



Marc FONTECAVE

CHAIRE CHIMIE DES PROCESSUS BIOLOGIQUES

La transition énergétique : aujourd'hui et demain (III)

5 nov. > 17 déc. 2025



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

Electrification des usages : Où en est-on ?

Marc FONTECAVE

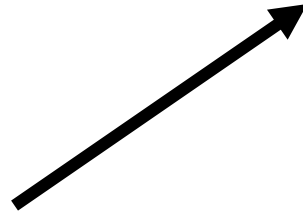
*Professeur au Collège de France
Président du Comité de Prospective en Energie
(Académie des Sciences)*

SÉMINAIRE

Vincent Berger, Haut-Commissaire à l'Energie Atomique

« Quelle politique pour la production d'électricité nucléaire
en France ? »

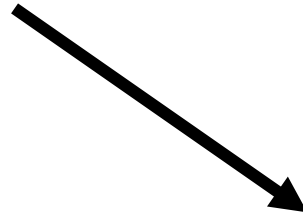
**Electrification
des usages**



**Offre
électrique**



**Demande
électrique**



SCENARIOS 2035-2050 (France)?

Electrification des usages*

450 (2024) + 280 (2050) = 730 TWh

Transports (Véhicules électriques)

90 TWh

Hydrogène

60 TWh

Habitat-Chauffage

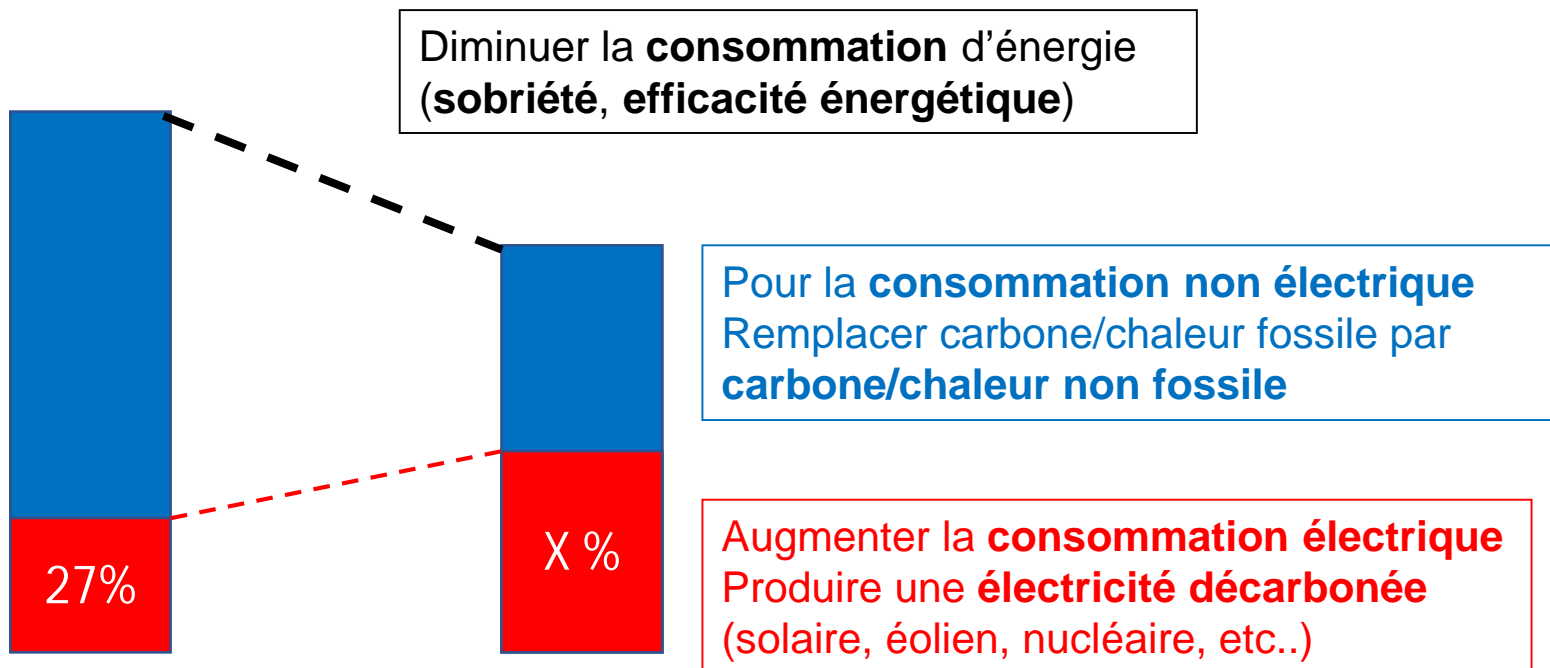
30 TWh

Industrie (acier, chaleur, e-fuels,...)

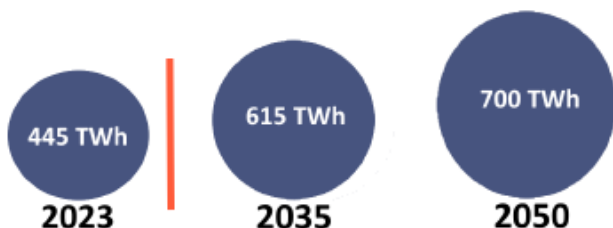
70 TWh

Data centers/AI ?

30 TWh



Les scénarios de consommation électrique retenus par la commission d'enquête pour 2035 et 2050



* Scénarios RTE et ADEME
avis AS et AT; **commission d'enquête Sénat**
700-800 TWh (2050) – 600-650 TWh (2035)

SCENARIOS 2035-2050 (France)?

Electrification des usages*

475 (2019) + 140 (2035) = 615 TWh

Transports (Véhicules électriques)
45 TWh

Diminuer la **consommation** d'énergie
(sobriété, efficacité énergétique)

PPE3 – p.78 : « la consommation d'électricité va augmenter fortement sous l'effet de l'électrification (directe ou via H2 ou les e-fuels) de nombreux usages (transport, chauffage, industrie). »

27%

(solaire, éolien, nucléaire, etc..)

25 TWh

Data centers/AI ?
10 TWh

e-fuels,..)

* Scénarios RTE, Sénat,...

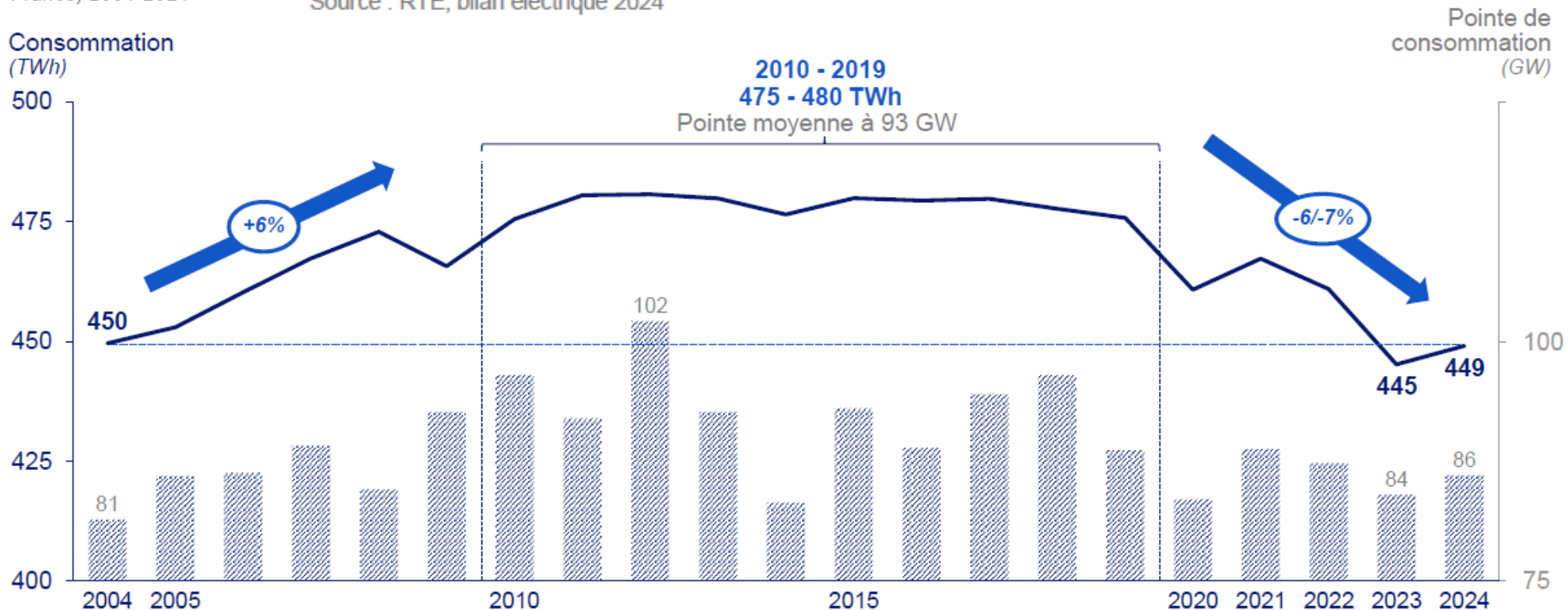
CONSOMMATION ELECTRIQUE EN HAUSSE ?

