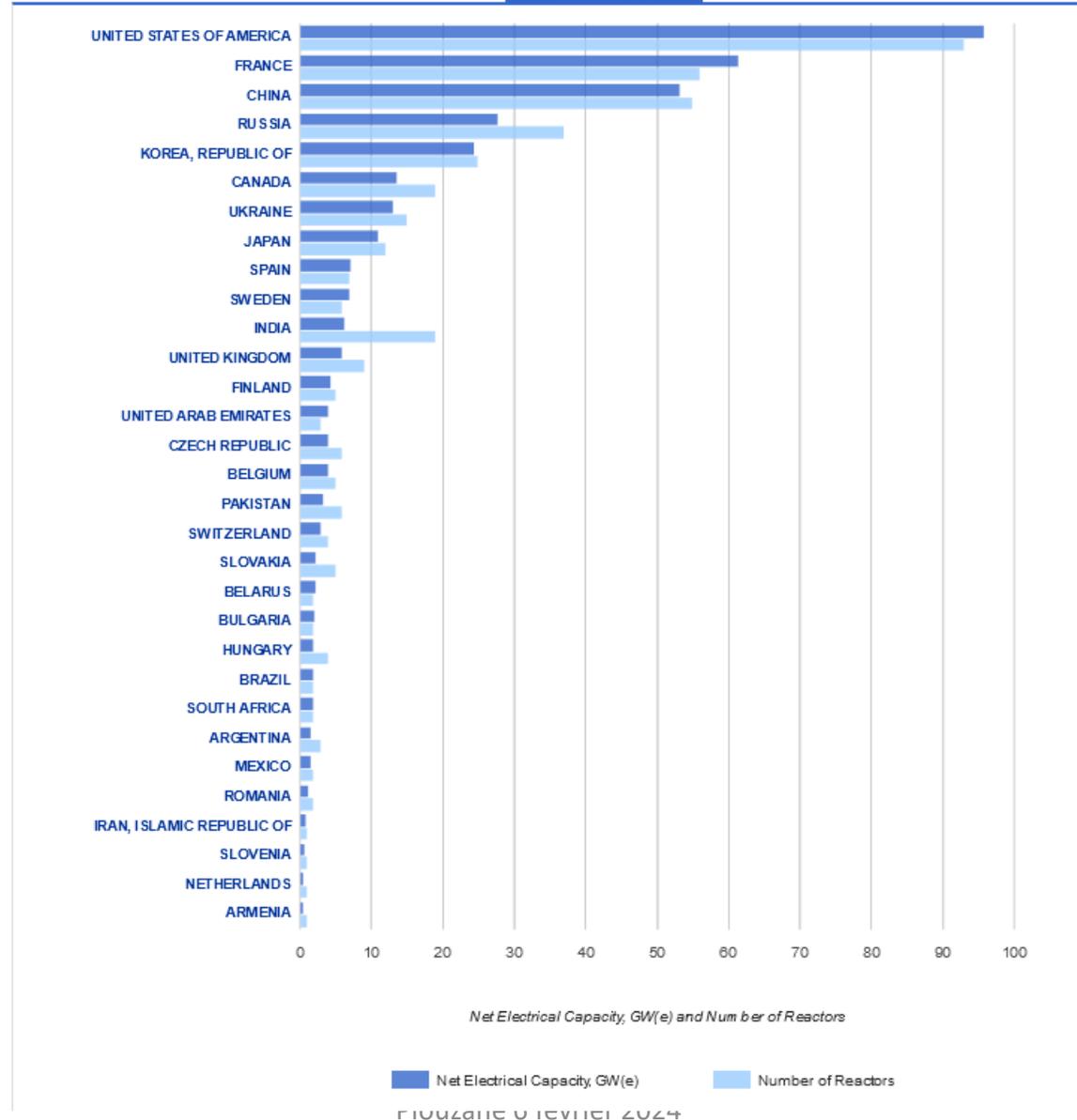
Nucléaire, pilotable et décarboné (6g de CO₂ par kWh)

