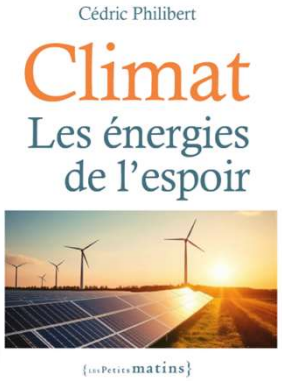
Notre avenir électrique

Cédric Philibert

Saint Pierre d'Oléron
26 mars 2026







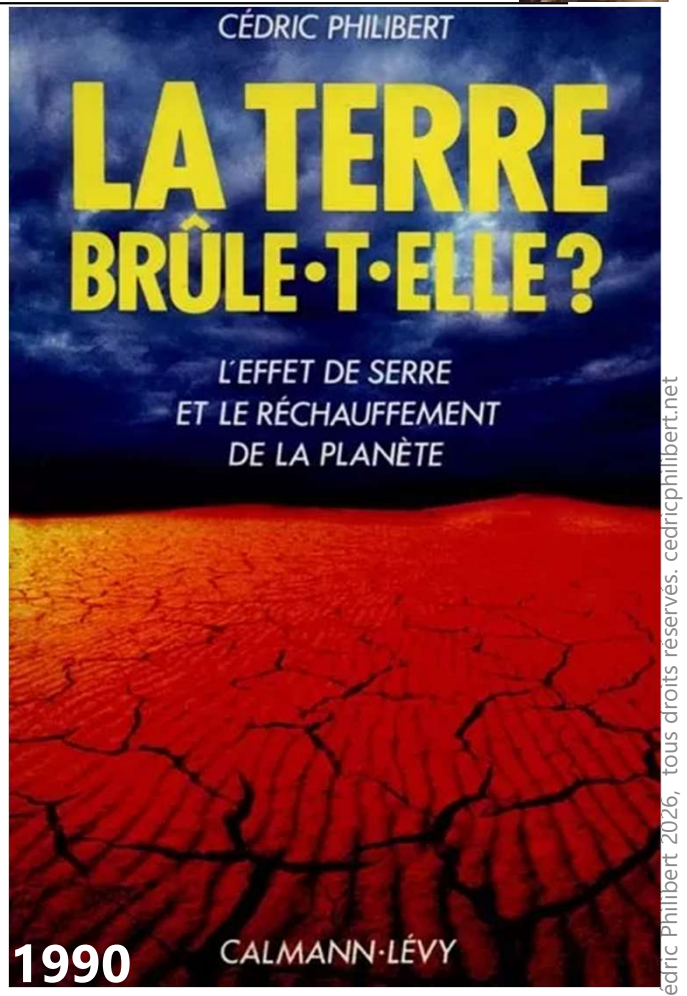


Le réchauffement est là…

…comme prévu







Cédric Philibert 2026, tous droits réserves. cedricphilibert.net


Campagne fictive
L’avantage du soleil,
c’est qu’il ne passe par le détroit d’Ormuz.
Construisons notre souveraineté, décarbonons.

En bref…



- **Pour contenir le changement climatique, nous devons (presque) éliminer les énergies fossiles d'ici 2050 dans le monde entier**
- **Seules les énergies renouvelables, à commencer par le solaire et l'éolien, offrent un potentiel suffisant à l'échelle de la planète**
- **À condition d'électrifier les bâtiments, les industries, les transports**
  - ***Il nous faut donc plus d'électricité… mais moins d'énergie:***
  - ***L'électrification conduit à d'importants gains d'efficacité***
- **La disponibilité des métaux ne remet pas en cause la transition: nous avons largement les ressources nécessaires.**

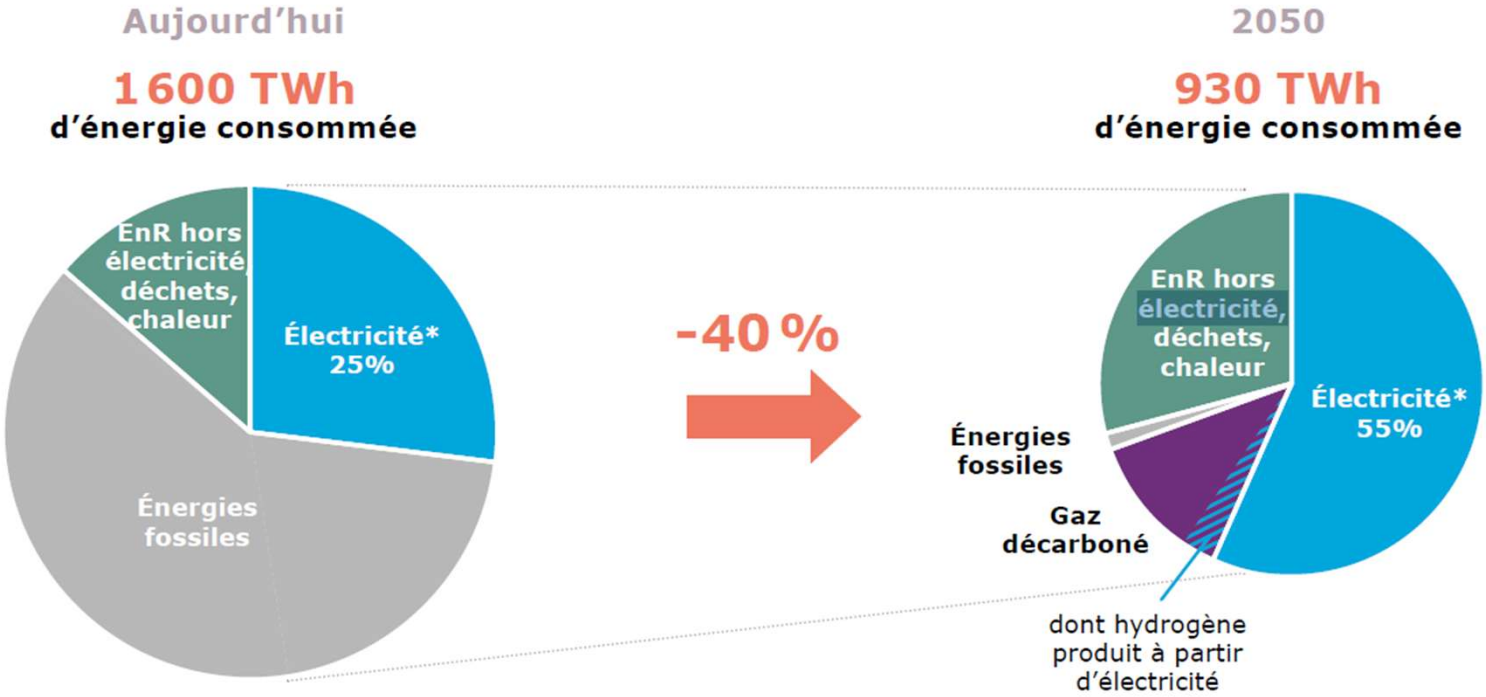
Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Un changement technique est nécessaire…



1. **Pour décarboner l'électricité**
   - ➢20% de l'énergie finale, 37% des émissions de CO_2
2. **Et tout électrifier** (ou presque): bâtiments, industries, transports

L'énergie finale en France dans la Stratégie nationale bas-carbone

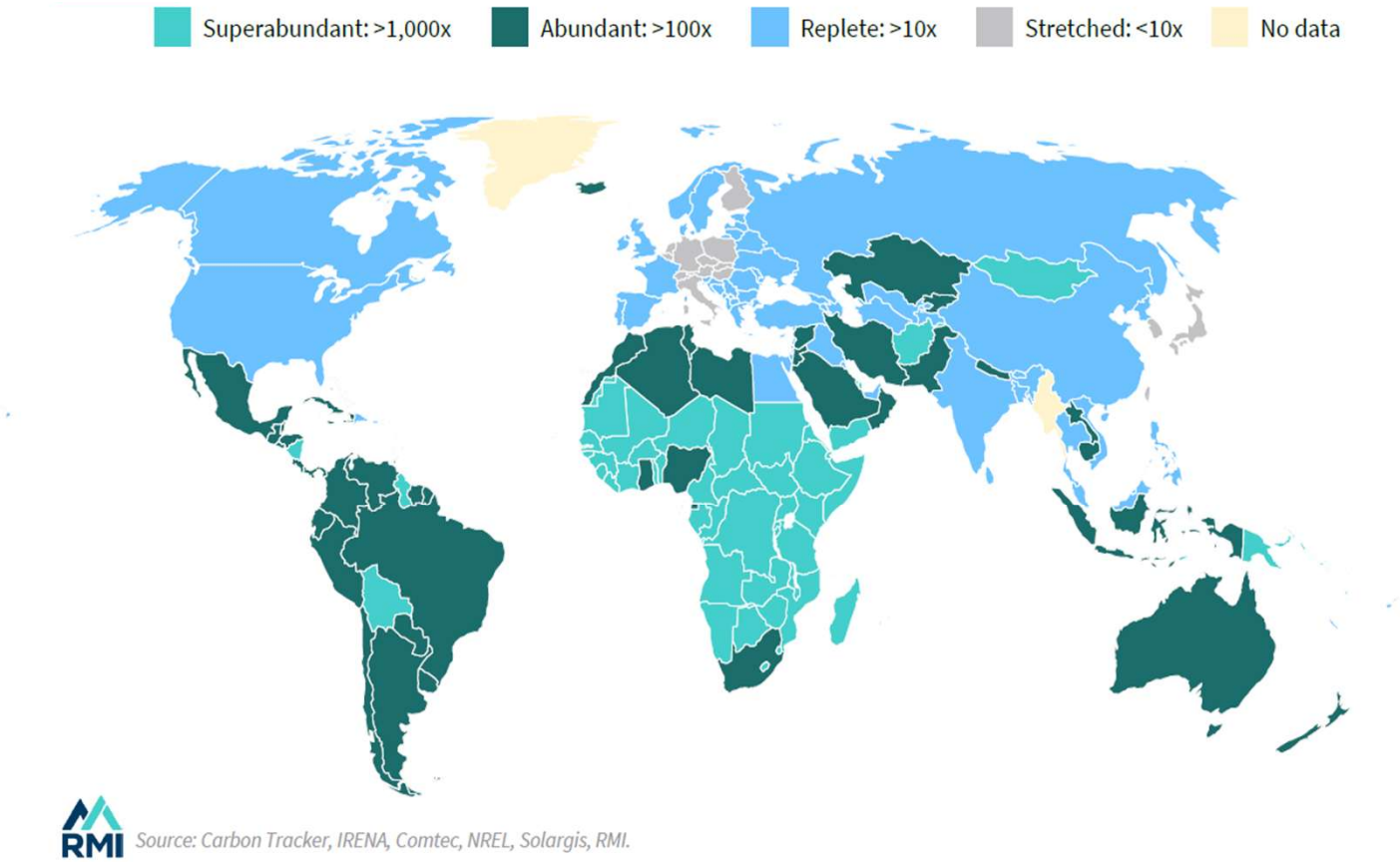


Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les renouvelables assurent la sécurité énergétique

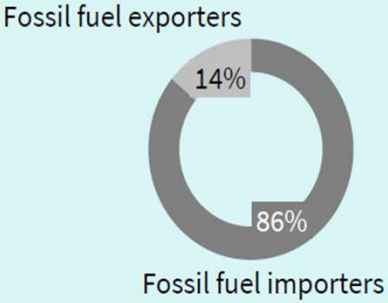


Le potentiel des renouvelables en multiple de la demande d'énergie

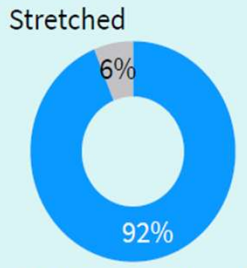


RMI *Source: Carbon Tracker, IRENA, Comtec, NREL, Solargis, RMI.*

Part de la population mondiale dans des pays importateurs de fossiles: 86%



Part de la population mondiale vivant dans des pays avec assez de ressources renouvelables: 92%

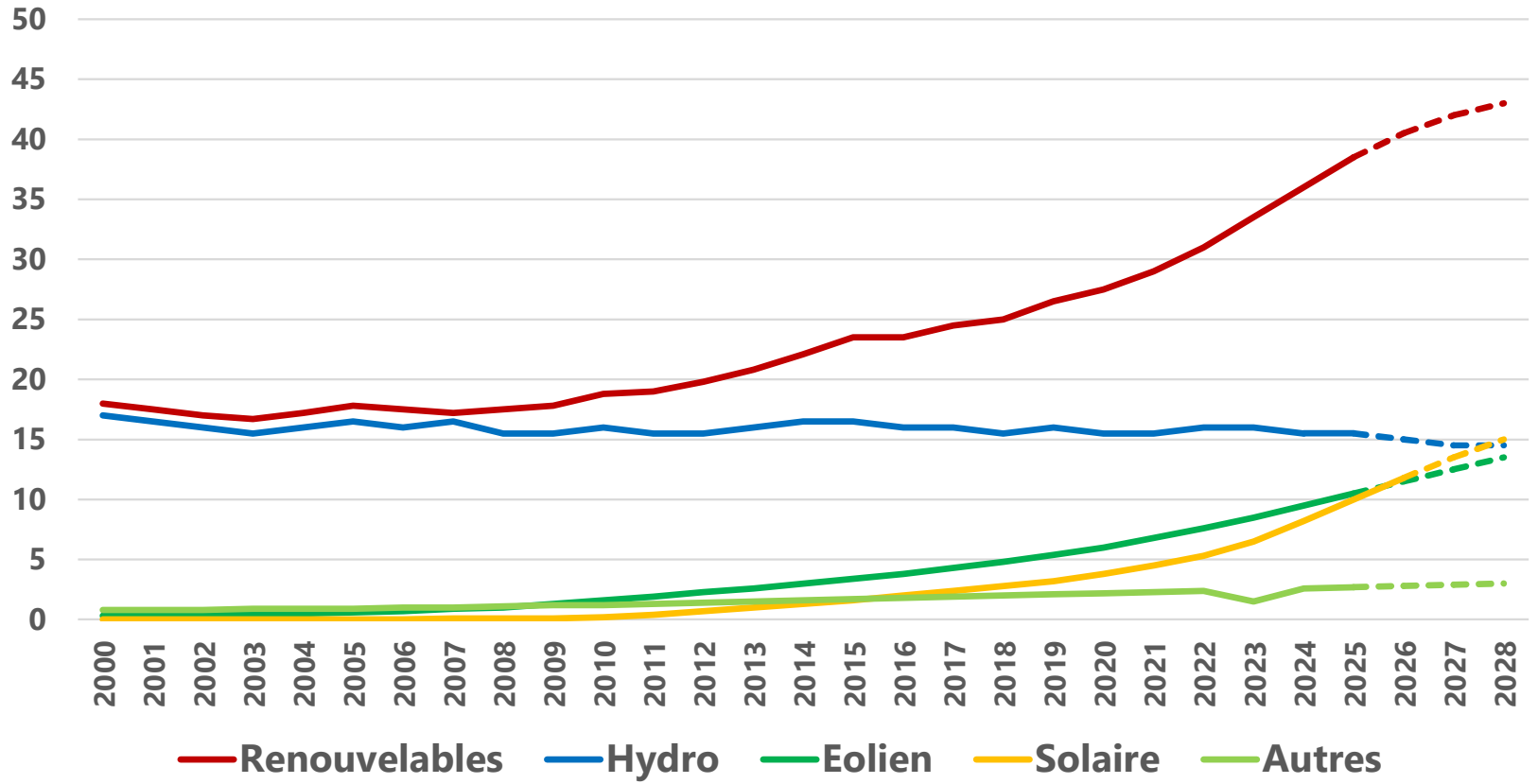


Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les énergies renouvelables accélèrent dans le monde