France

Evolution de la consommation corrigée d'électricité et de la pointe de consommation

France, 2004-2024

Source : RTE, bilan électrique 2024



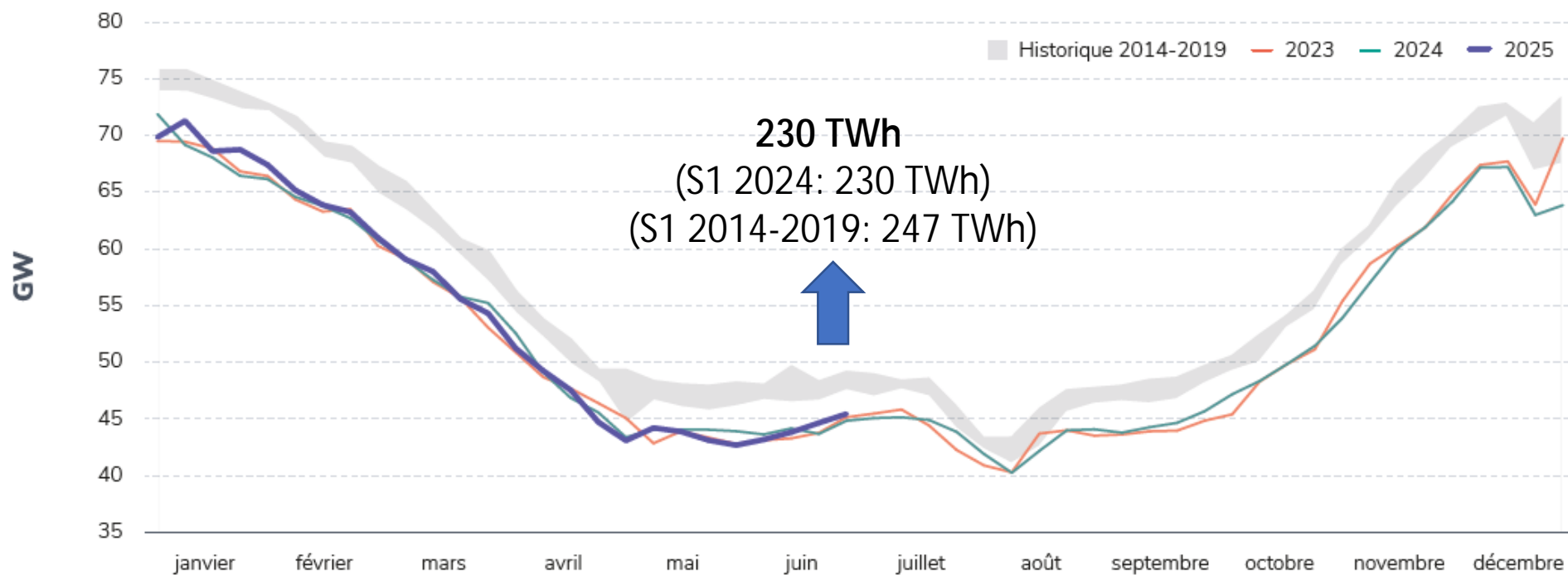
- Ø Amélioration de l'efficacité énergétique des convertisseurs d'énergie
- Ø Baisse de la demande (économies d'énergie: sobriété)
- Ø Désindustrialisation
- Ø **Électrification des usages plus difficile que prévu**

Et en 2025 ?



BILAN DU PREMIER
SEMESTRE 2025
ET PERSPECTIVES
SUR LA SÉCURITÉ
D'APPROVISIONNEMENT
EN ÉLECTRICITÉ
POUR L'ÉTÉ
JUILLET 2025

Figure 1 - Évolution de la consommation d'électricité au cours de l'année 2025 (puissance moyenne hebdomadaire) et comparaison avec les années précédentes (jours ouvrés)



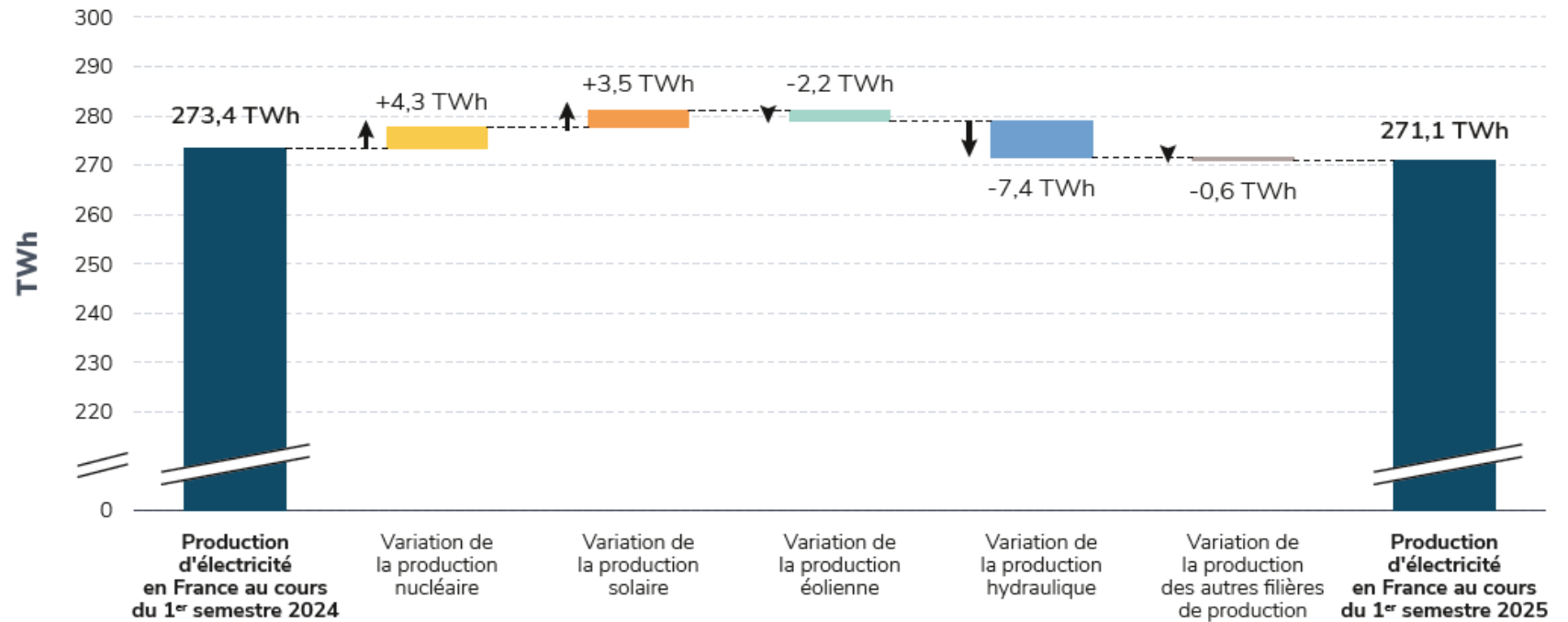
Et en 2025 ?



BILAN DU PREMIER
SEMESTRE 2025
ET PERSPECTIVES
SUR LA SÉCURITÉ
D'APPROVISIONNEMENT
EN ÉLECTRICITÉ
POUR L'ÉTÉ
JUILLET 2025

- Ø Production ↗: nucléaire, solaire; ↘: éolien, hydraulique
- Ø Exports: 37,6 TWh
- Ø Prix spot hebdomadaire moyen 67 €/MWh (+44% vs 2024)
- Ø Prix < 0 ↗: 363 h vs 235 h 2024 vs 53 h 2023

Figure 4 - Décomposition de l'évolution de la production d'électricité en France entre le premier semestre 2024 et le premier semestre 2025



De janvier à mai

Ø + 2,1 GW de solaire
(total: 26,4 GW)

Ø + 0,2 GW d'éolien
(total: 24,6 GW)

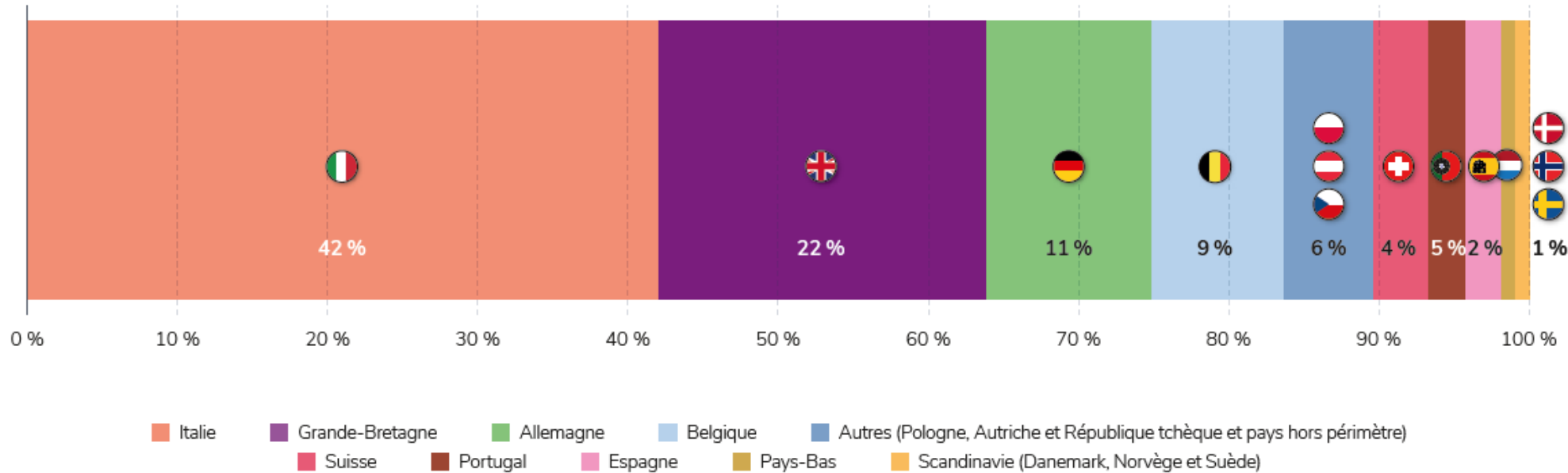
Et en 2025 ?