- **413 réacteurs industriels** de production d'électricité en exploitation à travers le monde
 - Amérique du Nord, Asie, Europe (situation très contrastée)
 - Présence encore limitée en Afrique (Afrique du Sud - Egypte) et en Amérique latine (Argentine - Brésil)
 - <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.asp>
X

In Operation & Suspended Operation

By Country By Type By Region

IN OPERATION



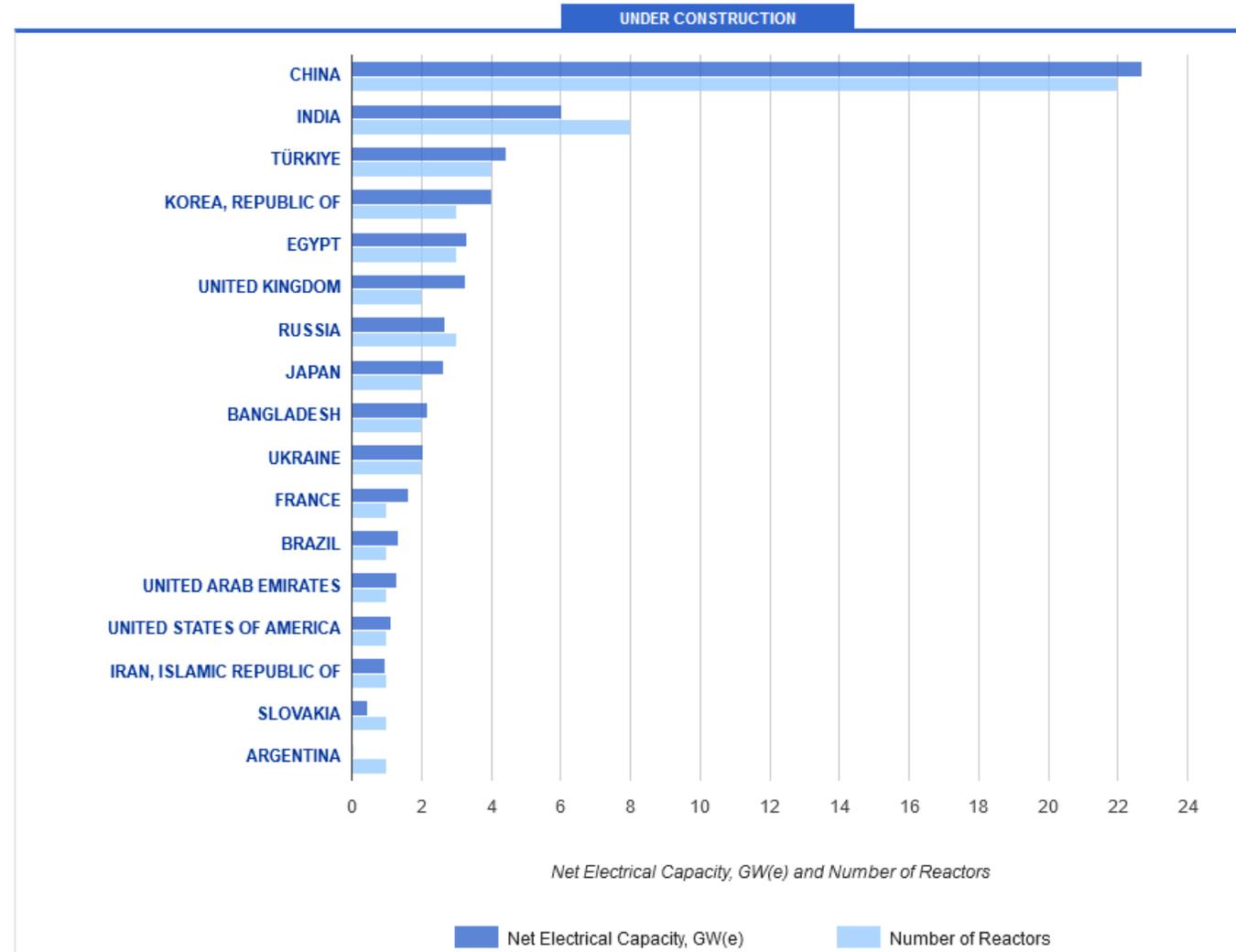
Nucléaire, pilotable et décarboné (6g de CO₂ par kWh)