Part des renouvelables dans la production mondiale d'électricité, 2000-2028



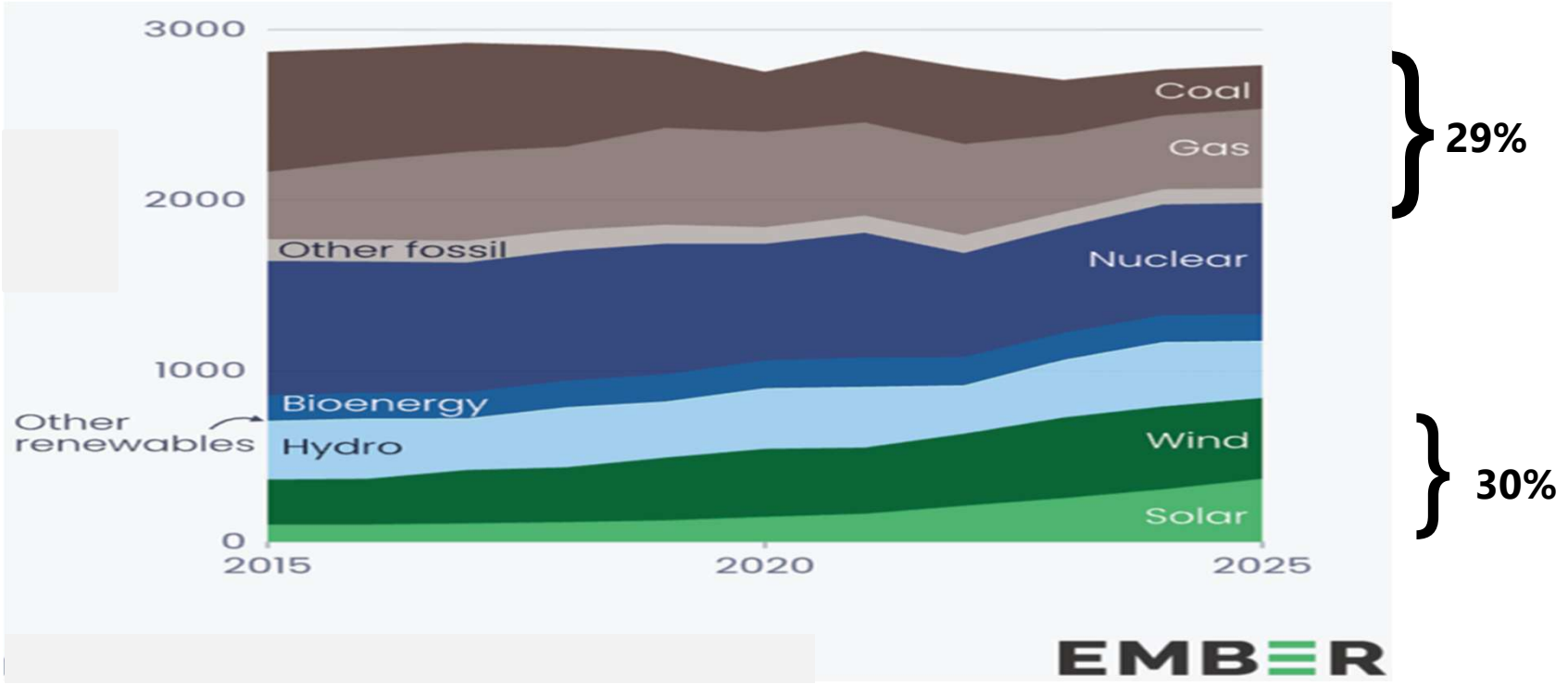
Source: IEA data

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

L'Europe n'est pas la dernière



Production d'électricité en Europe, 2015-2025



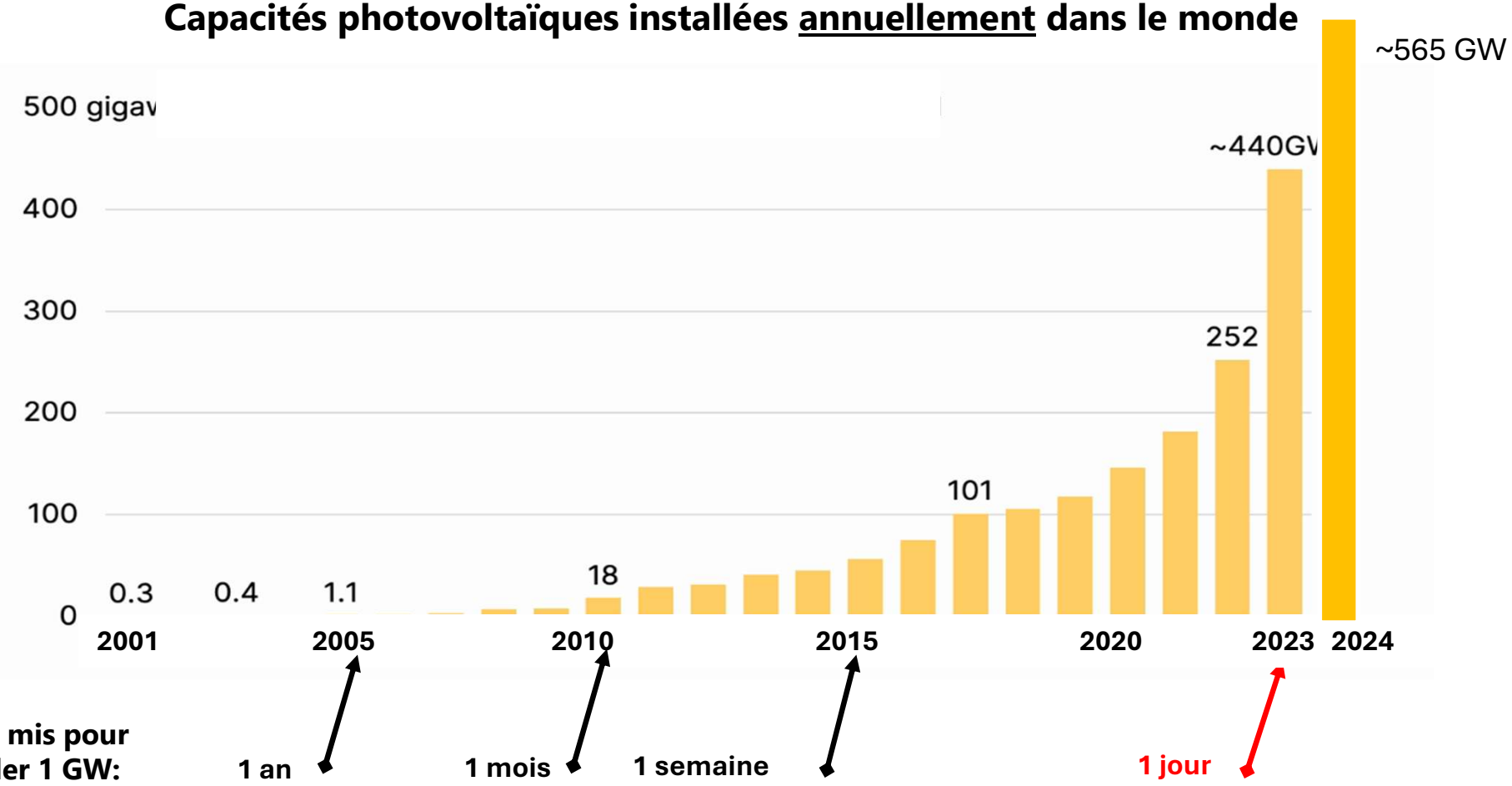
En Europe, l'éolien et le solaire produisent désormais plus d'électricité que les énergies fossiles

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

La croissance du solaire est particulièrement spectaculaire



Capacités photovoltaïques installées annuellement dans le monde

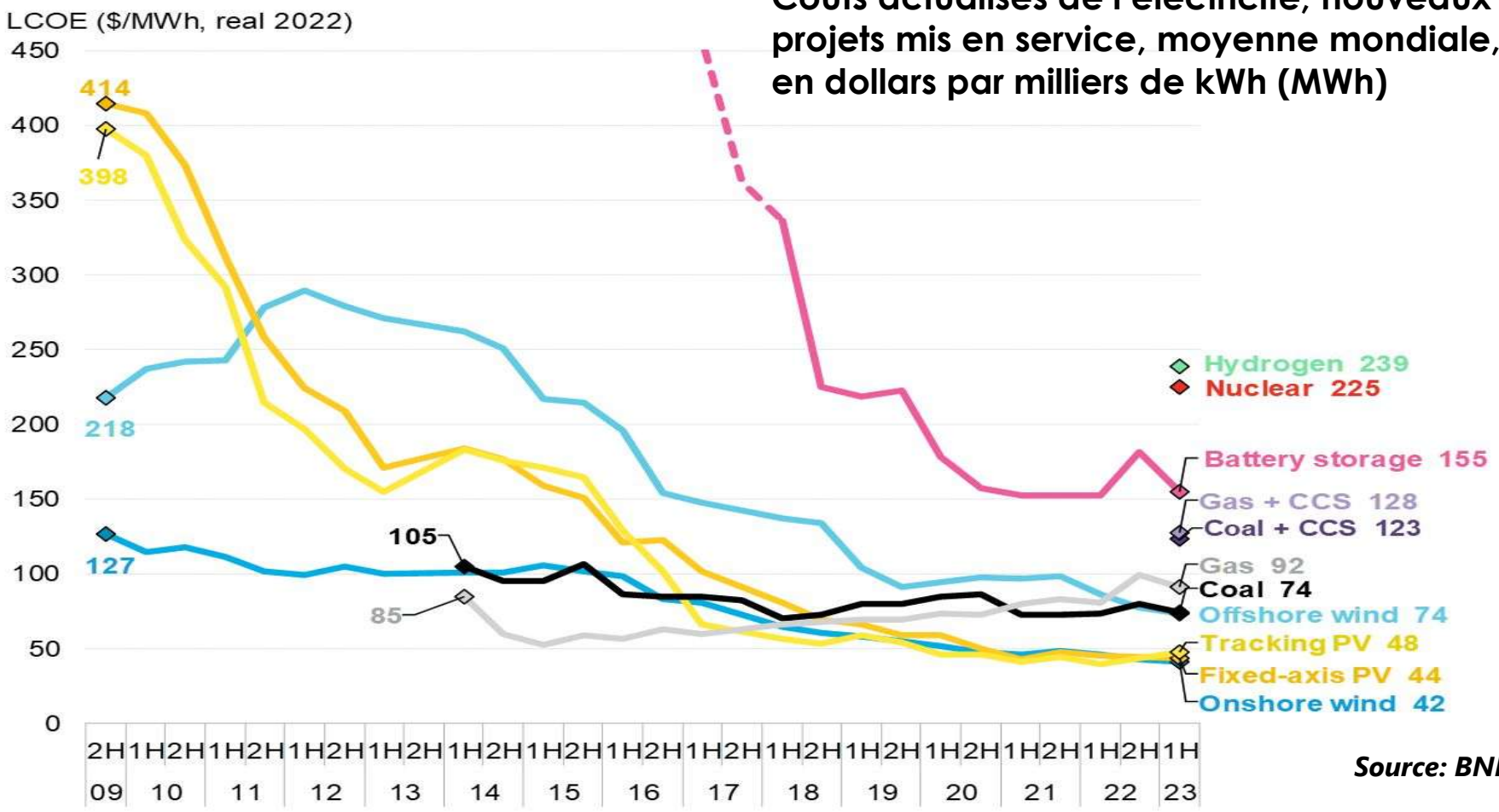


Cédric Philibert 2(ous droits réservés. cedricphilibert.net

Les coûts de l'éolien, du solaire et des batteries se sont effondrés…



Coûts actualisés de l'électricité, nouveaux projets mis en service, moyenne mondiale, en dollars par milliers de kWh (MWh)