BILAN DU PREMIER
SEMESTRE 2025
ET PERSPECTIVES
SUR LA SÉCURITÉ
D'APPROVISIONNEMENT
EN ÉLECTRICITÉ
POUR L'ÉTÉ
JUILLET 2025

- Ø Production ↗: nucléaire, solaire; ↘: éolien, hydraulique
- Ø Exports: 37,6 TWh (2è record après 2024)
- Ø Prix spot hebdomadaire moyen 67 €/MWh (+44% vs 2024)
- Ø Prix < 0 ↗: 363 h vs 235 h 2024 vs 53 h 2023

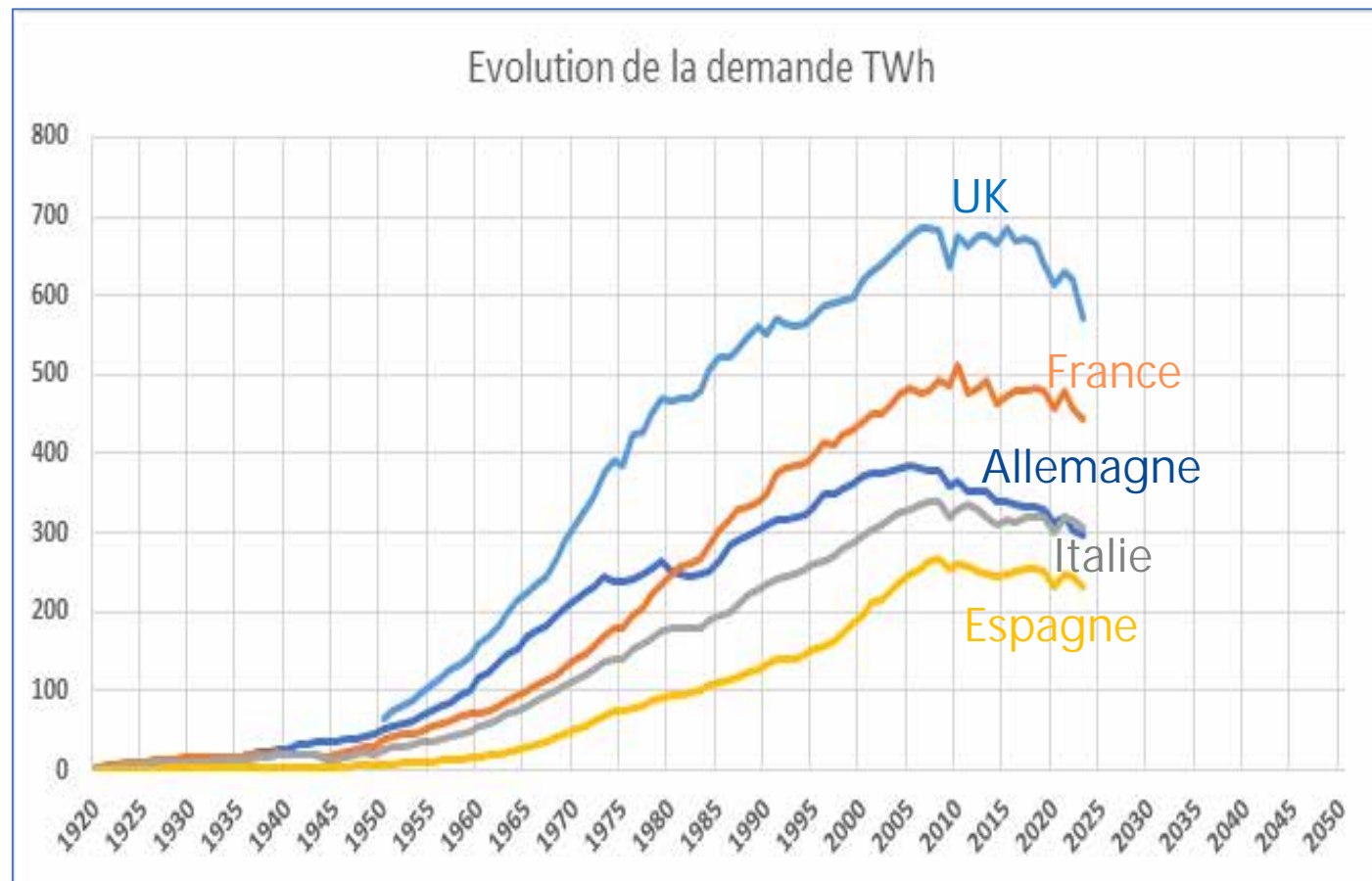
Volume total d'exportations : 37,4 TWh



* Exportations reconstituées par RTE sur la base des flux d'échanges commerciaux entre les différents pays européens

CONSOMMATION ELECTRIQUE EN HAUSSE ?

Europe



- Ø Amélioration de l'efficacité énergétique des convertisseurs d'énergie
- Ø Baisse de la demande (économies d'énergie: sobriété)
- Ø Désindustrialisation
- Ø **Électrification des usages plus difficile que prévu**

Electrification des usages en berne

Hydrogène vert ?

Procédés industriels (acier,...)?

Véhicules électriques ?

Chauffage des bâtiments?

Pompes à chaleur vs Chaudières à gaz

Carburants de synthèse (e-fuels)

Hydrogène vert: où en est-on?

- Ø Pas d'avancées notables (coûts, rendements)
- Ø Demande atone
- Ø Montée lente de la capacité d'électrolyseurs
(50 MW en 2025-cible 6,5 GW en 2030 et 8 GW en 2035)
- Ø McPhy : gigafactory d'électrolyseurs (inauguration le 13 juin 2024; 15 mai 2025: liquidation judiciaire*); taxis Hype
- Ø Stratégie française en réévaluation
(SGPI: priorité H2 à l'industrie et non aux transports)
- Ø Airbus suspend la mise au point de son avion H2
- Ø Stellantis met fin au programme de VH2 (16 juillet 2025)
- Ø Impacts sur le coût des carburants de synthèse
(e-kerosene = x 5-8 kerosene fossile)

*Racheté par John Cockerill juillet 2025

Hydrogène vert: où en est-on?



Global Hydrogen Review 2025

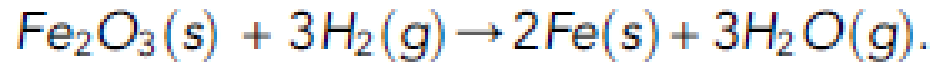


International
Energy Agency

Dans son rapport annuel sur le sujet, l'AIE indique que le portefeuille de projets en cours a chuté en un an : il permettrait de produire 37 millions de tonnes par an en 2030, contre 49 millions [l'an dernier à la même époque](#). C'est une première. « La production potentielle est en baisse à la fois pour les projets par électrolyseur et pour ceux utilisant des énergies fossiles avec captage et stockage du carbone, ajoute l'AIE, même si les projets par électrolyse représentent à eux seuls 80 % de la baisse enregistrée. » **Septembre 2025**

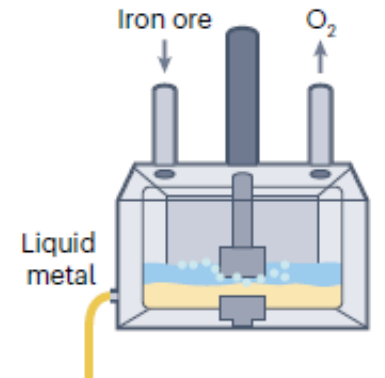
Acier vert: où en est-on?

l'acier- 9 % des émissions mondiales de CO₂



Ou

Électrolyse de Fe₂O₃



Procédé « charbon »

France 14 Mt/30000 personnes/15 milliards € CA

1 tonne d'acier > 2 tonnes CO₂

Procédé « vert » (Arcelor Mittal)

« H₂ » ou « électrons »

1 tonne d'acier > 0.2 tonnes CO₂

Acier vert: où en est-on?

Ø Arcelor Mittal: a suspendu ses projets d'acier vert

Fos-sur-mer et Dunkerque (15% des émissions de l'industrie); idem Allemagne

Ø Difficultés de la sidérurgie

- ü Prix de l'énergie
- ü Surproduction d'acier chinois
- ü Charges fiscales
- ü Demande intérieure faible (automobile ↘, construction ↘)
- ü Hausse des barrières douanières (USA)

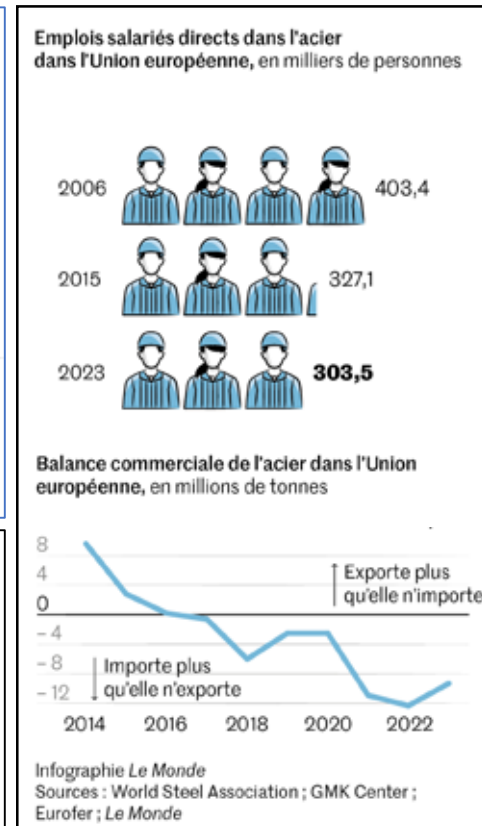
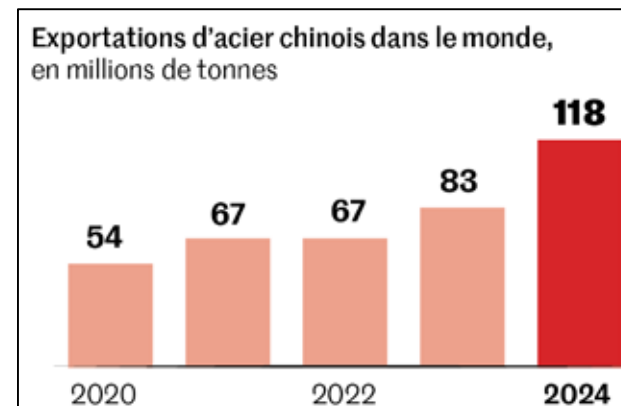
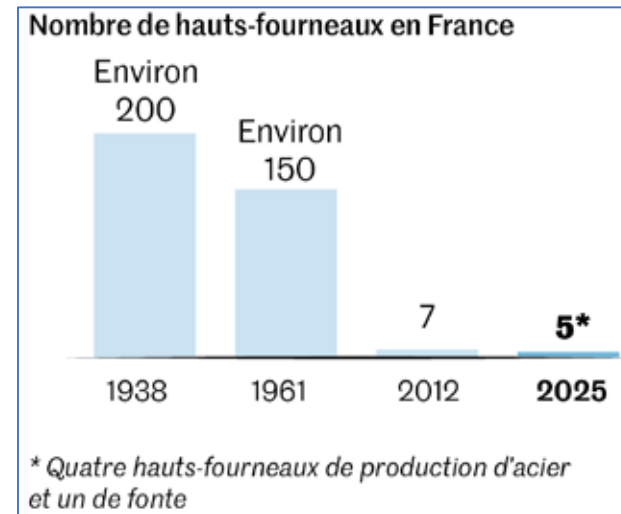
Ø UE: ThyssenKrupp