- **58 réacteurs en construction**

- Dont **23 réacteurs en Chine**, 8 en Inde, 3 en Russie, ... 2 au UK, 1 aux US, 1 en France, ... **Nouveaux pays entrants: Emirats Arabes Unis, Turquie, Bangladesh, Egypte, Biélorussie**...une trentaine en potentiel ??? ...
- Les dix pays BRICS (5 + 5 au premier janvier 2024) exploitent ou développent l'énergie nucléaire civile, y compris l'Ethiopie
- Dans le G7 - Deux ont abandonné le nucléaire, Italie et Allemagne
- <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>

Under Construction

By Country By Type By Region



Enjeu de la sûreté nucléaire

- Energie très concentrée, contrepartie, la sûreté nucléaire en priorité une
 - **Réalité physique, le risque nul n'existe pas**
 - Enseignements de Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima
 - Dispositions humaines et organisationnelles, **Culture de sûreté nucléaire**
- **Triple exigence opérationnelle :**
 - **Stabilité institutionnelle de la gouvernance publique** engagée sur **le long terme**
 - Capacité scientifique et **compétence industrielle**
 - Et **responsabilité première de l'exploitant nucléaire,**
 - sous le contrôle étroit de l'Autorité de Sûreté et des Pouvoirs Publics, avec Revues internationales Osart/AIEA et Peer Review/WANO
- Concerne **les réacteurs et l'ensemble du cycle du combustible nucléaire,** y compris le traitement ultime des déchets nucléaires
 - dépose de la Demande d'Autorisation de Création de CIGEO le 16 janvier 2023
 - **La sûreté nucléaire tire la performance industrielle**

Et les enjeux de défense?

- **Séparation installations civiles et militaires**, l'exigence de culture de sûreté vaut pour chacune d'entre elles, avec les rôles respectifs induits de l'exploitant et des Pouvoirs Publics
- La confidentialité, **comme pour toute infrastructure civile vitale**, est un élément de protection et de défense en profondeur. Elle ne s'oppose pas à la transparence requise par la culture de sûreté nucléaire (pour la représentation nationale et pour les personnes habilitées) dans un strict besoin d'utilité et d'efficacité au regard des enjeux de défense
- Complémentarité **Traité de Non Prolifération nucléaire** et développement du nucléaire civil
- **La Sûreté nucléaire doit continuer à présider aux enjeux géopolitiques**

Compétitivité du nucléaire

- **Coût du nucléaire Parc en exploitation : 42 euros le MWh, suivant ARENH fixe entre 2012 et 2023 – coût complet** (inclut déconstruction et déchets)
- Pour la **période 2026-2030**, le coût complet ressort à **60,7 €2022/MWh** selon la CRE, avec une **production annuelle de 360 TWh** incluant Fla 3. Ce coût **n'inclut pas le coût de financement des EPR2**.
- L'accord EDF Etat du 14 novembre 2023 établirait un **coût repère pour la production nucléaire de 70 euros le MWh** en incluant le coût de financement des nouveaux réacteurs