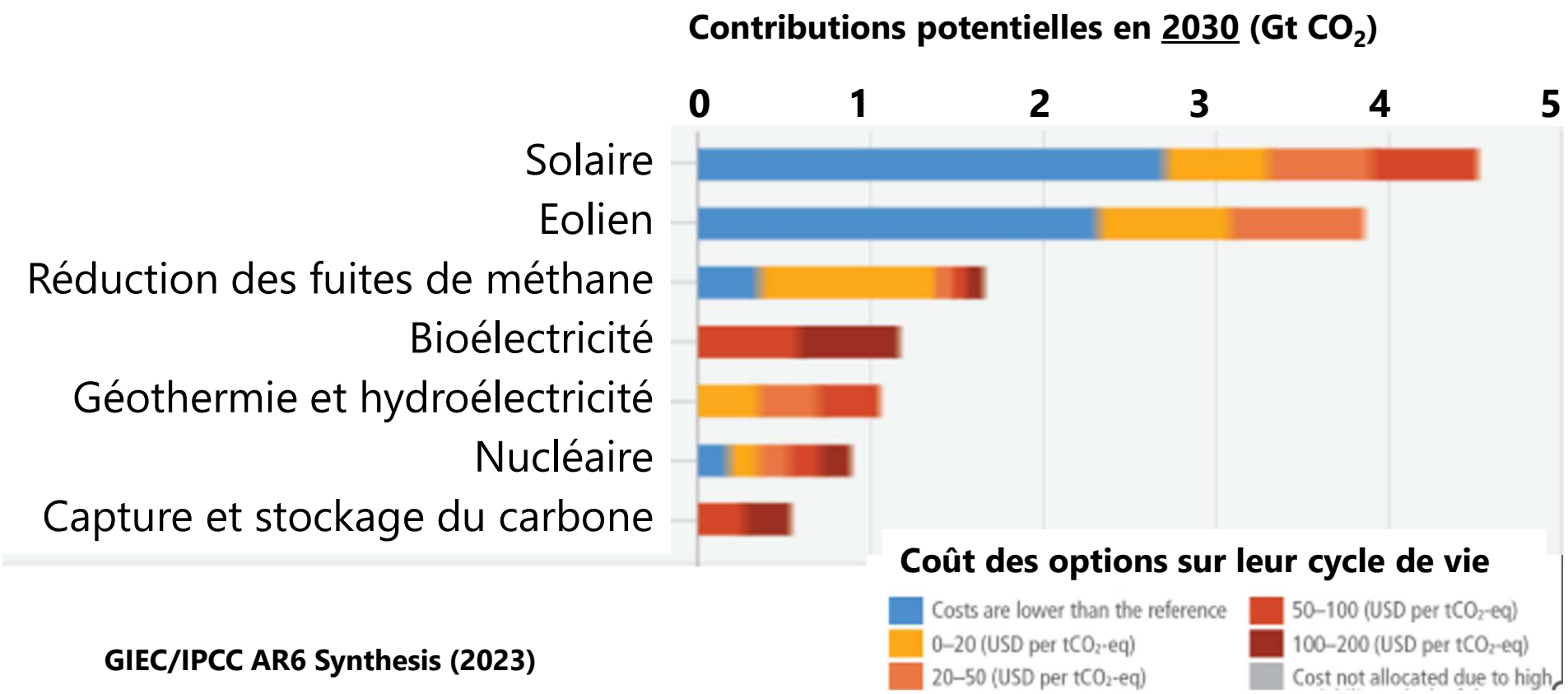
Source: BNEF

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

… offrant les plus importants potentiels de réductions d'émissions



Réduction des gaz à effet de serre dans la production d'énergie



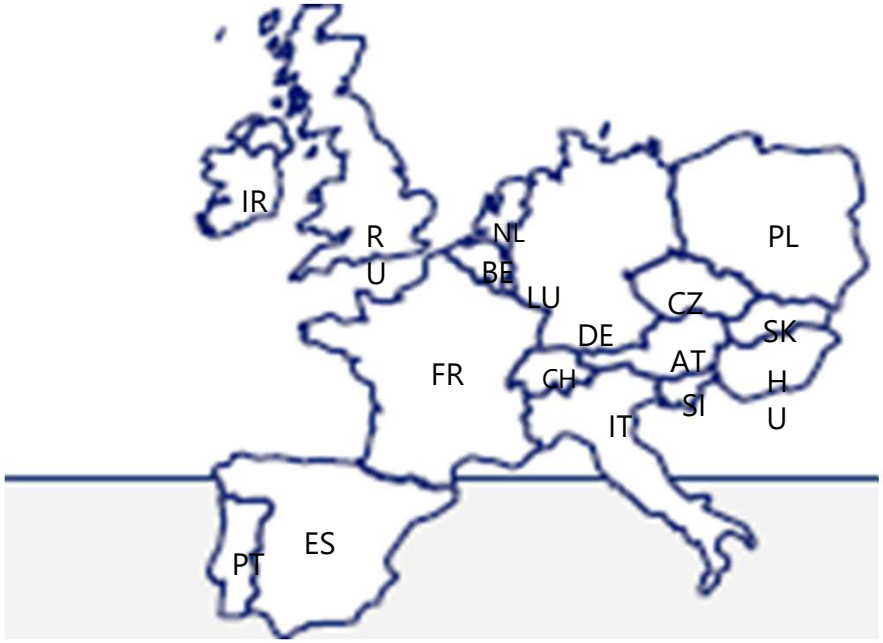
GIEC/IPCC AR6 Synthesis (2023)

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

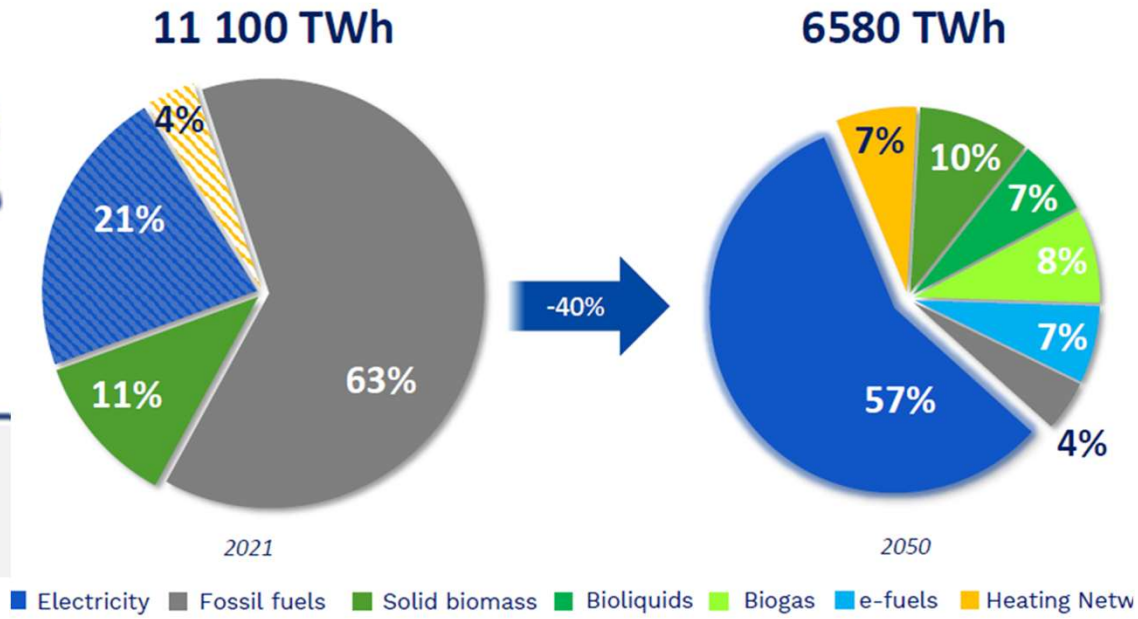
Le scénario ZEN 2050 d'EDF



Pour dix-sept pays autour de la France



L'énergie finale diminue de 40%, l'électricité passe de 21% à 57%

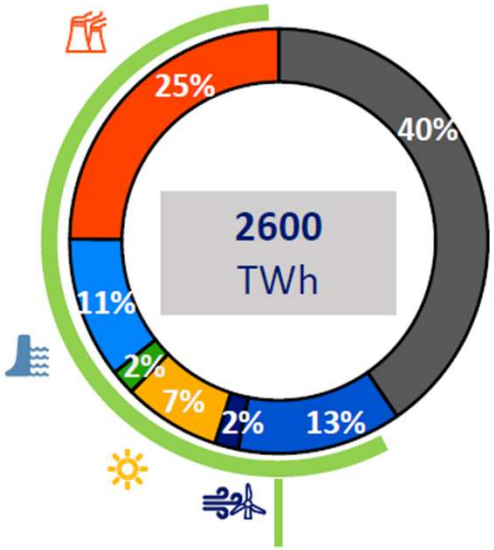


Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

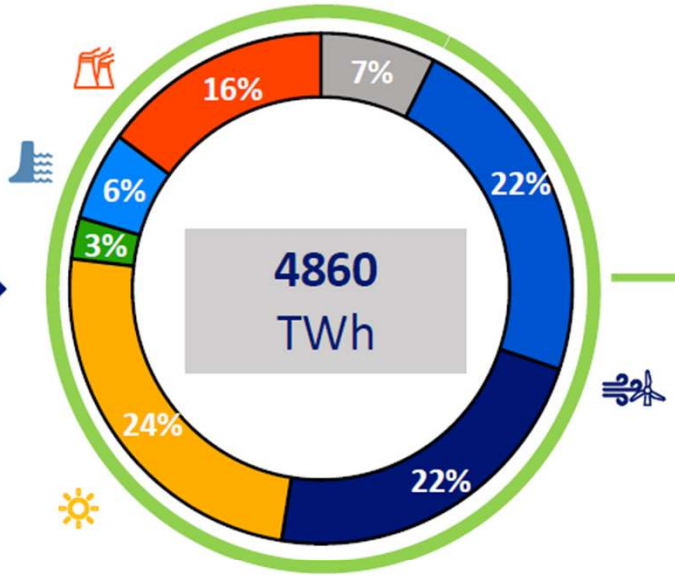
Le scénario ZEN 2050 d'EDF pour 16 pays d'Europe: l'électricité



MIX ELECTRIQUE UE 2021



MIX ELECTRIQUE ZERO EMISSIONS NETTES 2050



Production électrique x1,8 pour couvrir une demande en croissance

Production électrique totalement décarbonée

77% d'énergie renouvelable dans le mix électrique

Electricité décarbonée à 60%

** All the figures are given for EDF Net Zero geographical perimeter*

Fossil | Onshore | Offshore | Solar | Bio & other renewables | Hydro | Nuclear | Decarbonized Thermal

En 2050, le mix électrique européen est entièrement décarboné, comprenant des renouvelables (y compris hydroélectricité), du nucléaire, et des capacités thermiques décarbonées

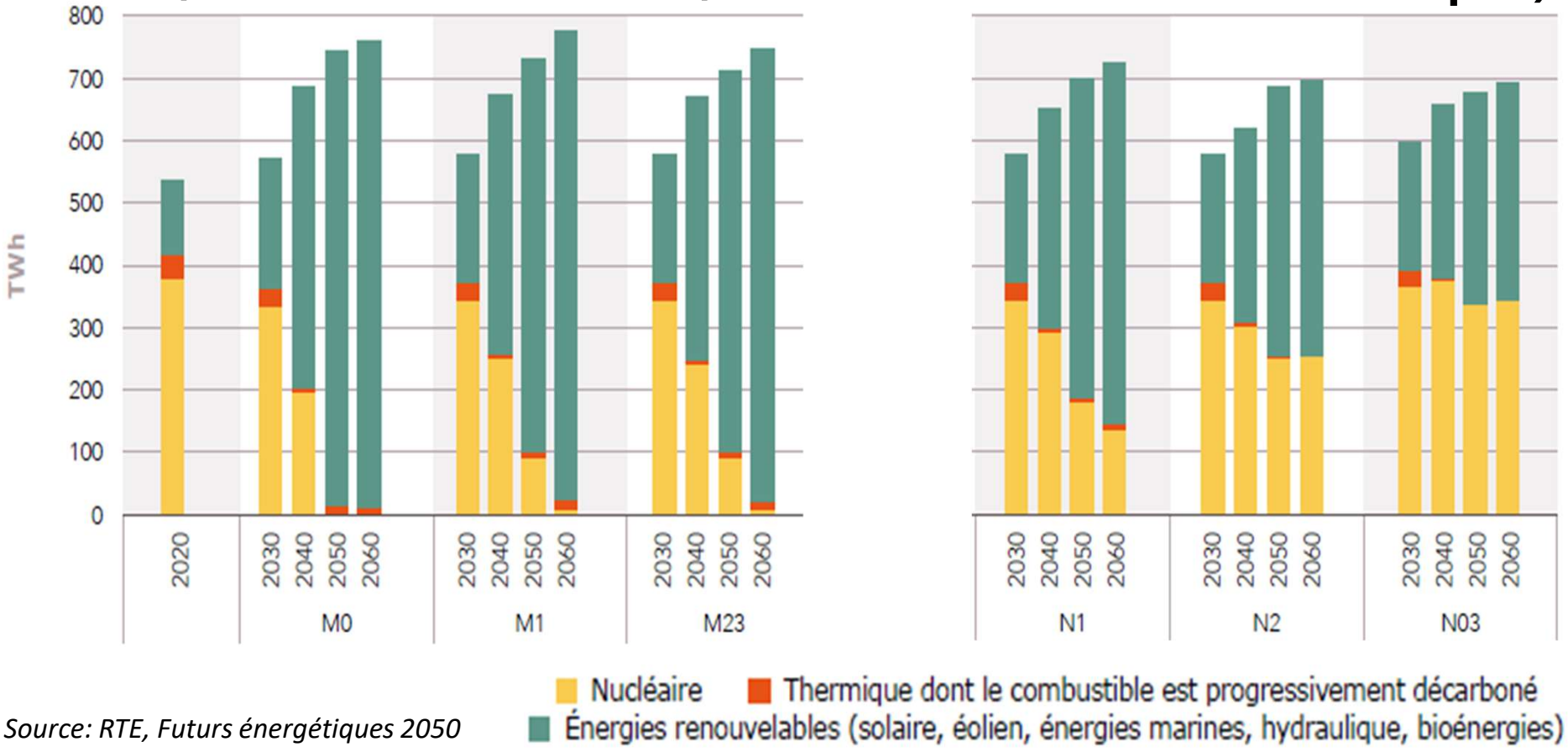
Tous droits réservés. Ceuric Pinnibert 2020,



Les six scénarios de production d'électricité de RTE

Sans nouveau nucléaire (vers 100% renouvelables)

Avec nouveau nucléaire (vers 50% renouvelables ou plus)



Source: RTE, Futurs énergétiques 2050

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net



EUROPEAN PRESSURISED REACTOR 2 (EPR2)

PRINCIPAUX ASPECTS DU PROJET

- **Un réacteur nucléaire bénéficiant des atouts de l'EPR** : niveau de sûreté, puissance, performances environnementales
- **Qui intègre le retour d'expérience** de tous les chantiers EPR dans le monde et du parc en exploitation
- **Conçu pour être exploité dans un mix à forte composante en énergies renouvelables** à l'horizon 2040, grâce à sa souplesse de pilotage
- **Programme de 3 paires de réacteurs (6 EPR2)** afin de bénéficier des effets de série du palier technologique, notamment en matière d'achats d'équipements ou de prestations en phase de construction, mais aussi ultérieurement pour l'exploitation et la maintenance
- **Puissance électrique d'une centrale nucléaire EPR :** 1 670 MW

Centrale EPR2 de 1 670 MW

- Le calendrier de construction proposé par EDF et la filière nucléaire est basé sur une cadence d'une paire tous les 4 ans, avec 18 mois entre chaque unité de production d'une même paire
- La mise en service de la première paire de réacteurs sur Penly interviendrait entre 2035 et 2037



Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

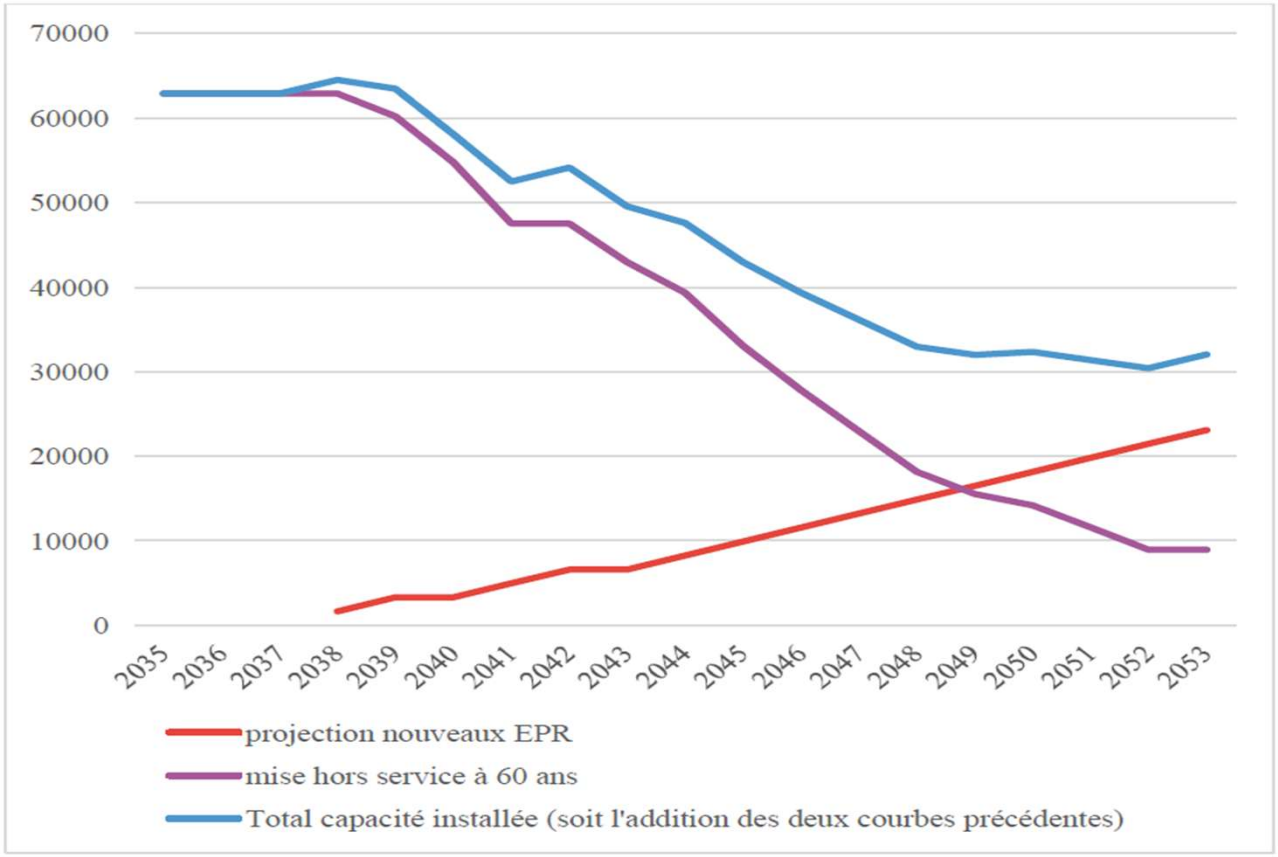
Nucléaire: prolonger l'existant, construire du neuf



6 EPR-2 c'est 10 GW,
14 EPR-2 c'est 23 GW.

Les dispositions de la PPE3 ne suffiront pas à préserver la capacité nucléaire française.

La prolongation de tous les réacteurs jusqu'à 60 ans, voire au-delà, est hypothétique.

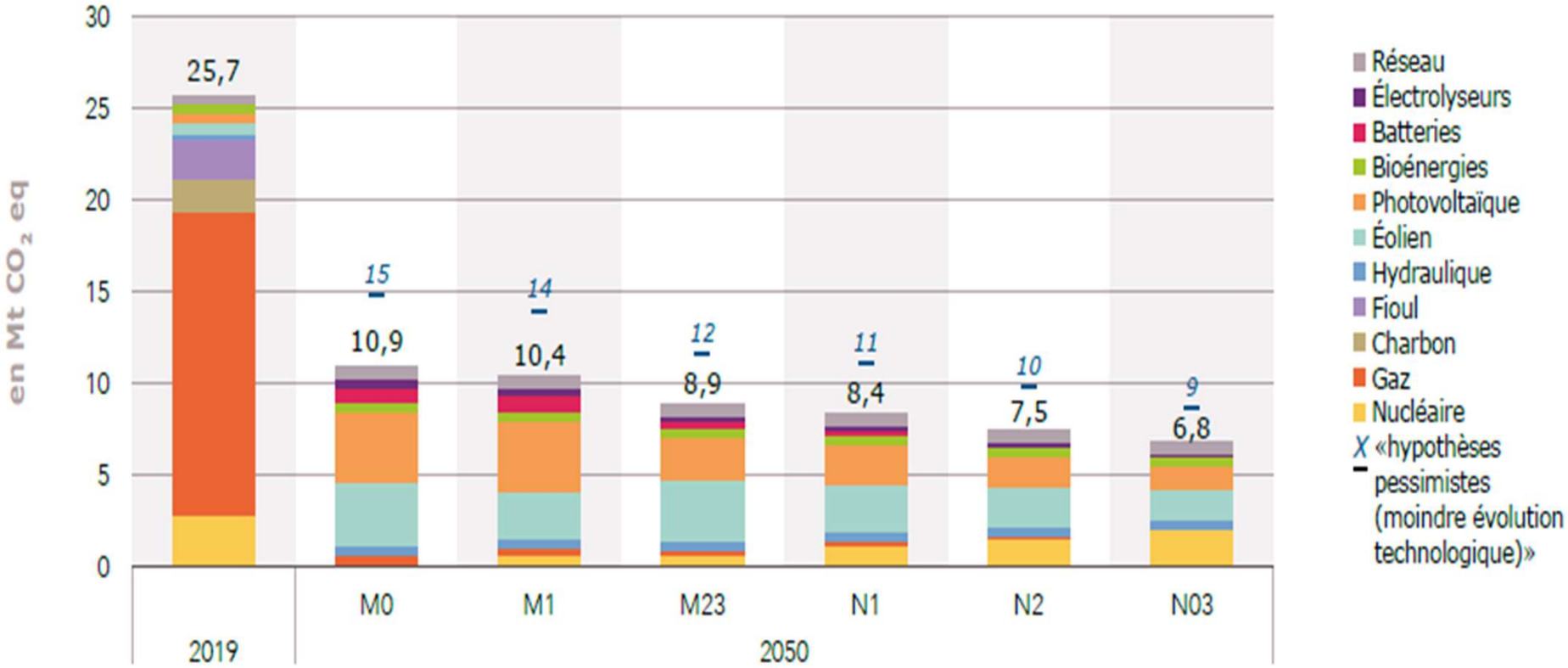


Source: Cour des Comptes

Cédric Philibert 2026, tous droits reserves. cedricphilibert.net

Emissions de CO_2 du cycle de vie des divers scénarios en 2050



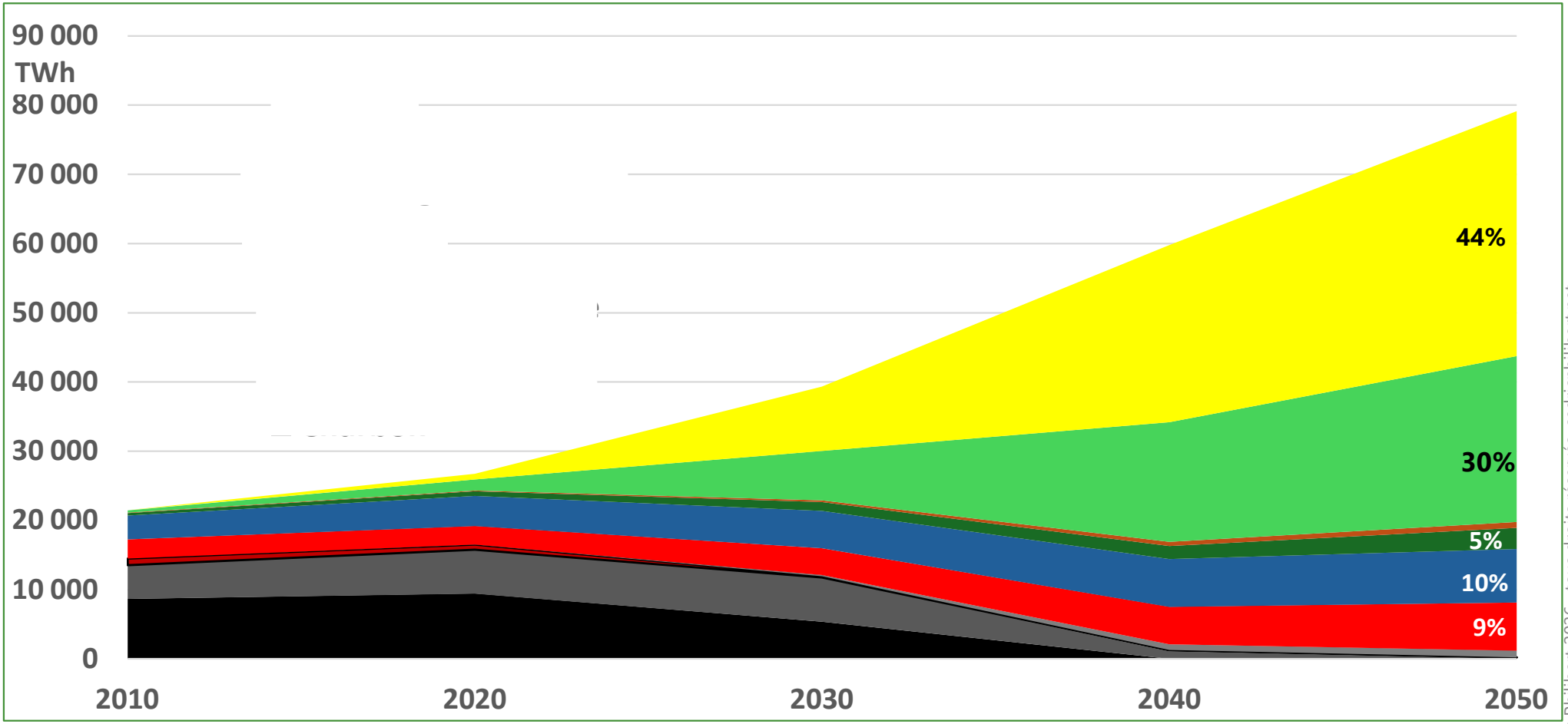


Source: RTE, Futurs énergétiques 2050

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Le scénario net zero de l'AIE pour le monde *(MàJ 2024)*





La part de l'électricité dans la demande finale d'énergie bondit de 20% à 55%

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

« Il faudrait couvrir la terre de panneaux… »



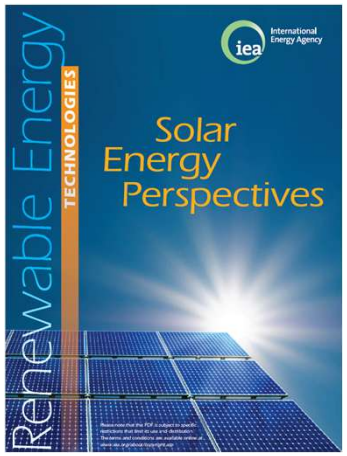
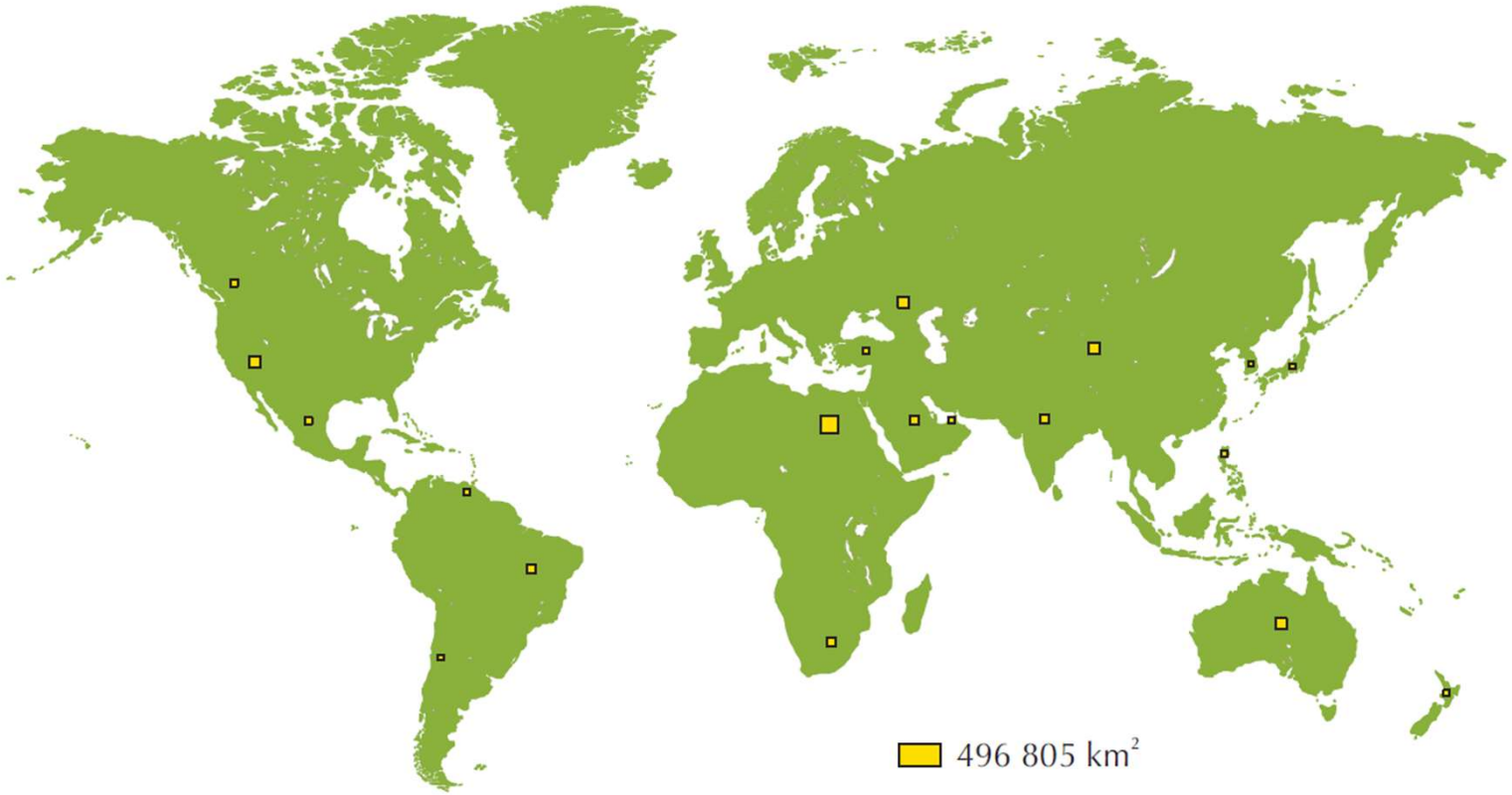