- ü suppression 10000 emplois (2030)

Ø UE: Stegrä (Suède)

- ü Acier vert (réduction directe par H₂)

Objectif: 2,7 Mt en 2027 puis 4,5 Mt/an



Acier vert: où en est-on?

Ø Arcelor Mittal: a suspendu ses projets d'acier vert

Fos-sur-mer et Dunkerque (15% des émissions de l'industrie); idem Allemagne

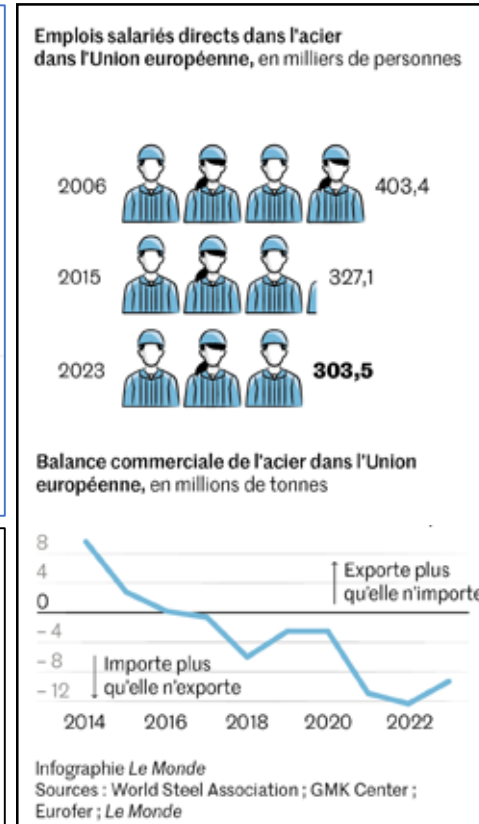
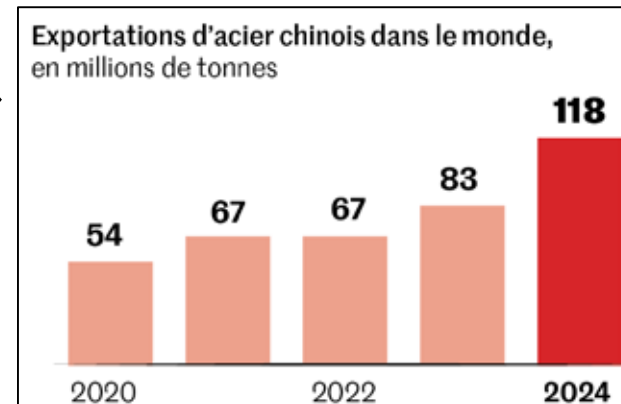
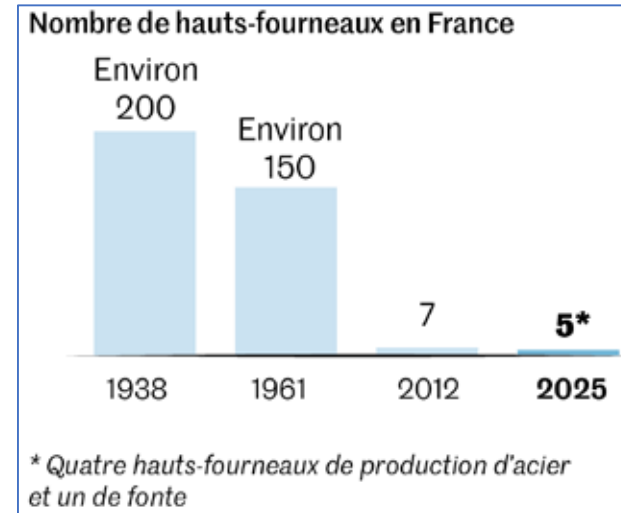
Ø Difficultés de la sidérurgie

G. Van Poelvoorde (PDG Arcelor Mittal Europe)

« la rentabilité de cette transition n'est pas suffisante »

« l'hydrogène vert n'est pas encore une source d'énergie viable »

« la réduction directe du fer n'est pas compétitive »
(mai 2025)



Mobilité verte: où en est-on?

Ø Difficultés du secteur du Véhicule Thermique (France-Allemagne)

- ü Interdiction ventes VT en 2035
- ü Extension des ZFE ?
- ü Diminution des exportations (concurrence)
- ü Amendes pour constructeurs (si émissions > 93,6 g/km-2025- 105 g/km -2024)*
- ü Hausse des barrières douanières à l'exportation (USA-15%)

Ø Conséquences

- ü Le marché automobile s'écroule
- ü Fermetures d'usines, plans sociaux, pertes d'emplois (Michelin, Stellantis, VW,..)
- ü Difficultés des équipementiers automobiles (Valeo, Forvia: suppression de 10000 emplois en 5 ans; Bosch n°1 mondial: suppression de 13000 emplois) ,..)

*Commission Européenne 5 mars 2025- plan d'action pour l'avenir de l'industrie automobile
(« en danger de mort »): assouplissement sur les émissions de GES
« nous devons écouter les voix qui demandent plus de pragmatisme »

Mobilité verte: où en est-on?

Ø Difficultés du secteur du Véhicule Électrique (France)

ü b « Le marché automobile européen est en chute depuis maintenant cinq ans », é 16,9%)
ü T déclare John Elkann, président de Stellantis, et « au rythme actuel, le marché
Ø L pourrait être plus que divisé par deux » d'ici à 2035.

ü F « Le marché n'achète pas ce que l'Europe veut que nous lui vendions », abonde
ü F Luca de Meo, ancien directeur général de Renault : « Remplacer la totalité des
Ø F volumes actuels par de l'électrique, dans ces conditions, nous n'y arriverons
ü C pas. »

ü F Jean-Philippe Imparato, directeur Europe, Stellantis

ü E « C'est très clair: nous sommes à quelques mois d'un drame »

ü R Réglementations européennes (20% de ventes d'unités électriques en 2025 – réalité 9%)

ü I Instabilité des aides à l'achat (bonus écologique, leasing social)

ü N Nouvelles taxes (ex: malus au poids-loi de finances 2025)

ü C Concurrence chinoise (et taxes à l'importation)

Mobilité verte: où en est-on?

(VP+VUL) Véhicules légers : 106 324 véhicules légers neufs (voitures particulières et véhicules utilitaires légers de moins de 5,1 tonnes) ont été immatriculés en Août 2025, soit une hausse de 1,21%.

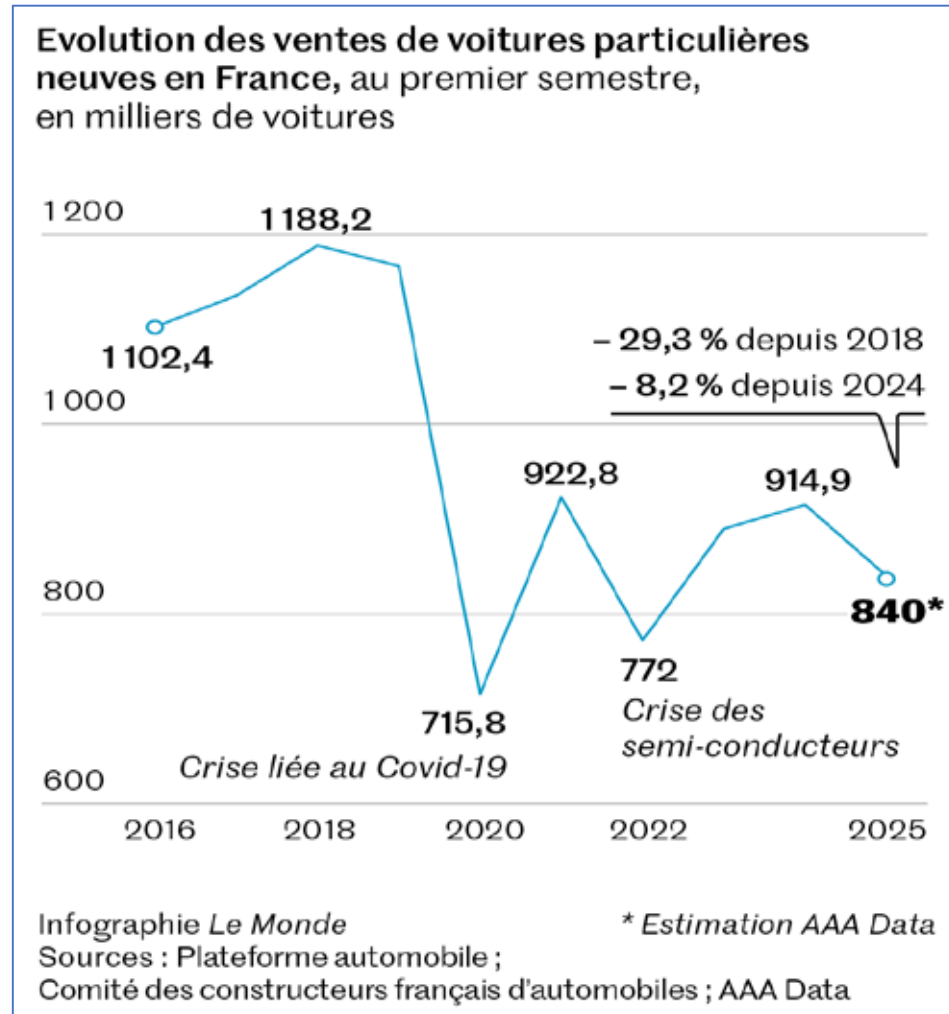
8 MOIS 2025 (Janvier à Août)