Enjeu de la disponibilité du parc nucléaire

- **Baisse significative de la disponibilité nucléaire en 2022** (54 % contre 73 % sur la période 2015-2019)
 - Programmée (mises à niveau décennales pour passer les 40 ans - cadence industrielle)
 - Impact Covid avec décalage des programmes d'arrêts
 - Aléa Industriel: Corrosion sous contrainte (réacteurs les plus récents N4 et 1300 P'4)
- **Production nucléaire**
 - **430 TWh en 2005**
 - **279 TWh en 2022** Déficit Import/Exportation d'électricité pour la première fois depuis 1980 (- 16,5 TWh pour un facture France de 7 Milliards d'euros) - **impact de 29 Meuros sur Ebitda EDF**
 - **318 TWh en 2023**, soit 66% de la Production française, reprise des exportations de la France + 50 TWh

NOUVEAU NUCLEAIRE EN FRANCE

- **3 paires EPR2** – Coût du Programme **51,7 Milliards d'euros 2020**, hors coût de financement, avec quelle régulation nucléaire de long terme?
Dépôt de la Demande d'Autorisation de Création de la première paire d'EPR 2 sur le site de Penly 2 par EDF le 29 juin 2023
- Faisabilité industrielle pour **couplage à l'horizon 2035 ?**
 - Mobilisation effective de la filière industrielle nucléaire
 - des savoirs faire à retrouver et à confirmer
 - Disposer de garanties institutionnelles sur la durée

Durées de construction nucléaire

Durée de construction des réacteurs couplés sur le réseau électrique à travers le monde dans la période 2019 /2023 , couvrant la crise COVID :

- **6,3 ans pour Chine / Pakistan, avec douze réacteurs couplés** (dont 9,2 ans pour l'EPR Taishan 2 et 9 ans pour un HTGR)
- **9,1 ans pour Corée/Emirats Arabes Unis avec six réacteurs REP couplés**
- 10 ans aux US avec un réacteur couplé
- 10,1 ans en Inde avec un réacteur couplé (eau lourde pressurisée)
- **10,3 ans pour Russie /Biélorussie avec six réacteurs REP couplés**
- **26,3 ans pour les réacteurs en Europe**, avec seulement deux réacteurs REP couplés, (36 ans Mochovce 3 et 16,6 ans pour OEL3) – Flamanville 3 – 16 ans pour couplage prévu en 2024...
- **Objectif à retrouver et à tenir en Europe: moins de 10 ans**

Et les petits réacteurs ?

- **Foisonnement de projets** à travers le monde SMR, AMR...
- Des réalités déjà opérationnelles, formation, recherche, propulsion navale...
- Pour la production d'électricité, d'hydrogène décarboné, de chaleur, désalinisation de l'eau de mer
- Niveau d'investissement plus accessible pour les nouveaux entrants
- **Innovation** pour sûreté, intégration et standardisation industrielle
 - EDF Nuward avec CEA –Technicatome – Framatome annonce 40 mois de réalisation – un prototype/TTS en France horizon 2030/2035?
 - Projets très innovants, **la sûreté nucléaire doit demeurer en priorité une**

Et pour le consommateur final

???

Et pour le contribuable???

Pour quelques MWh par an par foyer domestique...



Un Mega Watt heure = un Millier de kilos Watt heure

FACTURE Electricité TTC EN TROIS VOILETS

Energie

Acheminement
(Transport –
Distribution)