Figure 11.8 **500 000 km² of hypothetical on-ground solar plants**



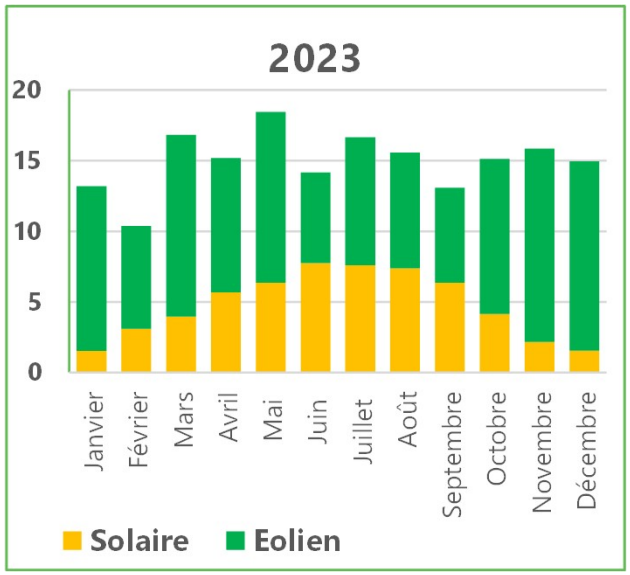
Ces surfaces permettraient de produire ~35 000 TWh/an

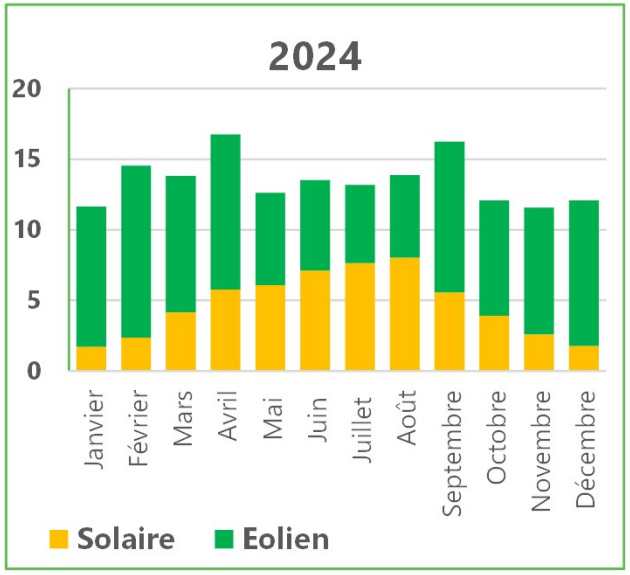
Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

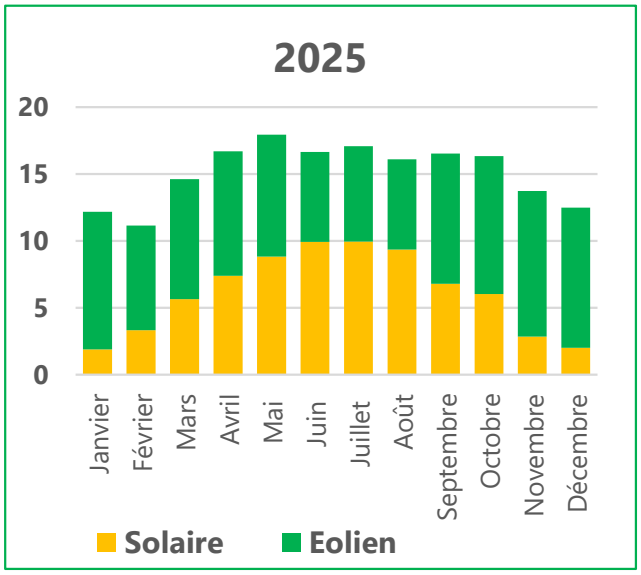
L'éolien et le solaire sont complémentaires



France, éolien et solaire en pourcentage de la génération électrique mensuelle







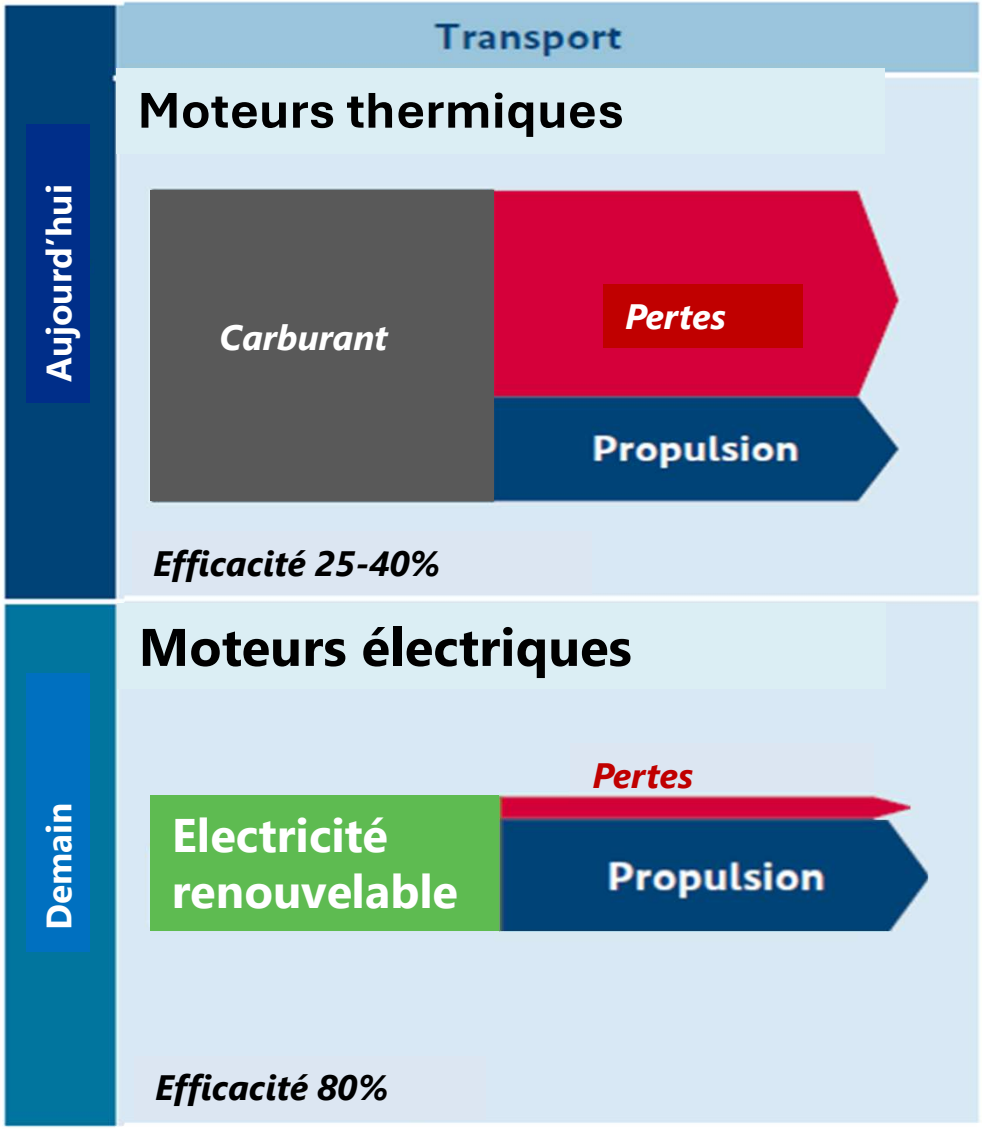
La variabilité ne crée pas un besoin de stockage inter-saisonnier.

(Mais l'hiver il peut y avoir des Dunkelflaute)

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

L'électrification source d'importantes économies d'énergie dans les transports





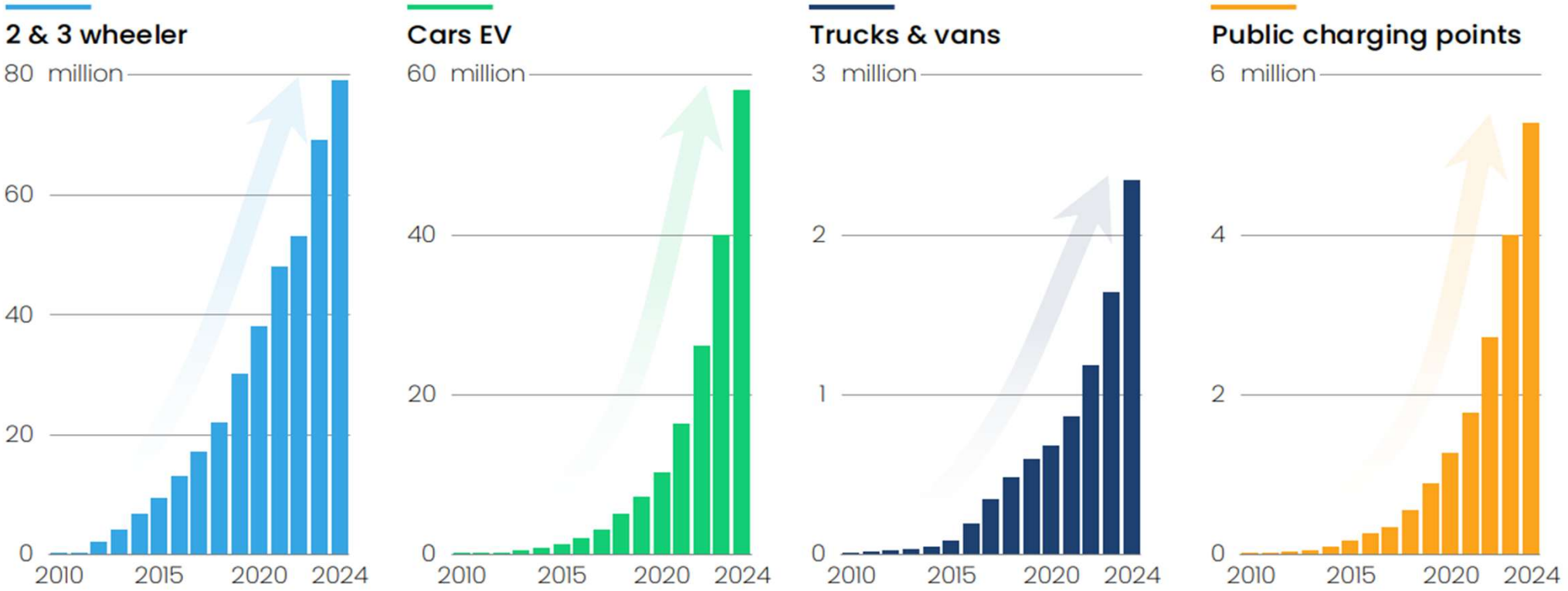
*Dans d'autres applications (ex : transport maritime, groupes électrogènes), l'efficacité des moteurs à combustion interne peut atteindre 50 %.

Adapté du ministère fédéral de l'Economie et de l'Energie, 2015, *An electricity market for Germany's energy transition*, *White Paper*.

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Le développement des véhicules électriques est exponentiel





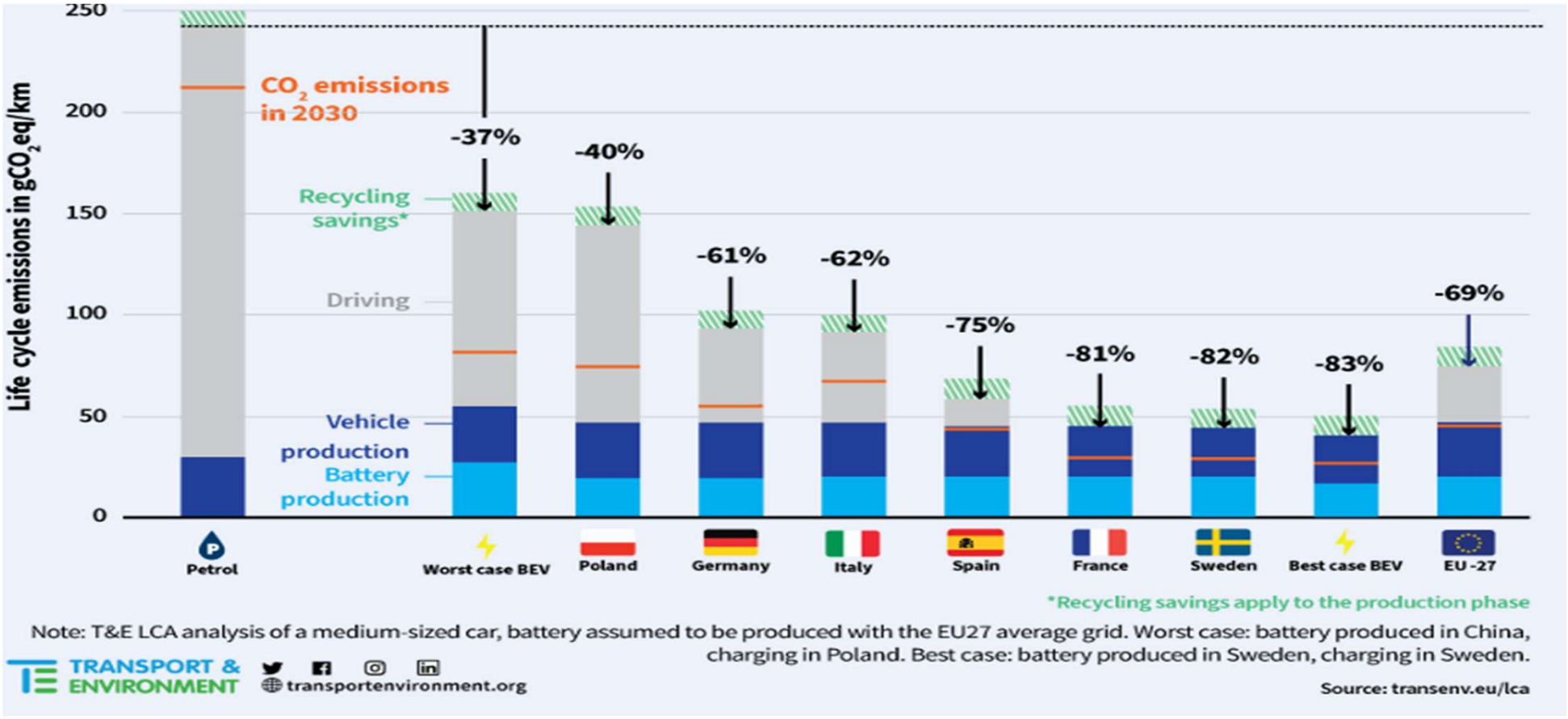
Sources: IEA. Note these figures are for the size of the fleet

EMBER

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. Ceci n'est pas un avis.

L'ACV des voitures électriques





Trois fois moins de CO_2 en Europe, cinq fois moins en France… voire moins!