(VP) Voitures particulières : sur les huit premiers mois de 2025, avec 1 046 432 immatriculations, le marché français des voitures particulières neuves est en baisse de 7,14% en données brutes (165 jours de Janvier à Août 2025 et 168 jours de Janvier à Août 2024).

(VUL) Véhicules utilitaires légers : avec 235 843 immatriculations de Janvier à Août 2025, le marché français des véhicules utilitaires légers neufs (moins de 5,1 tonnes) est en baisse de 9,93%.

(VP+VUL) Véhicules légers : 1 282 275 véhicules légers neufs (voitures particulières et véhicules utilitaires légers de moins de 5,1 tonnes) ont été immatriculés au cours des huit premiers mois de 2025, soit une baisse de 7,67%.

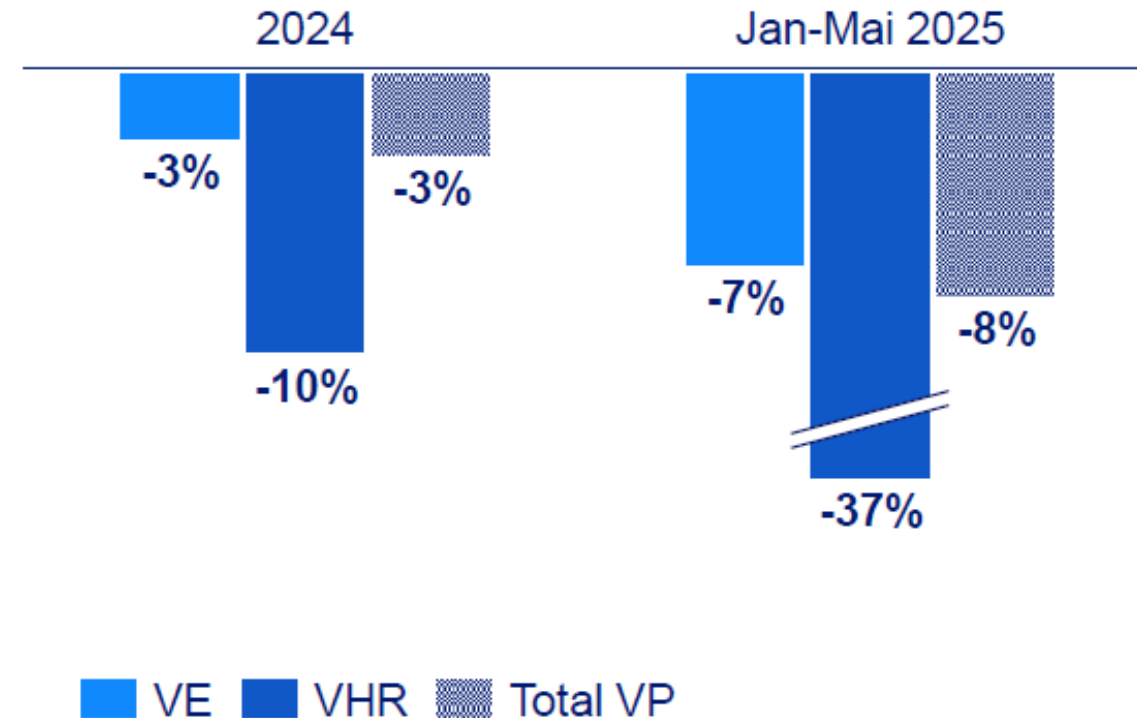
Mobilité verte: où en est-on?



Remarques:

- Les français achètent leur première voiture neuve à 57 ans
- Marché automobile: 80 % des voitures vendues sont d'occasion (75% < 10000 euros)

Evolution du nombre d'immatriculations de véhicules particuliers par rapport à l'année précédente
En %, en France

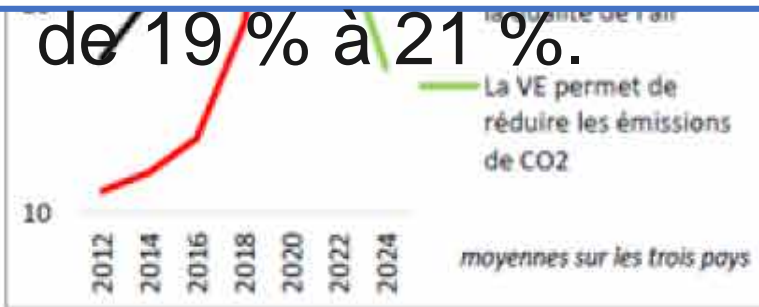


Mobilité verte: où en est-on?



Etude cabinet Deloitte (juin 2025):

- seuls 9 % des Français envisagent l'achat d'un véhicule électrique.
- les modèles thermiques gagnent en popularité avec 44 % des intentions d'achat, soit 3 points de plus qu'il y a un an, tandis que l'hybride gagne en popularité,





SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2025-2026

Enregistré à la Présidence du Sénat le 15 octobre 2025

RAPPORT D'INFORMATION

FAIT

au nom de la commission des affaires économiques (1) sur la filière automobile,

Par M. Alain CADEC, Mme Annick JACQUEMET et M. Rémi CARDON,

Sénateurs et Sénatrice

CONTRE UN CRASH PROGRAMMÉ : MESURES D'URGENCE POUR L'INDUSTRIE AUTOMOBILE FRANÇAISE

« La crise est profonde et durable. L'industrie automobile française peut, à court terme, disparaître sous l'effet conjugué de la contraction sans précédent du marché et la concurrence d'acteurs extra-européens, notamment chinois »

350 000

Nombre de salariés
dans la filière amont
de l'automobile

-20%

Baisse des ventes des
véhicules particuliers
en France
après la crise sanitaire
(moyenne sur les cinq
années précédant et
suivant la crise)

-12 points

Baisse de la part
de la France
dans la production
automobile européenne
entre 2000 et 2020

+24%

Hausse du prix
des véhicules neufs
achetés en France
entre 2020 et 2024



RAPPORT D'INFORMATION

FAIT







au nom de la commission des affaires économiques (1) sur la **filière automobile**,

Par M. Alain CADEC, Mme Annick JACQUEMET et M. Rémi CARDON,

Sénateurs et Sénatrice

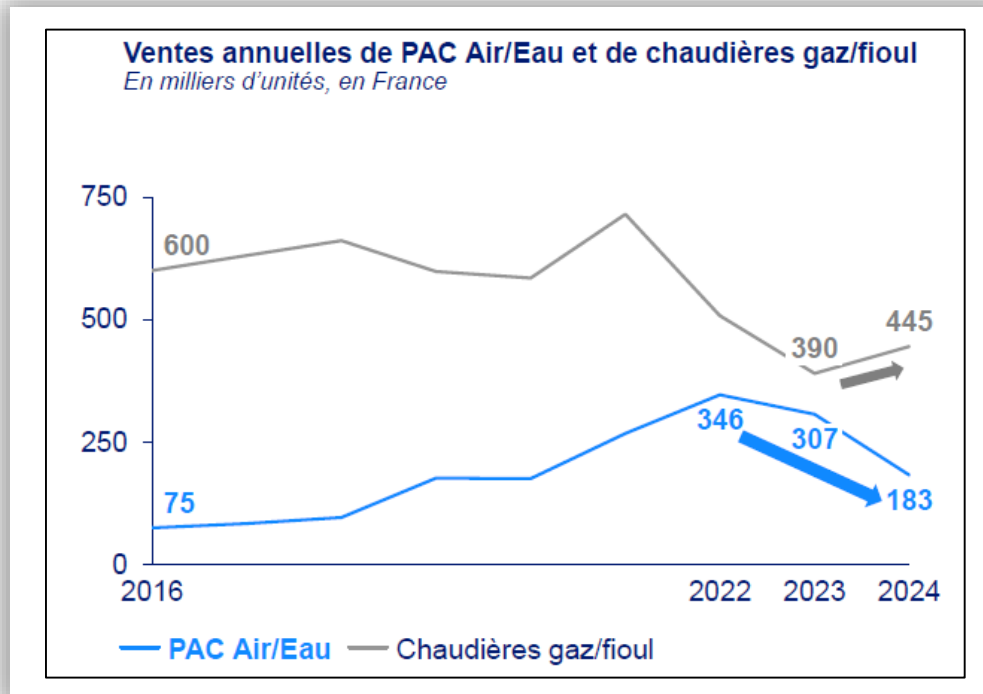
CONTRE UN CRASH PROGRAMMÉ : MESURES D'URGENCE POUR L'INDUSTRIE AUTOMOBILE FRANÇAISE