Taxes

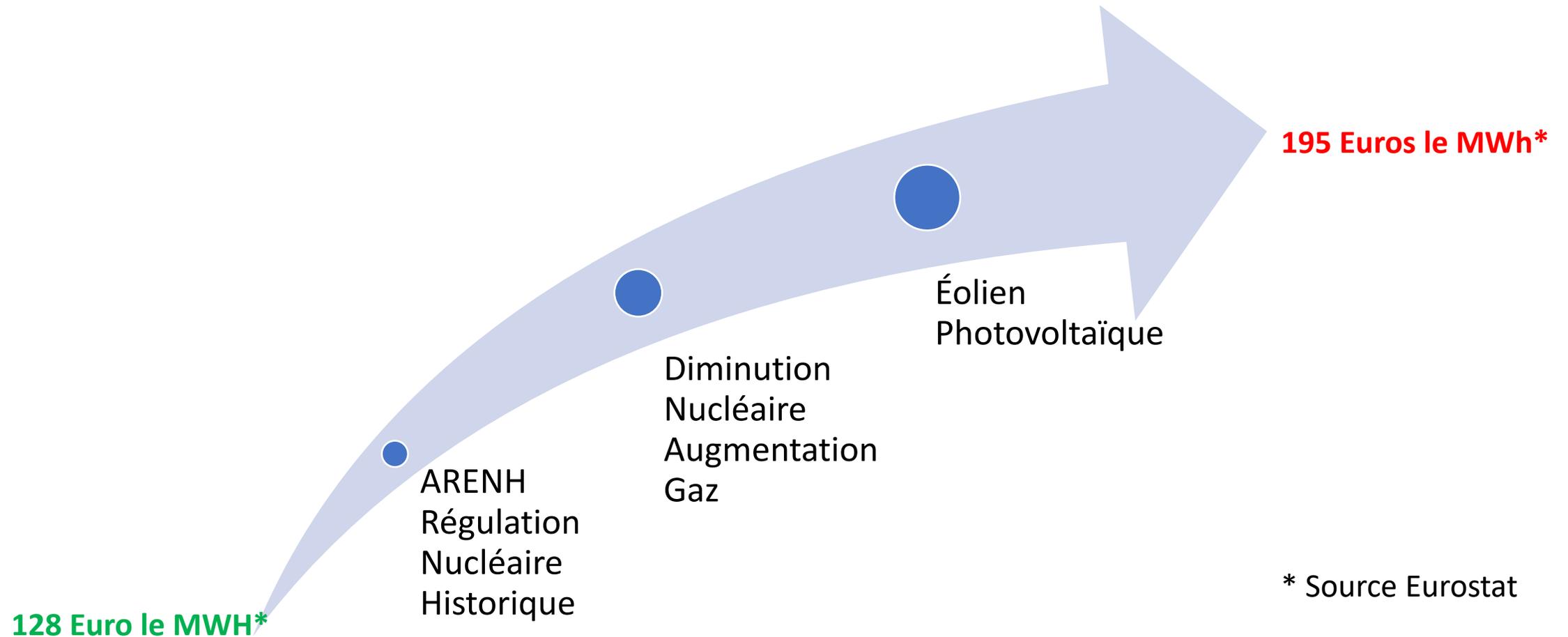
La facture du particulier en France a subi une augmentation de 52% entre 2010 et 2021

- Facture (**tout compris – énergie, acheminement et taxes**) en France pour le particulier
 - **52 % d'augmentation en France entre 2010 (128, 3 euros TTC le MWh) et 2021 (194, 6 euros TTC le MWh), avant la guerre en Ukraine et la conjoncture de 2022**
 - La France qui se situait dans les pays les moins chers en 2010, se retrouve désormais **parmi les nations européennes les plus chères pour le particulier**
 - Elle se **rapproche de l'Allemagne**, sans encore la dépasser, Allemagne qui a vu aussi ses prix augmenter, 237 euros le MWh en 2010 et **319,3 euros le MWh en 2021**

source Eurostat

<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00117/default/bar?lang=fr>

Facture totale électricité, énergie, acheminement et taxes + 52% TTC de 2010 à 2019 en France