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Le PV (et l'éolien) sont bien plus efficaces à l'hectare



Biocarburants vs. PV + voiture électrique



1ha



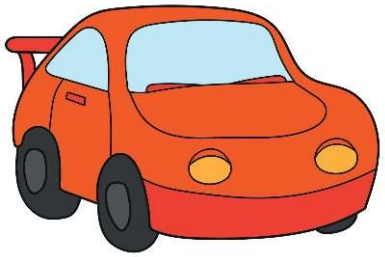
3500 l/an
bioéthanol



1ha

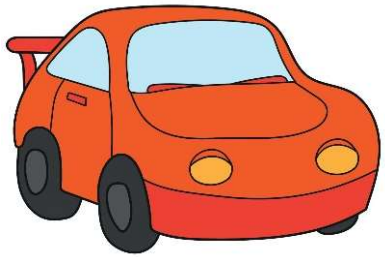


1200 MWh/an



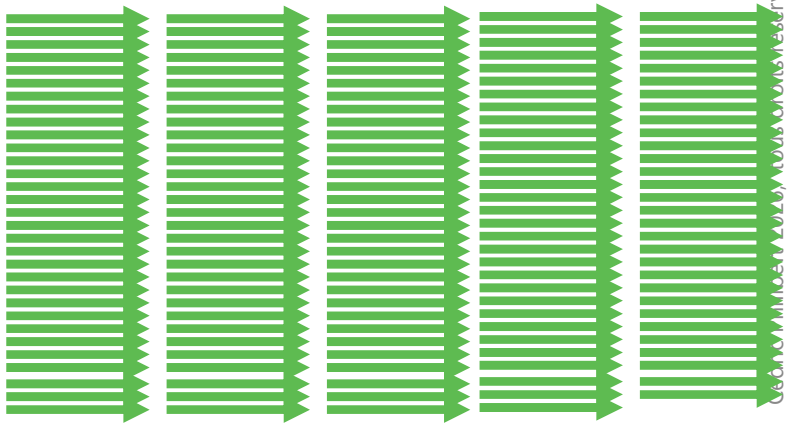
8,2 l eth/100 km

42 600 km



17 kWh/100 km

7 000 000 km

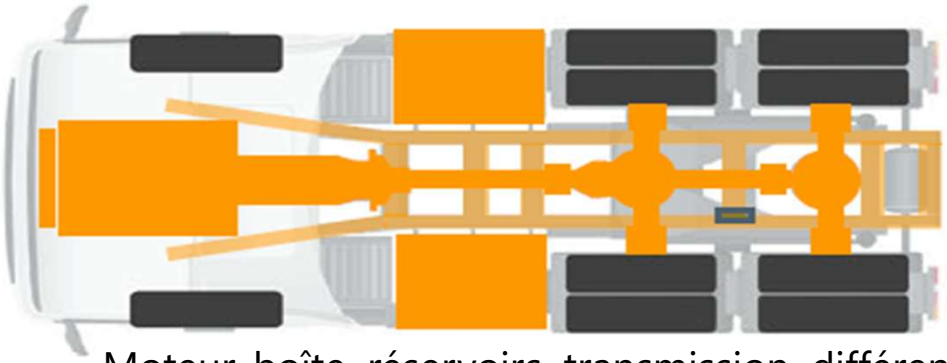


Usage commercial interdit. Tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les camions électriques arrivent!

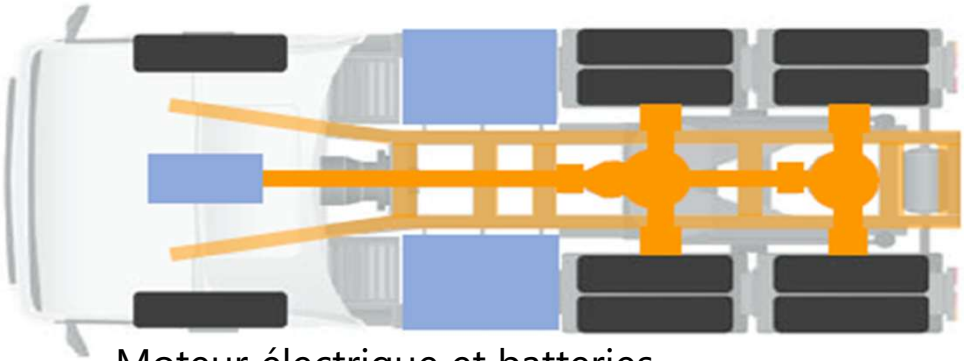


Diesel



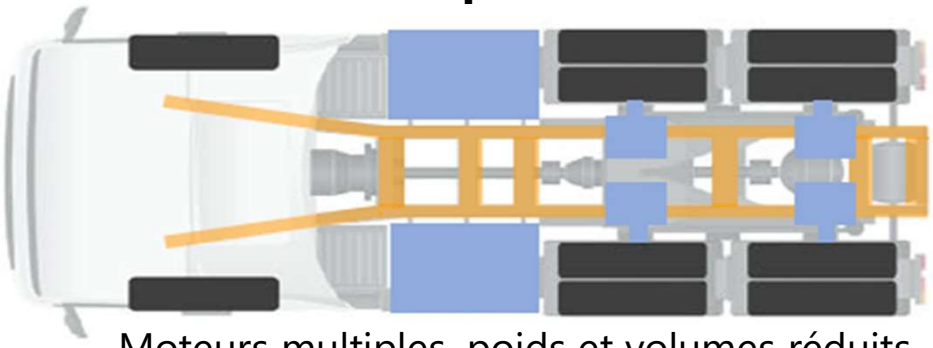
Moteur, boîte, réservoirs, transmission, différenti

Electrique Gen 1



Moteur électrique et batteries

Electrique Gen 2



Moteurs multiples, poids et volumes réduits

Electrique Gen 3



Batteries-chassis, poids et volumes réduits

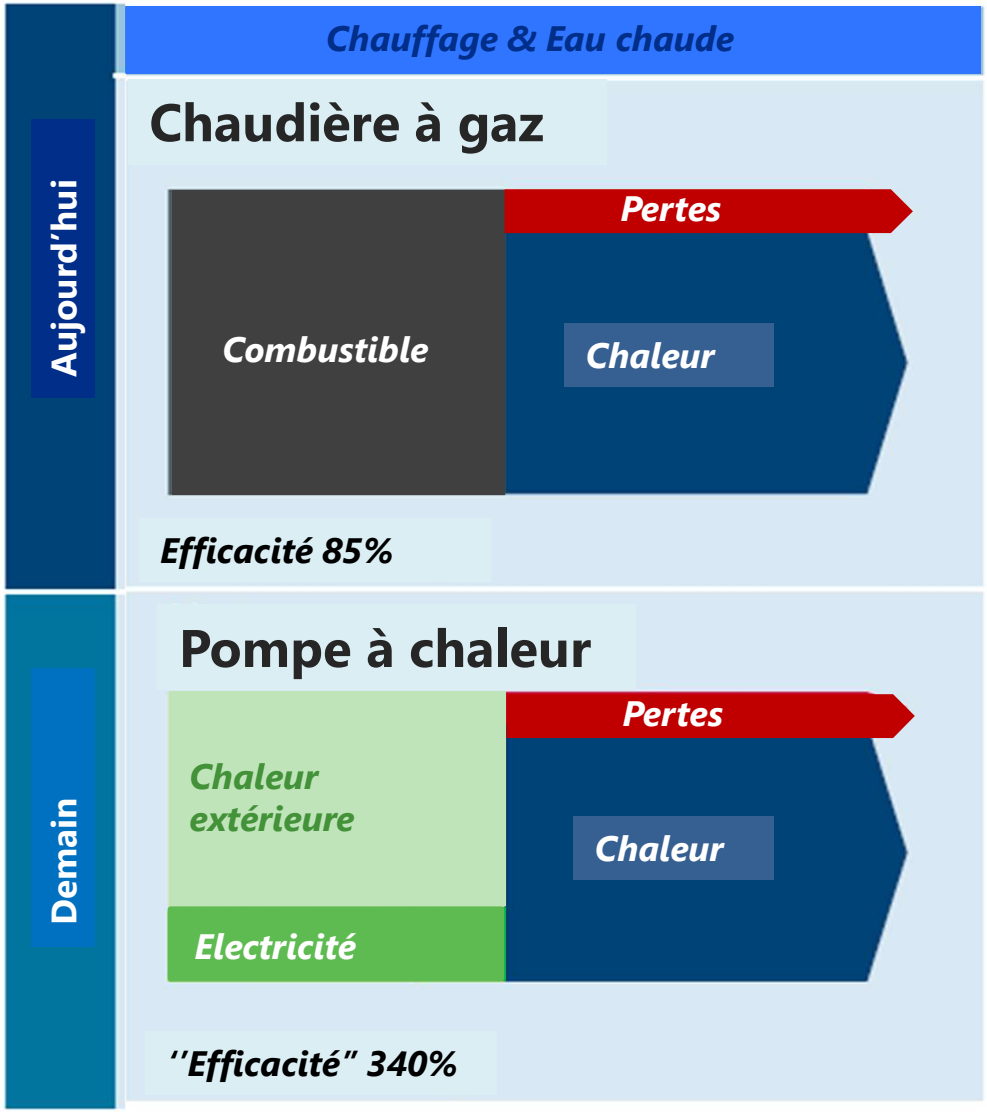
Source: Hoekstra Alkemade 2025

Cédric Philibert, tous droits réservés. cedricphilibert.net

L'électrification source d'importantes économies d'énergie dans les bâtiments

(et une partie de l'industrie)



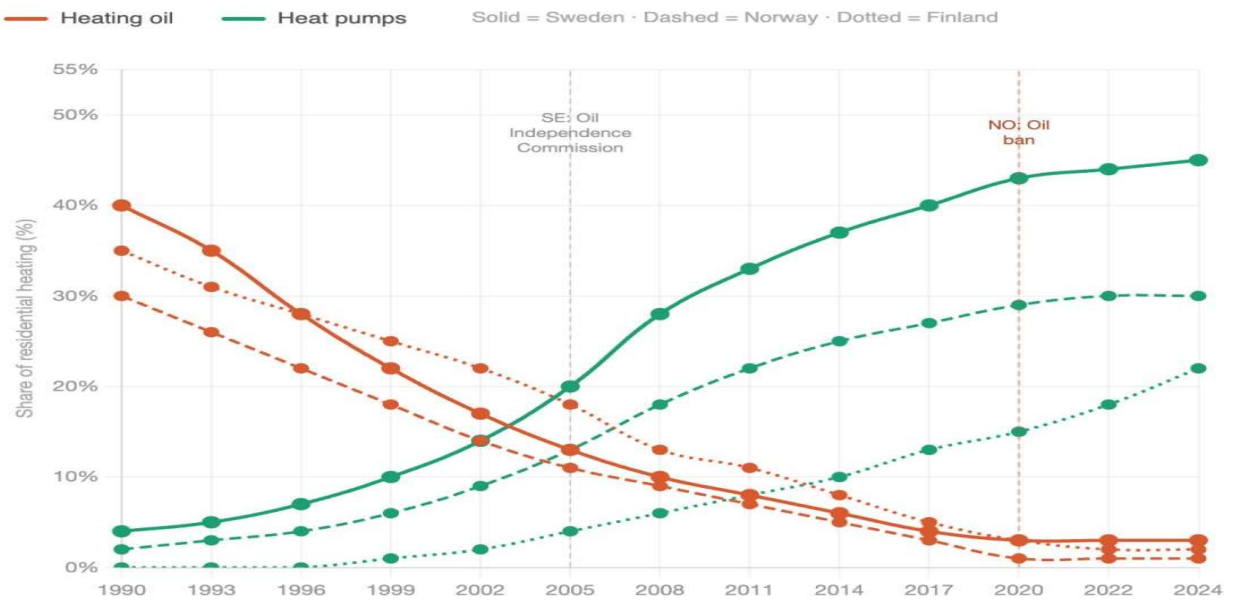


Adapté du ministère fédéral de l'Economie et de l'Energie, 2015, *An electricity market for Germany's energy transition*, *White Paper*.

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les pompes à chaleur chez les Nordiques chassent le fuel!





Sweden
Oil: ~40% → ~3%
HPs: ~4% → ~45%
–95% CO_2 from heating

Norway
Oil: ~30% → <1%
HPs: ~2% → ~30%
–83% CO_2 from heating

Finland
Oil: ~35% → ~2%
HPs: ~0% → ~22%
–72% CO_2 from heating

Key policies: Finland carbon tax (1990) · Sweden carbon tax (1991) · Norway oil ban (2020) · Finland mandatory HPs in new homes (2014) · Sweden Commission for Oil Independence (2005)

Sources: Carbon Brief/RAP, Statistics Finland, Statistics Sweden (SCB), Statistics Norway (SSB), SULPU, SVEP, NVE, EHPA. CO_2 reduction figures from Carbon Brief/RAP (2023). Shares are approximate and based on multiple national statistics sources. Post-2022 figures are estimates.