LES PRINCIPALES RECOMMANDATIONS DE LA MISSION

Dans l'immédiat	À moyen terme	À long terme
Assurer des débouchés pour les constructeurs français	Donner à la filière du temps pour se mettre à niveau sur l'électrique	Devenir <i>leader</i> sur le véhicule du futur
 Lutter contre la concurrence déloyale et protéger le marché européen <ul style="list-style-type: none">• Instaurer des droits de douane sur les véhicules électriques chinois au moins équivalents à ceux appliqués par la Chine• Imposer un contenu local européen (80 %) pour les véhicules vendus en Europe et fixer un objectif d'au moins 40 % de batteries produites localement en 2035  Soutenir le marché électrique <ul style="list-style-type: none">• Harmoniser les politiques de soutien à la demande au niveau européen• Développer un marché de l'occasion des véhicules électriques en créant un diagnostic batterie certifié obligatoire	 Sortir du « tout électrique » <ul style="list-style-type: none">• Repousser l'interdiction de la vente des voitures thermiques• Mettre en œuvre le principe de neutralité technologique  Assurer la souveraineté française et européenne en matière de véhicules électriques <ul style="list-style-type: none">• Soutenir le développement et le passage à l'échelle des <i>gigafactories</i> européennes• Mettre en application dans les meilleurs délais la stratégie européenne sur les matériaux critiques et soutenir la création de « <i>hubs</i> minéraux » pour l'approvisionnement et la transformation des matériaux critiques• Contraindre les acteurs extra-européens qui souhaitent s'implanter en Europe à des transferts de technologie	 Regagner en compétitivité <ul style="list-style-type: none">• Accompagner la restructuration de la filière en mettant en place un plan national et européen d'accompagnement pour les équipementiers• Harmoniser les règles relatives à l'investissement au sein de l'UE et réduire le coût du travail et de l'électricité en France.• Adapter la réglementation et flécher les soutiens publics pour favoriser la production de petits véhicules abordables  Soutenir et amplifier l'effort de R & D <ul style="list-style-type: none">• Sanctuariser les mécanismes de soutien à la recherche, notamment le principe du crédit d'impôt recherche (CIR)• Soutenir l'émergence d'un écosystème européen du véhicule numérique

Pompes à chaleur: où en est-on?

- Ø PAC air-eau: baisse de 40,4 % (2024 vs 2023)
- Ø PAC géothermiques: baisse de 23,8 % (2024 vs 2023)
- Ø PAC air-air: baisse de 12,1 % (2024 vs 2023)
- Ø Chaudières gaz: hausse de 15 %



Chaudière fioul

- Ø Coût achat 4000 euros
- Ø Coût fonctionnement: 2000 euros/an
- Ø Émissions sur 15 ans (3t/m³): 90 tCO₂

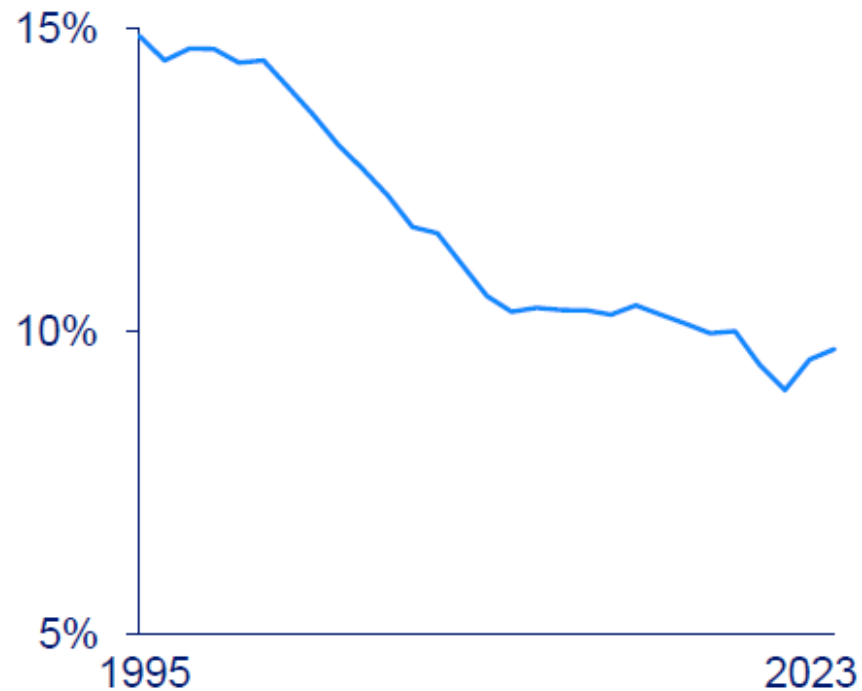
Pompe à chaleur

- Ø Coût achat 16000 euros
- Ø Coût fonctionnement: 1200 euros/an
- Ø Émissions sur 15 ans (60g/MWh): 7 tCO₂

Industrie: re-désindustrialisation?

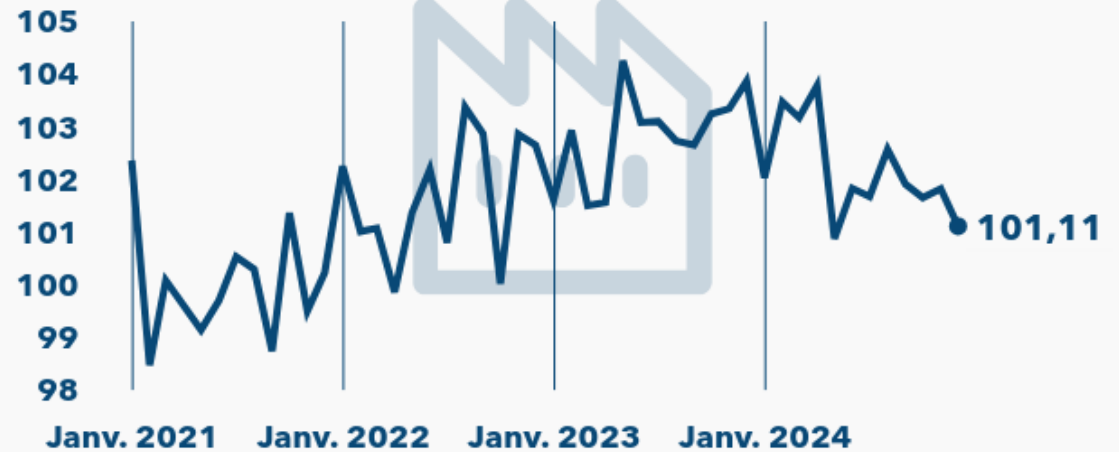
Ø Baisse de la production industrielle

Evolution de la part de l'industrie¹ dans le PIB en France
En %, 1995-2023



Production manufacturière en décembre 2024 : -0,7% sur un mois et -2,6% sur un an

Indice mensuel France (base 100 en 2021, corrigé des variations saisonnières et jours ouvrables)

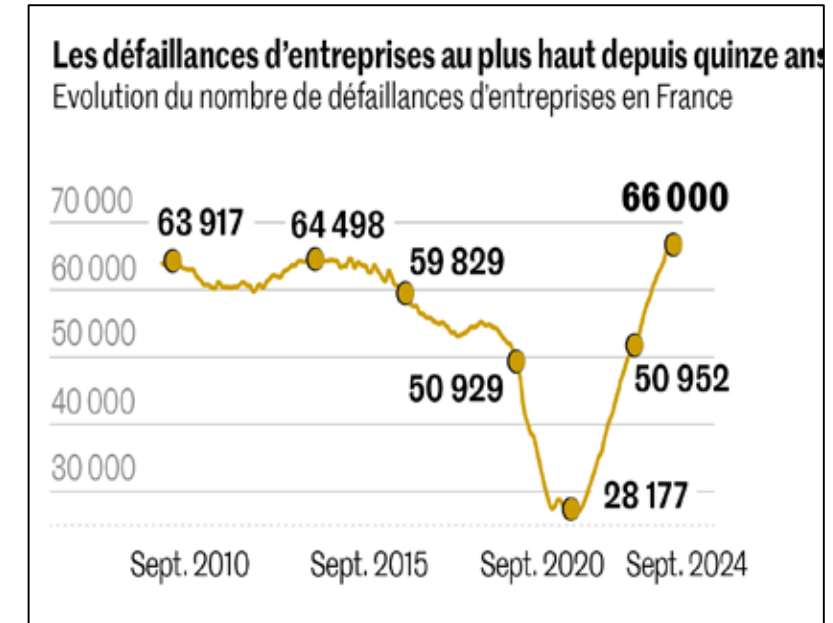


Source: Insee

© Data News Feed

Industrie: re-désindustrialisation?

- Ø Baisse de la production industrielle
- Ø Balance commerciale déficitaire
- Ø Fermetures d'usines/destruction emplois
 - ü Prix de l'énergie
 - ü Concurrence surcapacités chinoises
 - ü Instabilités fiscales
 - ü Demande intérieure faible
 - ü Hausse des droits de douane (USA)



- Ø Secteurs touchés: métallurgie, chimie, automobile
- Ø Exemple chimie
 - ü Fermetures usines (Yara-engrais; Arkema/Vencorex-vallée de la chimie, Grenoble)
 - ü Délocalisations (BASF en Chine, Arcelor-Mittal en Chine et USA, etc..)

Industrie: électrification?