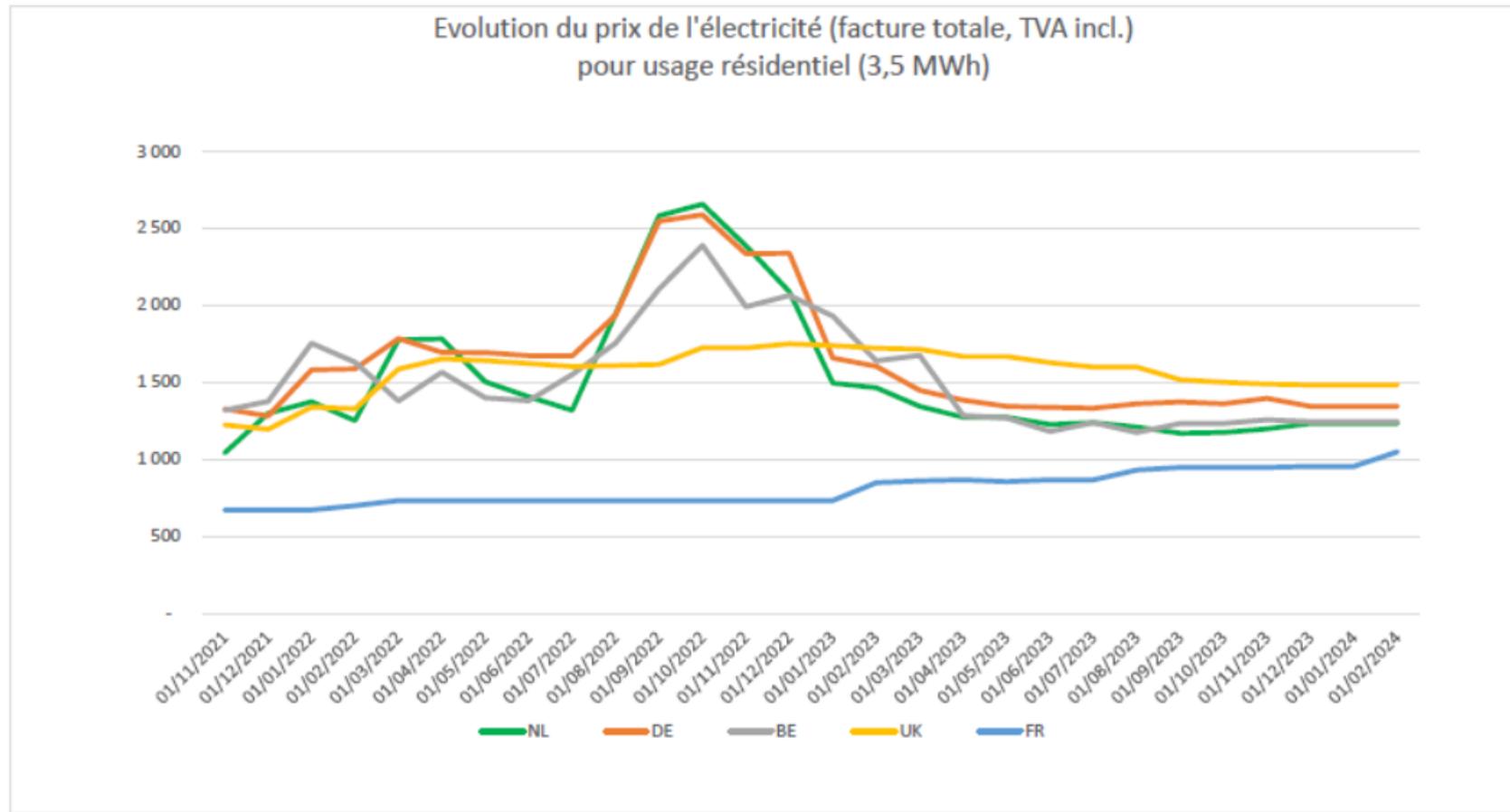
2022/2023, un marché en pleine spéculation

- Un aléa industriel sur le parc nucléaire français en 2022
- Une guerre en Ukraine, le gaz qui se raréfie, le Moyen Orient qui s'embrase de nouveau...
- Des prix spéculatifs sur le marché de l'électricité qui perdent toute rationalité économique avec un « Ruban » 2023 qui s'envole à plus de 1000 euros le Mwh le 26 août 2022 (à comparer au 42 euros le MWH pour le nucléaire Arenh prix inchangé depuis 2011 et toujours en vigueur... et alors que le gaz en 2022 ne représente en France que 10% de la production d'électricité en 2022 et 6 % en 2023)
- Une régulation qui ne permet pas d'écarter cette spéculation avec des compensations très coûteuses pour le contribuable (Coût du bouclier tarifaire en France en 2023 – 24 milliards d'euros - la moitié du Coût des 6 prochains EPR2)

Quel scénario demain pour le prix de l'électricité ???