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les solutions avancent pour l'industrie

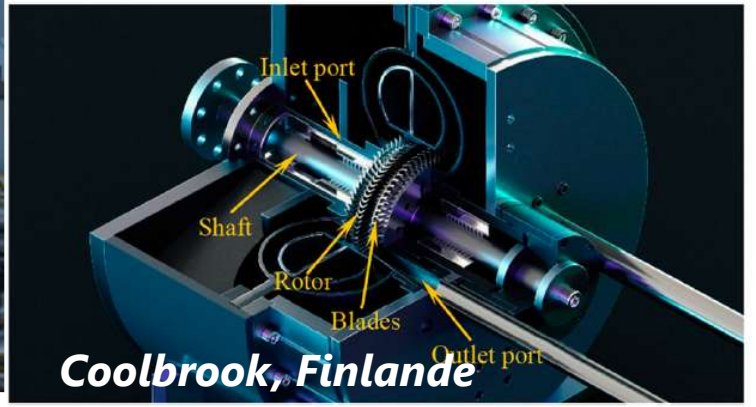












Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les plastiques: l'énergie d'abord, le matériau carbone ensuite



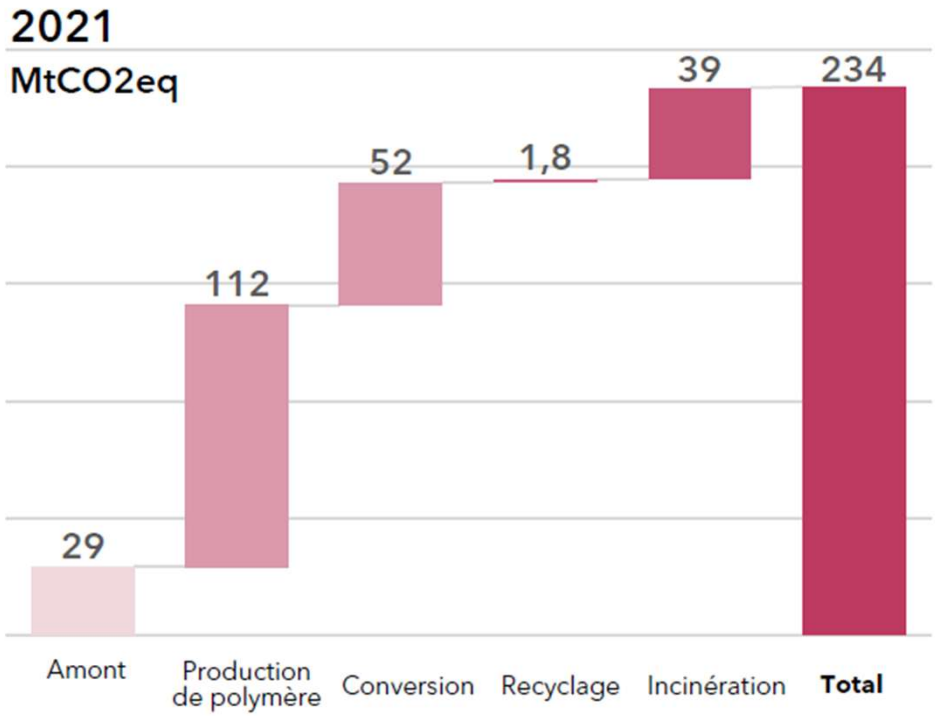


Fig. 12. *Diagramme de cascade des émissions du secteur du plastique européen, voir Annexe 1*

Source: Girard et Grimaud, 2024, *Plastiques en transition*, Zénon Mines PSL

- **Les émissions de GES liées aux plastiques viennent d'abord du pétrole « énergie » et non du pétrole « matière première ».**
- **Les meilleurs vapocraqueurs actuels utilisent 4 à 5 fois l'énergie thermodynamique minimale du craquage du naphta.**
- **Un procédé comme Coolbrook pourrait réduire la consommation d'énergie de 20-30%, et les émissions de CO_2 de 70 à 80% (avec de l'électricité décarbonée).**

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Séparer l'hydrogène du « hype »

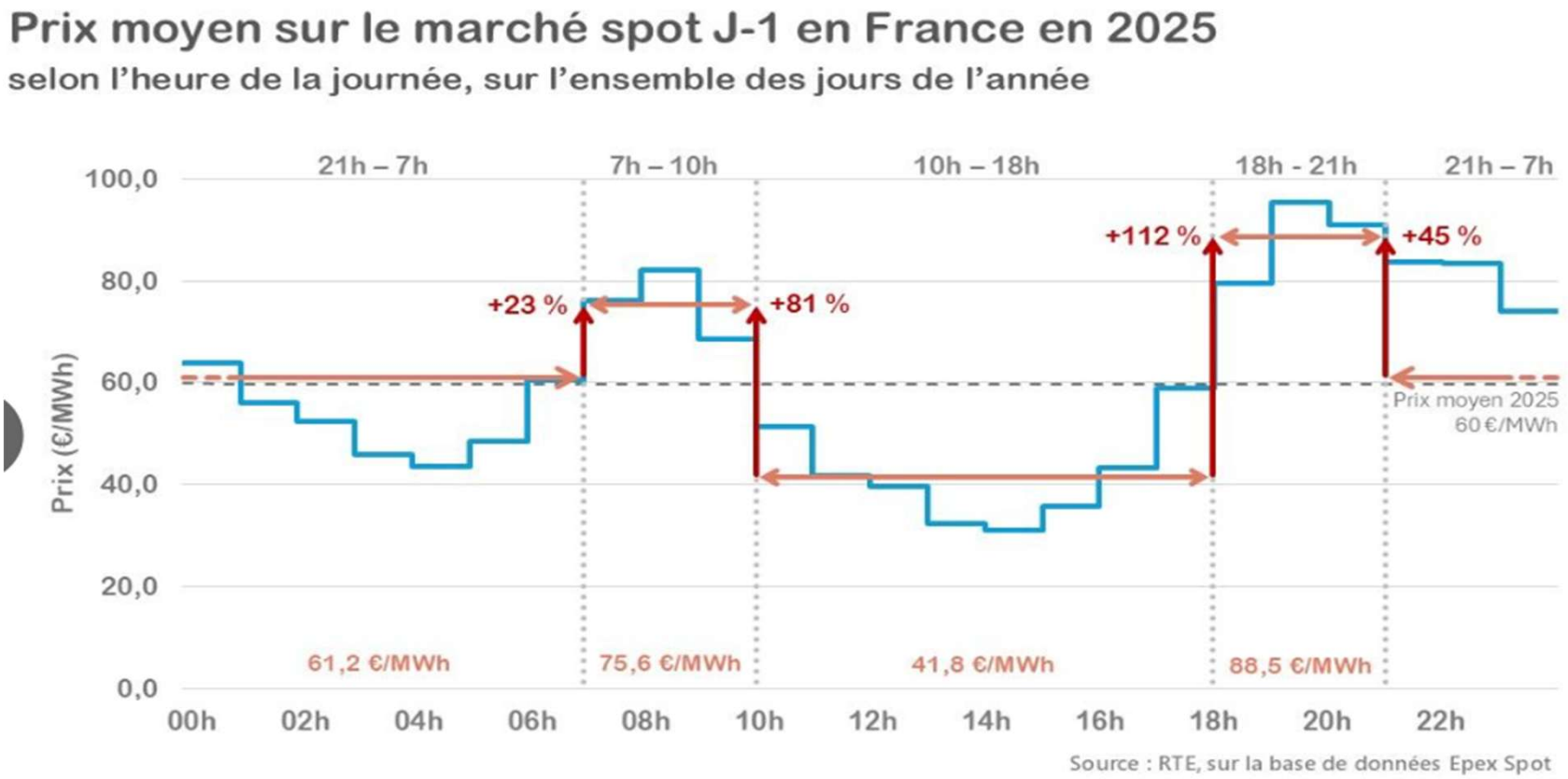


- L'hydrogène promet un futur à toutes les énergies dans un monde décarboné:
  - Fossiles, grâce à l'hydrogène gris, puis bleu (avec CCS)
  - Nucléaire, grâce à l'hydrogène jaune ou rose
  - Renouvelables, grâce à l'hydrogène vert
  - Les compagnies de distribution de gaz
- L'hydrogène promet aux politiciens de réconcilier la croissance et l'environnement
- *Les lobbies* voient partout un rôle pour l'hydrogène: voitures, maisons, industries….
- *Les analystes* voient des rôles pour l'hydrogène *bas-carbone* ou ses *dérivés*, dans:
  - Les industries *chimiques*, et éventuellement:
  - Les industries *métallurgiques,* notamment la sidérurgie
  - Le *transport maritime* longue-distance (ammoniac), et l'*aviation* (e-biofuels)
  - Le *stockage* dans les systèmes électriques pour faire face aux Dunkelflaute

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Il faut modifier la tarification de l'électricité



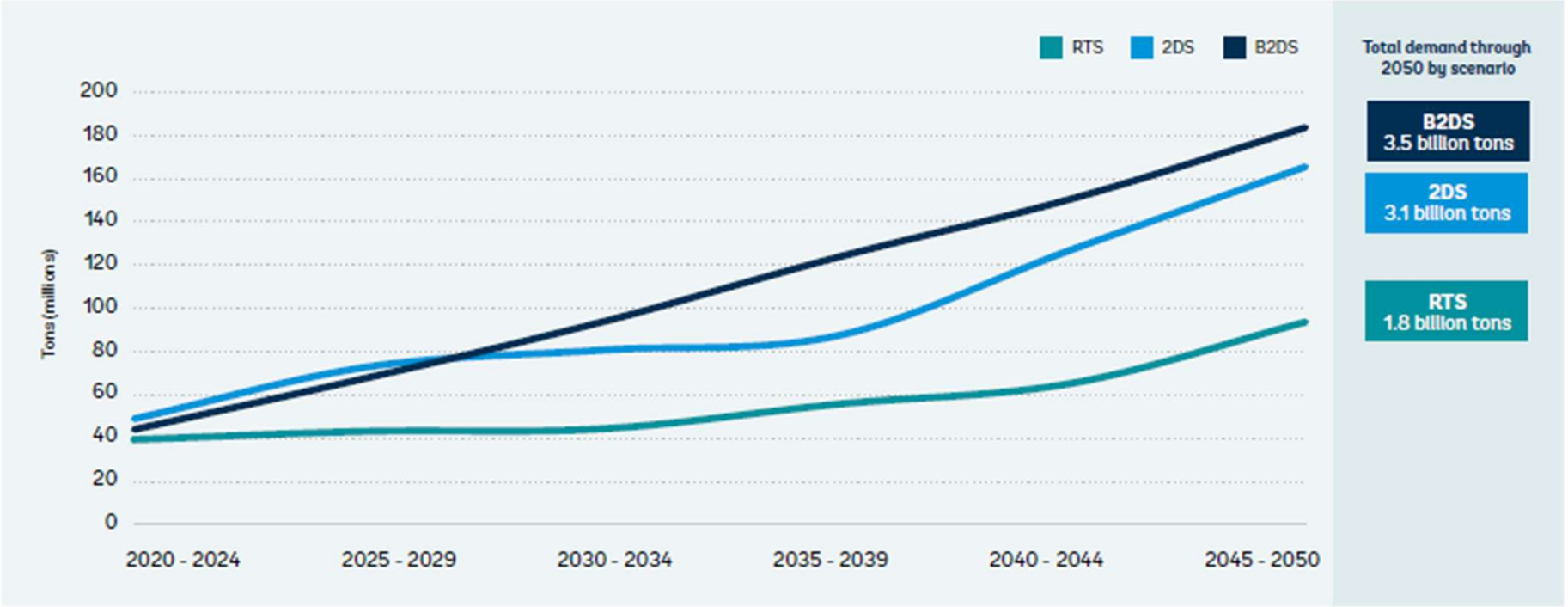


« Les tarifs sont là pour dire les coûts comme les horloges pour dire l'heure »
Marcel Boiteux

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Métaux: l'alerte de la banque mondiale (2020)





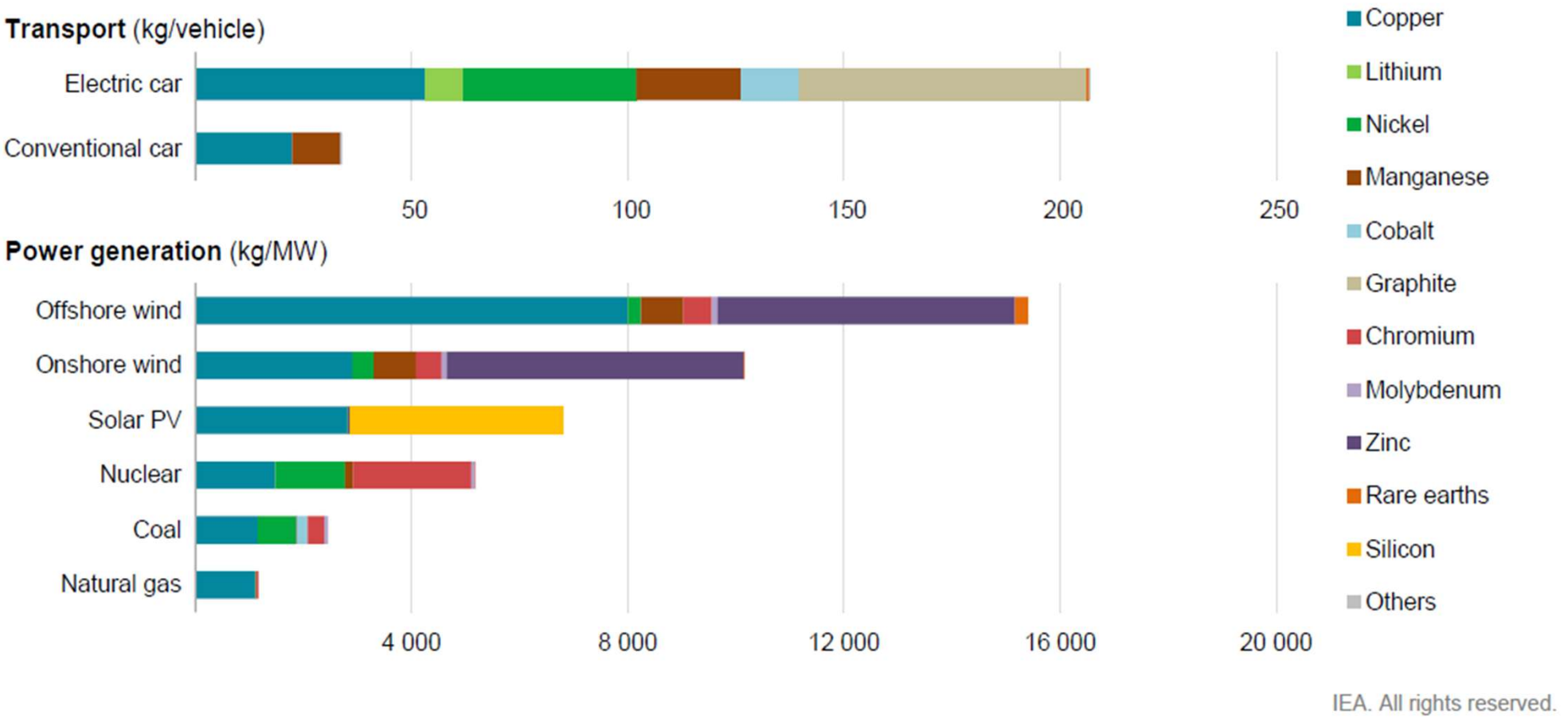
WBG, 2020, *Minerals for Climate Action*

La demande future de métaux (aciers inclus) pourrait quadrupler dans un scénario de transition énergétique (vs. doublement tendanciel)

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Renouvelables et véhicules électriques ont besoin de métaux