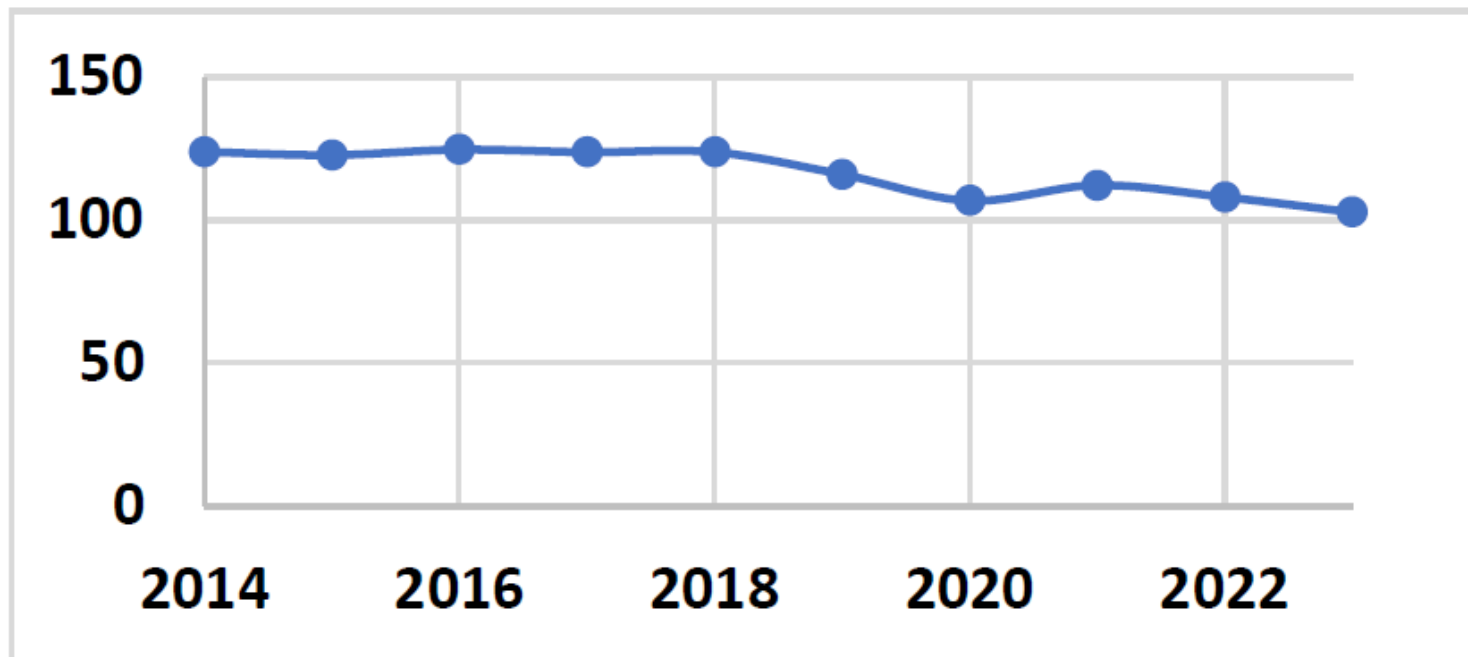


Figure 5 : Consommation en électricité de l'industrie (Bilan énergétique de la France pour 2023, pp. 123-124, SDES, ministère en charge de l'écologie).

Le creux de 2020 est dû à la crise Covid.

Chère électricité

Un prix de l'électricité trop élevé

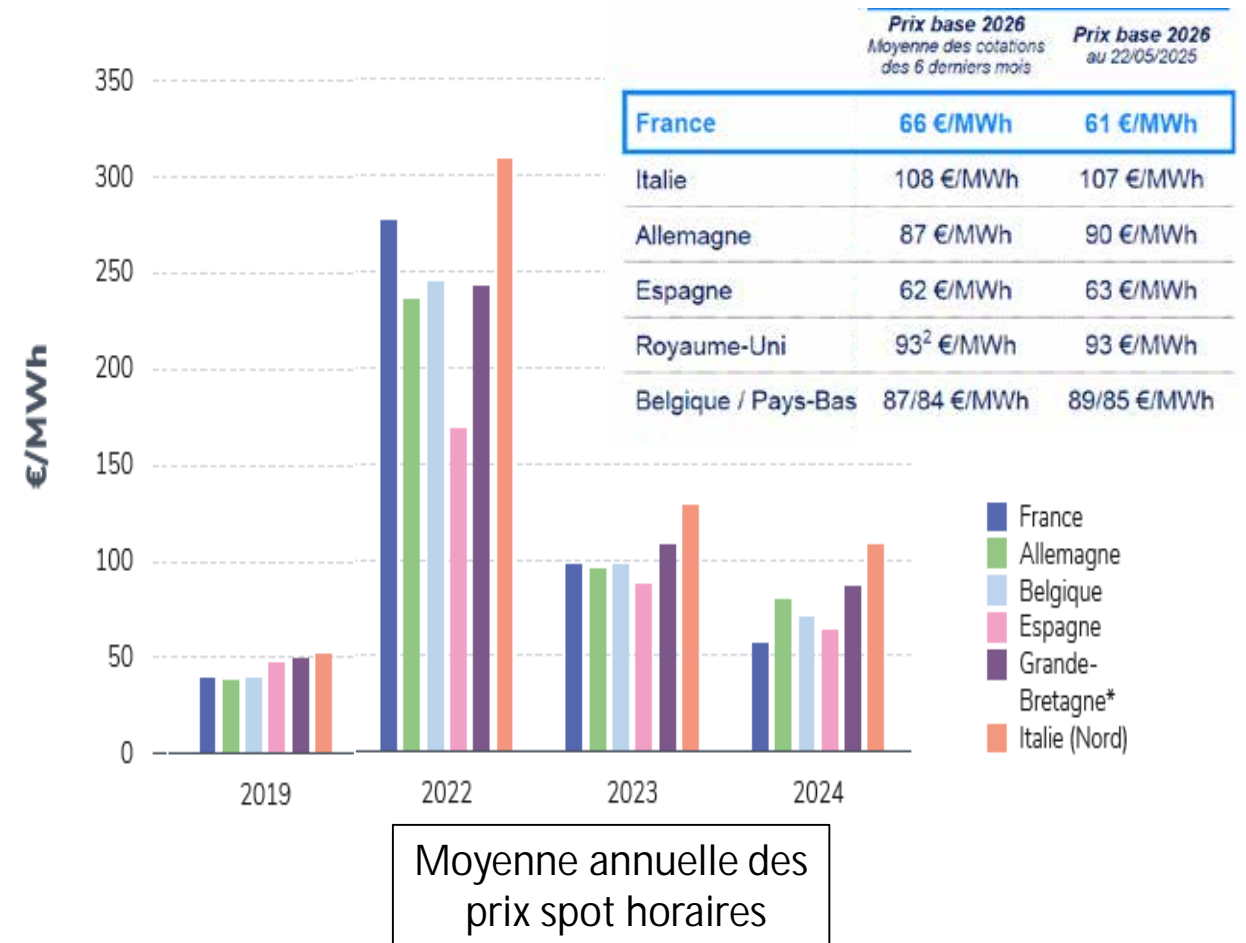
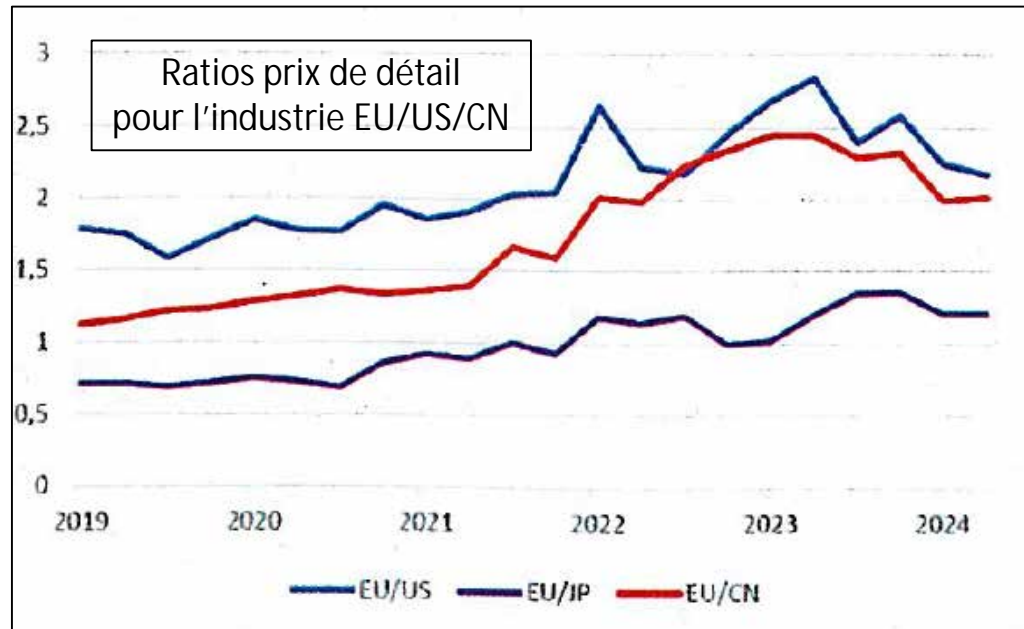
- § Plus élevé qu'en Chine/Etats-Unis
- § De plus en plus volatil
- § Fiscalité (taxes sur l'électricité)



- ü Sobriété volontaire
- ü Désindustrialisation
- ü Délocalisations

2022: Demande >> offre

- ü Reprise post-covid
- ü Sécheresse + faiblesse nucléaire (France)
- ü Prix du gaz élevé (guerre Russie-Ukraine)



Chère électricité: Pourquoi ?