- Dans un contexte européen où la France redevient, avec le retour de la disponibilité du nucléaire, depuis fin 2022, exportatrice d'électricité (50 TWh en 2023) la nouvelle augmentation complémentaire de 10% en 2024 interroge sur le pourquoi
 - Pour mémoire pour le particulier, coût complet énergie, acheminement et taxes fin 2022, (sources Eurostat)
 - France 209, 2 euros le MWh - Espagne 307,1 euros le MWh – Italie 311,5 euros le MWh - - Allemagne 327,9 euros le MWh - Belgique 343,7 euros le MWh – Danemark 455,9 euros le MWh
 - Cette augmentation porte sur une nouvelle taxe électrique TICFE de 21 euros par MWh...
- Avec une tendance à la baisse, en France, sur le marché de gros, pour la part énergie, 75 Euros le MWh pour le ruban 2025, et 70 euros le MWh pour le Ruban 2026, se rapprochent des coûts économiques de long terme
- <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%2221%22%7D>

Intercomparaison prix en Europe 2021 - 2024



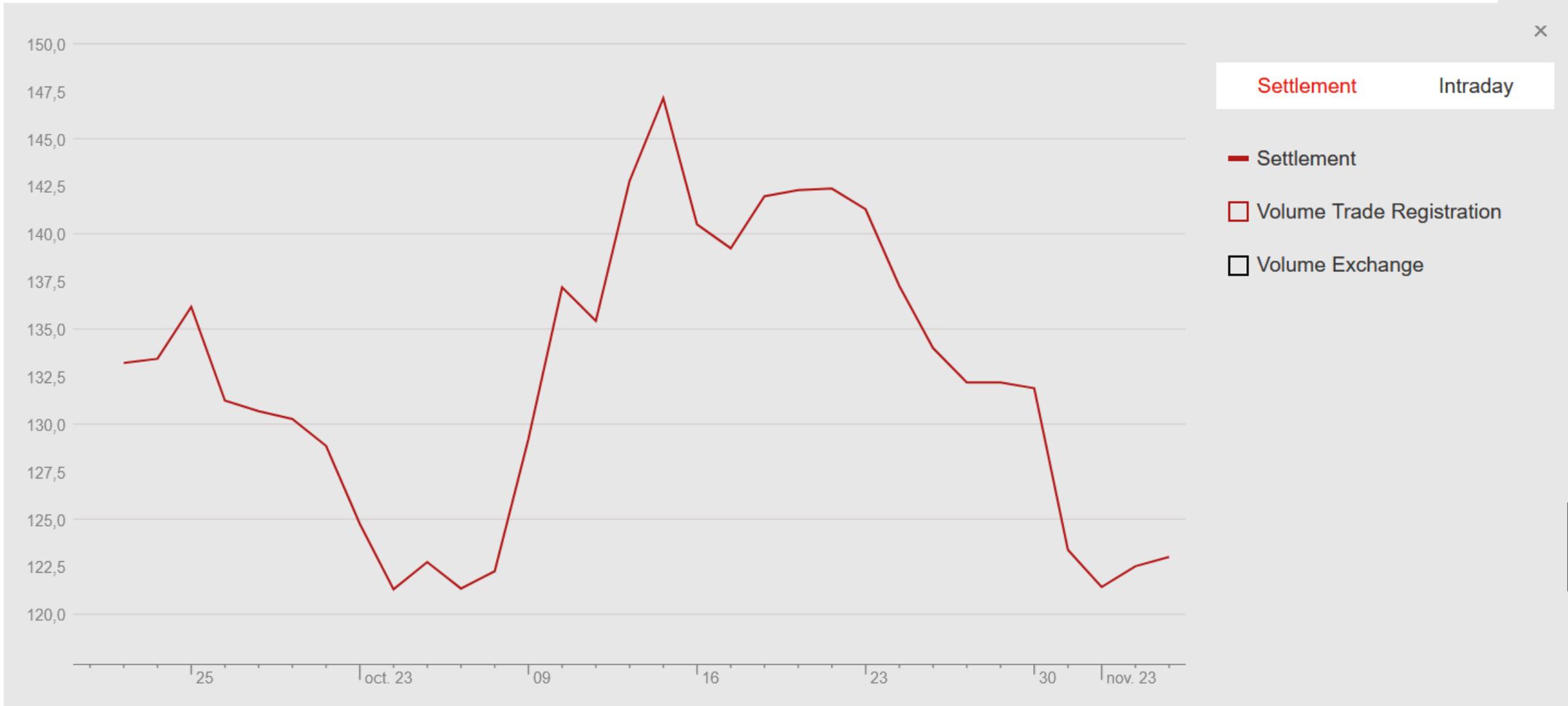
©Bercy

Future	Last Price	Last Volume	Settlement Price	Volume Exchange	Volume Trade Registration	Open Interest
Cal-24	-	-	-	-	105 408	6 553



Settlement
 Intraday

- Settlement
- Volume Trade Registration
- Volume Exchange



L'enjeu du long terme dans la régulation

- Permettre le financement du **renouvellement** du **système électrique** dans son ensemble, production, et réseau électrique, **en premier lieu le pilotable décarboné** en coûts complets, dans une architecture du réseau incluant développement des productions locales et des interconnexions électriques
- Prendre en compte les **coûts économiques de long terme de production**
- Pour le nucléaire, incluant la mise à niveau et le renouvellement du parc nucléaire, la fermeture du cycle du combustible et la valorisation de toutes les matières disponibles, la déconstruction et le traitement ultime des déchets nucléaires