- Ø Importation du gaz (plus cher*)
- Ø Marché de l'électricité européen
(prix dicté par celui de la dernière centrale, à gaz)
- Ø Variabilité offre vs demande croissante (ENRS)
- Ø Coût de production-Nucléaire
 - ü Nouvelles normes de sécurité
 - ü Arrêts/modulations fréquents pour équilibre du réseau
 - ü Grand carénage (rénovation/prolongation)
- Ø Augmentation des taxes** (+ 119 % en 10 ans)
- Ø Coût de l'acheminement (lignes électriques)
 - ü Lignes HT pour connexions avec pays voisins (RTE)
 - ü Lignes BT et MT pour distribution à partir d'un nombre croissant de points de production-ENRs (ENEDIS)

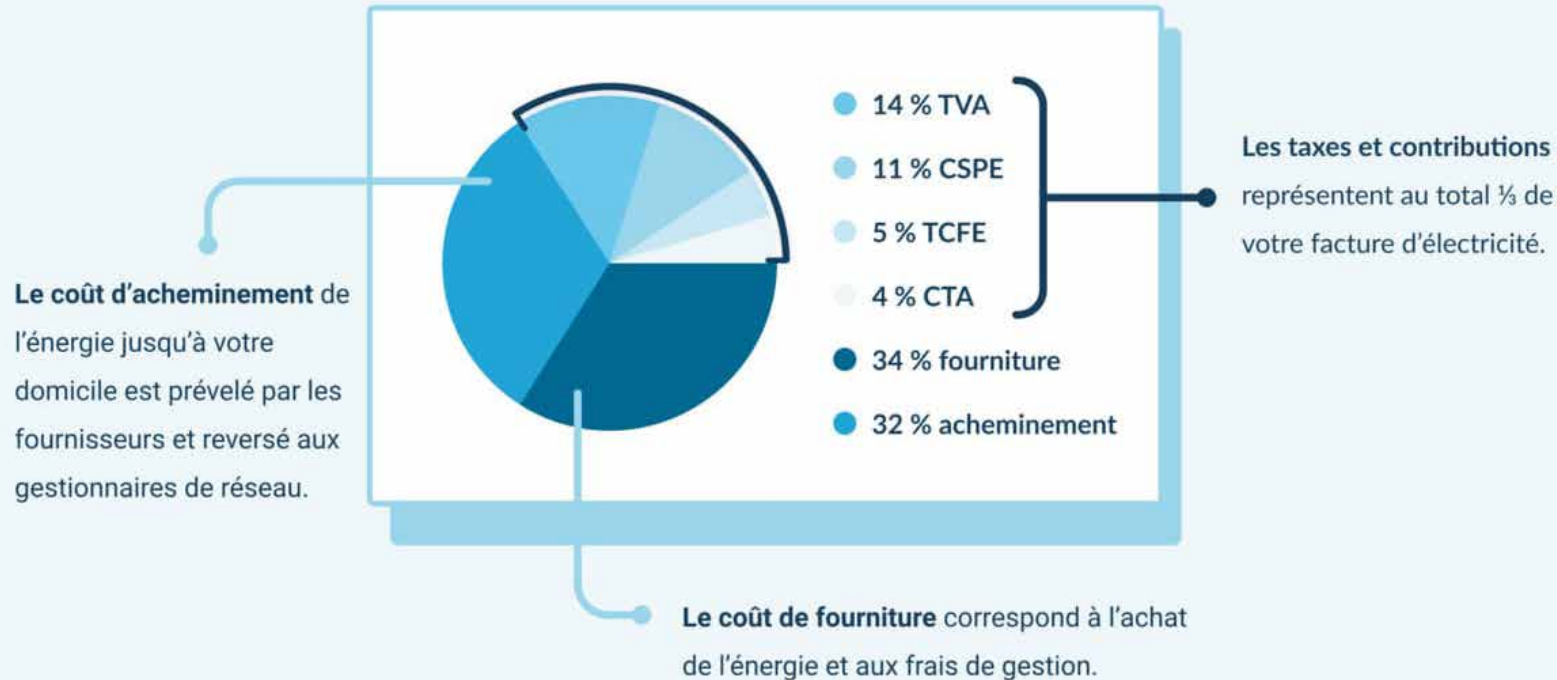
* Prix du gaz EU (50 €/MWh vs 12 €/MWh aux USA)

** Gaz moins taxé que l'électricité. Le soutien aux EnR est donc payée à 70% par le nucléaire et l'hydraulique décarbonés

Chère électricité: TAXES

Les taxes et contributions sur la facture d'électricité des particuliers

Votre facture d'électricité peut être décomposée en 3 parts à peu près égales :



Source : CRE, *Observatoire des marchés de détail de l'énergie* du 3ème trimestre 2020 | Analyse Hello Watt



Accise:

anciennement **CSPE** (Contribution au Service Public de l'Electricité)

Ø Financement politique de soutien aux énergies renouvelables.

Ø Péréquation tarifaire pour zones non interconnectées (Corse, DOM)

Ø Dispositifs sociaux (précarité)

+ **TCFE** (Taxe sur la Consommation Finale d'Electricité)

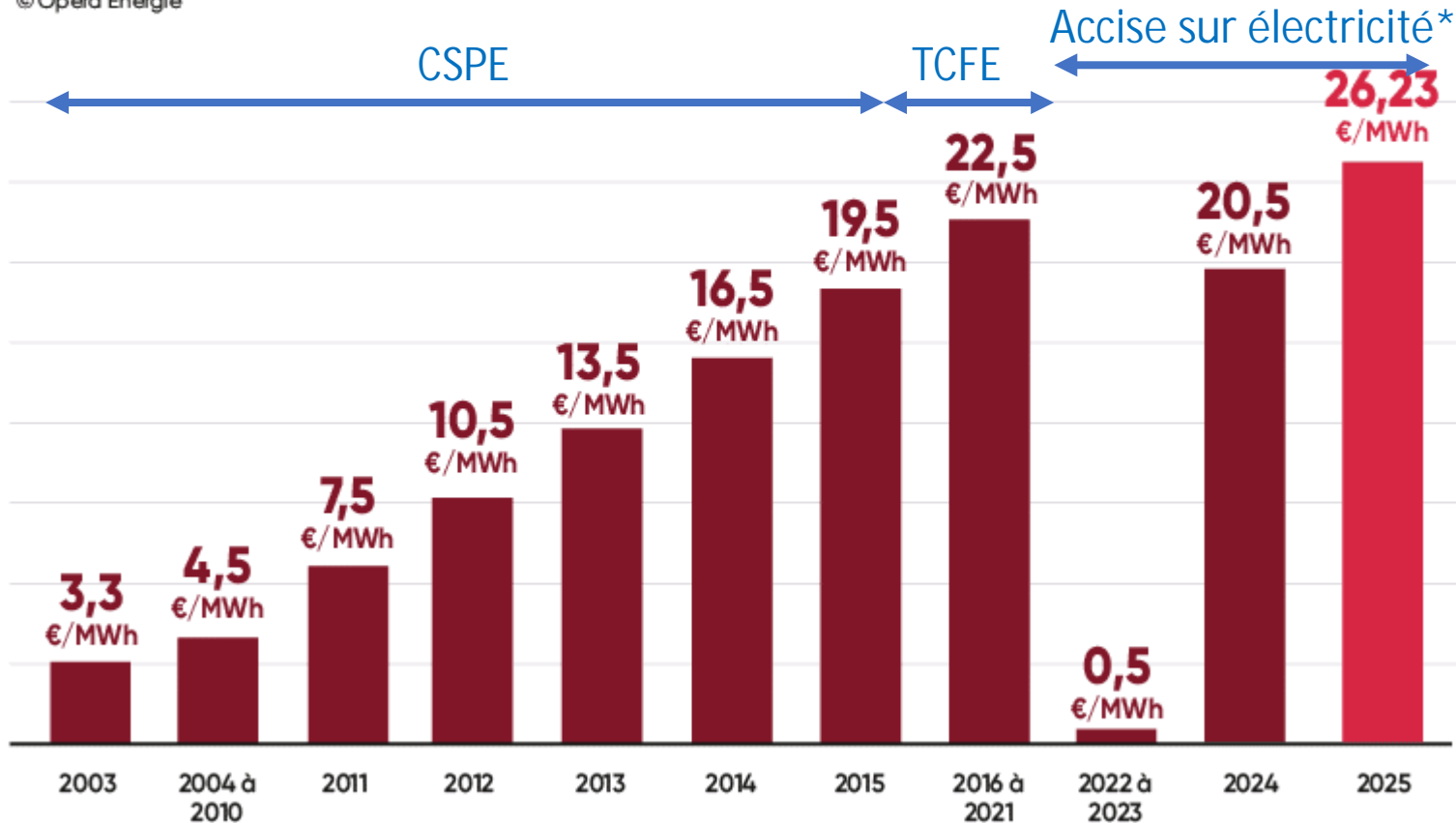
CTA (Contribution Tarifaire d'Acheminement) au profit des retraités des personnels de l'électricité et du gaz

TVA (Taxe sur la Valeur Ajoutée)

Chère électricité: TAXES

Évolution du montant de l'Accise sur l'électricité (ex CSPE)

© Opéra Énergie



*Accise = impôt
Ø Non affecté
Ø Versé au budget de l'Etat
Ø C'est le **contribuable** et non plus le **consommateur** d'énergie qui paie pour le soutien aux ENRs et la lutte contre la précarité énergétique

la **CSPE** puis **TCFE** a connu une hausse record de 700 % depuis 2002 ! 2022-2023: bouclier tarifaire

Chère électricité: TAXES

Accises énergétiques en 2024

€/MWh

100

Essence (SP28)

Gazole

Electricité

(Hors bouclier tarifaire)

Fioul domestique

Fioul lourd

Gaz naturel

Centimes /KgCO2

Accises ramenées aux émissions de CO₂

Electricité
(hors bouclier tarifaire)

Source des données : ADEME, RTE,
Guide sur la fiscalité énergétique

Essence (SP28)

Gazole

Fioul domestique

Fioul lourd

Gaz naturel



Marc FONTECAVE

CHAIRE CHIMIE DES PROCESSUS BIOLOGIQUES

La transition énergétique : aujourd'hui et demain (III)

5 nov. > 17 déc. 2025