- Permettre des **contrats de long terme 5, 10 ans, et plus** associant de manière intégrée des producteurs et de gros utilisateurs
 - Contrats passés en 2023 de 83 à 85 euros le MWh à l'horizon 2027 et à 77 euros le MWh à l'horizon 2028.

Des facteurs clés pour demain

- Attention première à la sobriété et à l'efficacité énergétique, transports multimodaux bas carbone, urbanisme, isolation des bâtis, ...
- Des décisions sans plus tarder sur le pilotable décarboné pour la production d'électricité
 - Relancer programmes de développement de stations de pompage hydrauliques, plusieurs GW en jeu, nécessité de régler le contentieux toujours en cours au niveau européen sur les concessions hydrauliques
 - Renforcer la disponibilité du parc nucléaire existant, lancer les nouveaux réacteurs en diminuant les délais de construction tout en préservant la priorité une à la sûreté nucléaire
- Sur la production intermittente (éolienne, photovoltaïque,...) réinterroger l'ensemble des externalités, pilotage décarboné de compensation de l'intermittence, adaptation des réseaux, impact en matières et ressources engagées, transparence des flux financiers...

Quels scénarios demain?



Pistes prioritaires d'action

Maitriser la demande
efficacité, décarbonation ,
Accès de l'électricité au plus
grand nombre

Disposer d'une régulation
permettant des contrats de
long terme fondés sur une
base économique

Innover en intégrant
conjointement les volets
technologiques,
environnementaux, humains
et sociétaux

Consolider la performance du
pilote décarboné
priorité 1 sûreté nucléaire

Réinterroger l'utilité de l'
intermittent massif en
préservant le renouvelable
local

Pour retrouver les données sources

- *Pour retrouver les données clés de référence actualisées*
- <https://sevedatome.fr/>
- *Et commentaires sur l'actualité dans mon journal*
- <https://malicorne.over-blog.com/tag/energie/>