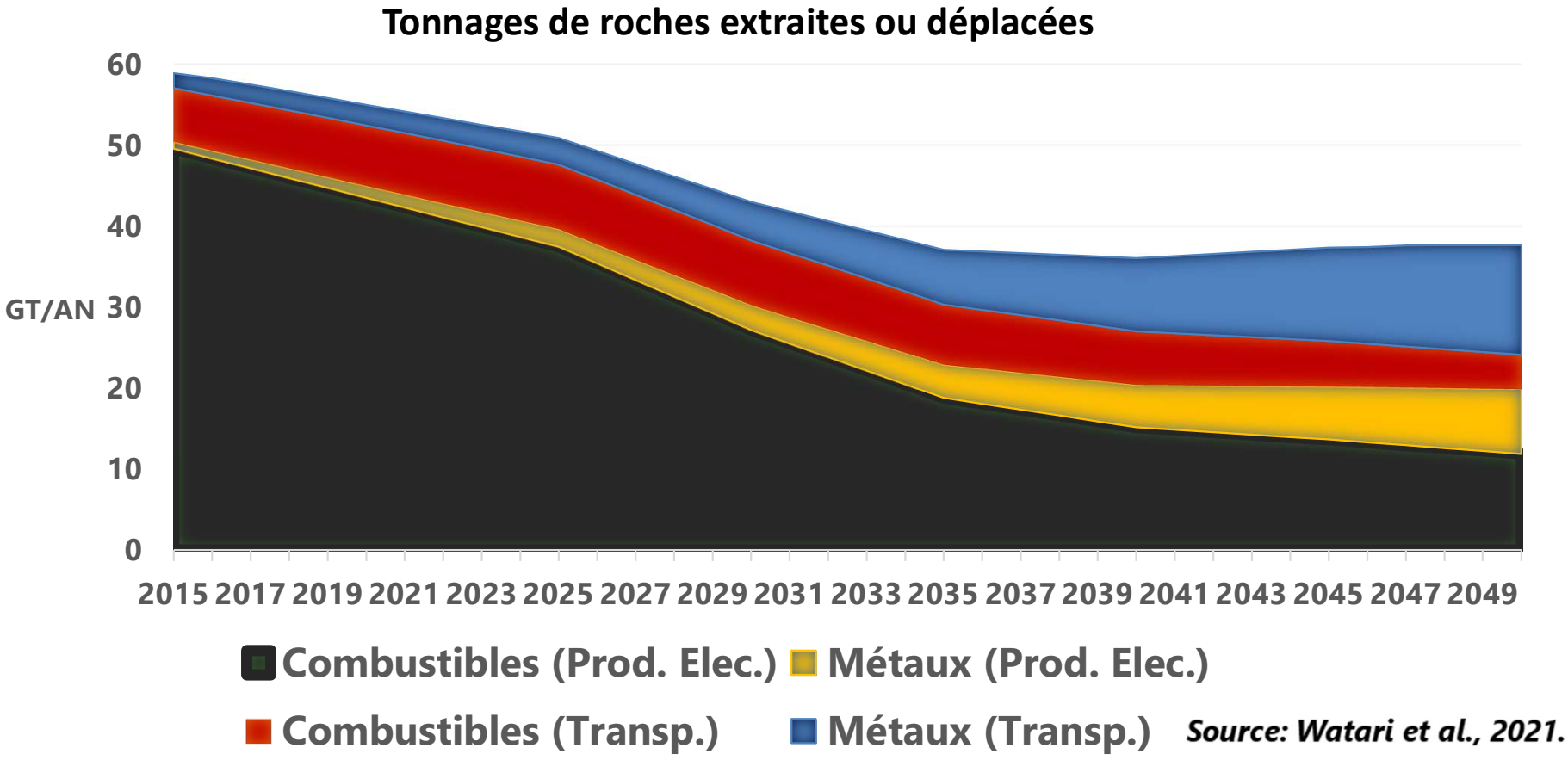


Steel et aluminium exclus. AIE, 2021, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Et pourtant…





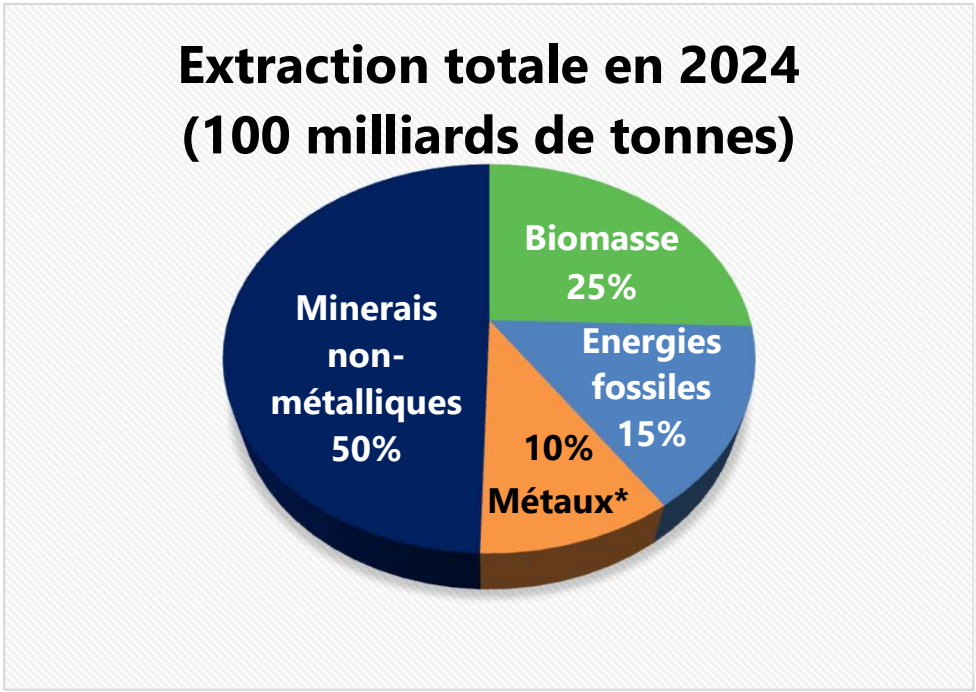
Dans la transition, l'extraction minière diminue

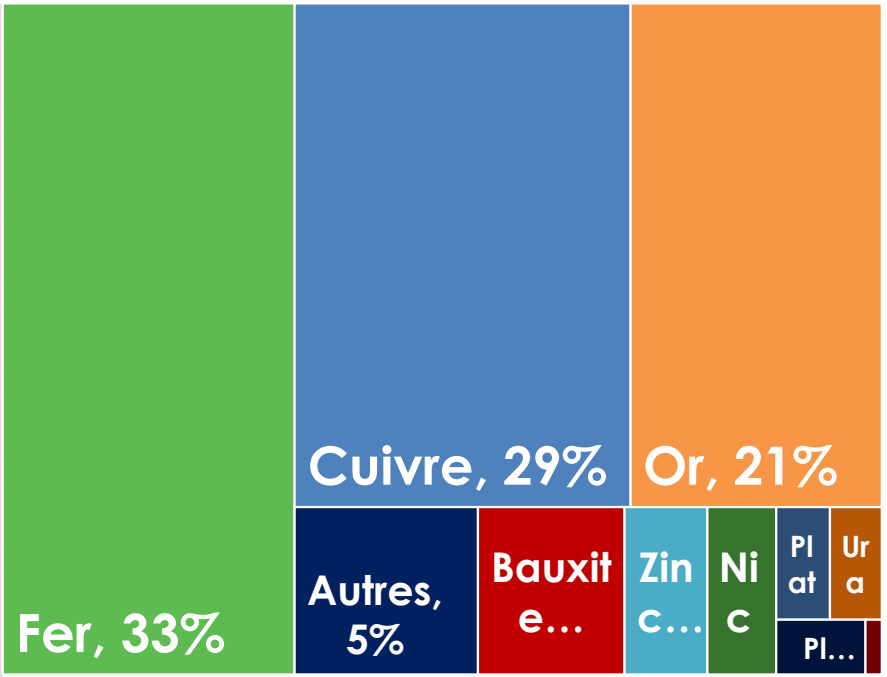
Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Prenons du recul…



Les concentrés métalliques représentent 10% de l'extraction





*Minerais métalliques. Source: UNEP, *Global Resources Outlook 2024*

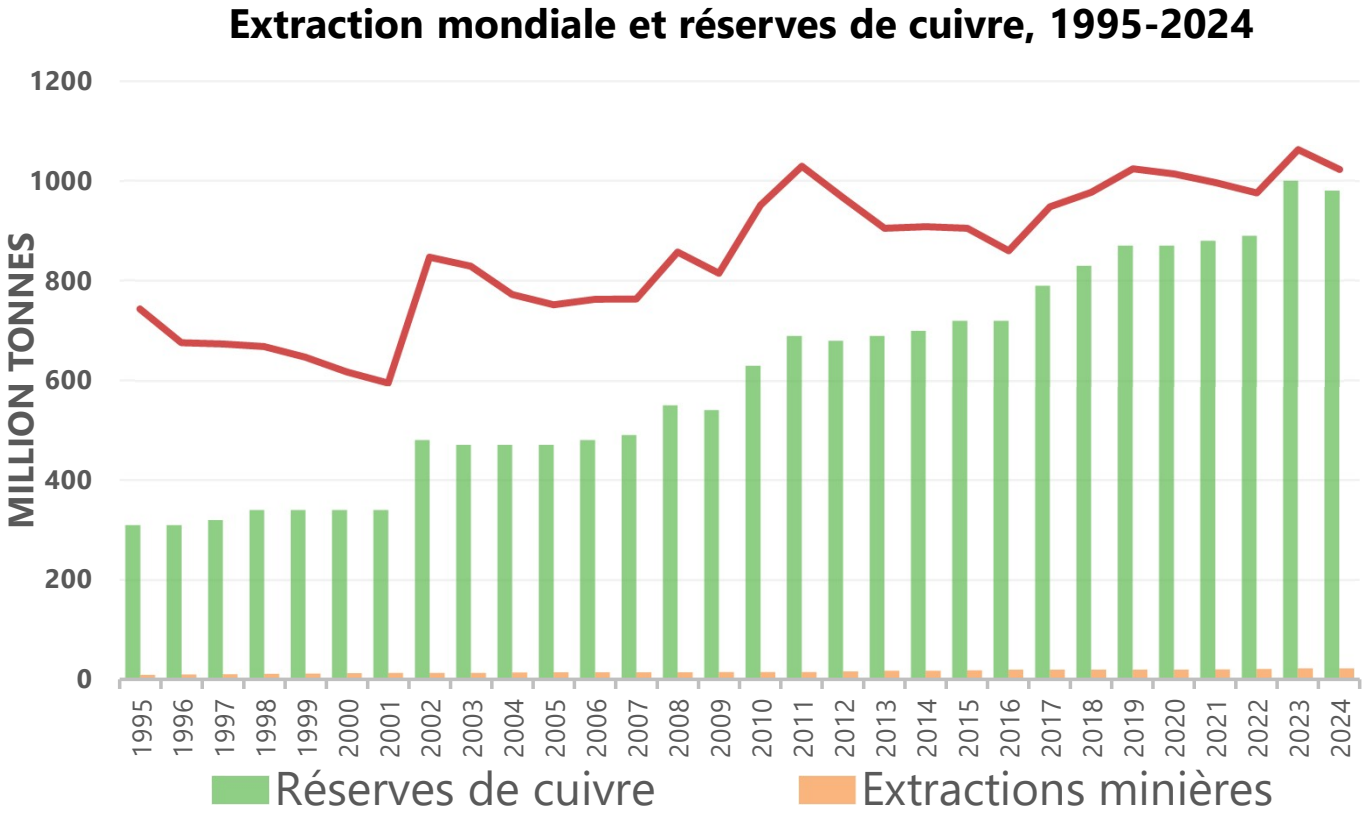
Source: Philibert et Arndt,, *IFRI, 2025. Données WU Vienna (2023)*

Et trois métaux représentent plus de 80% des extractions de minerais métalliques

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Les réserves de cuivre ont augmenté





Source: Philibert et Arndt, *Réévaluation de l'offre de cuivre: le rôle crucial de la technologie*, IFRI, 2025. Données USGS 2025, *Mineral Commodities Summary*

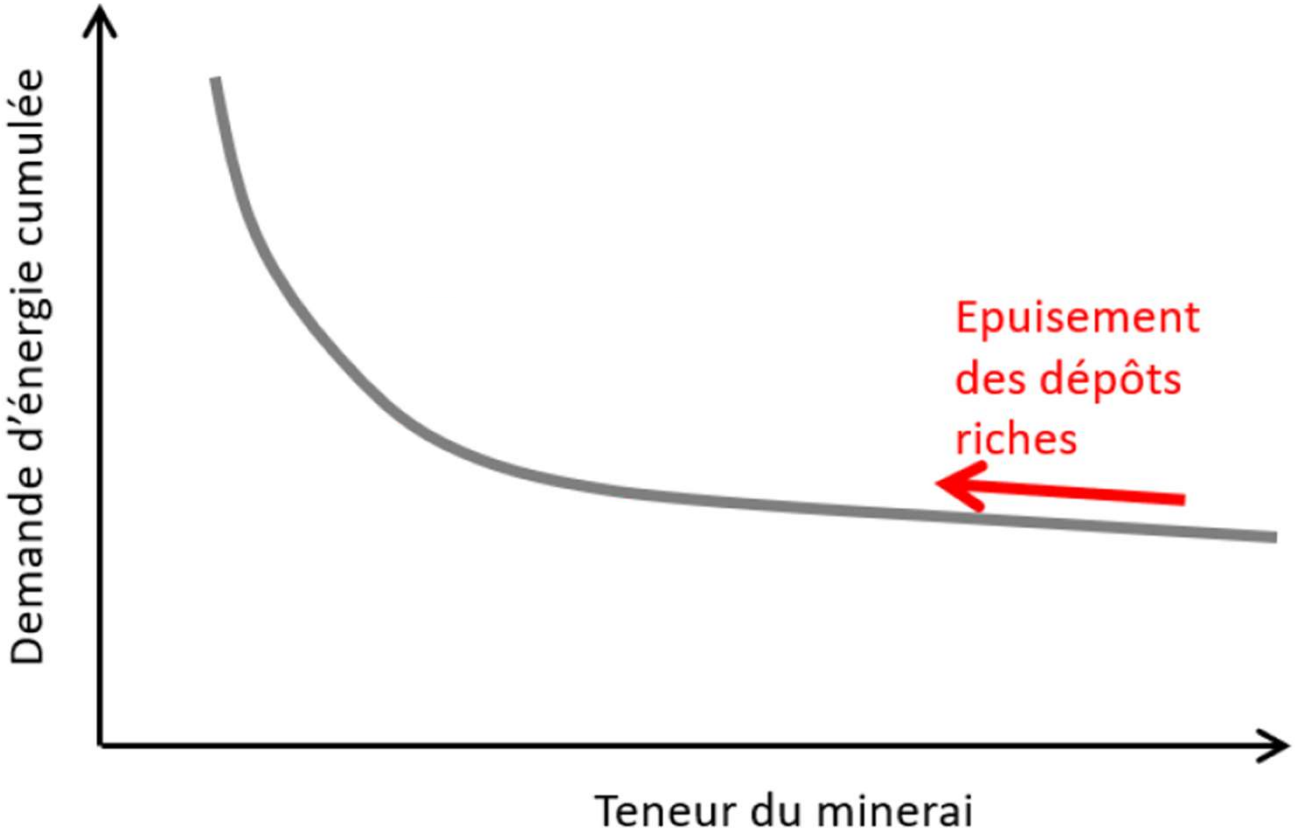
La teneur moyenne des gisements exploités est passée de 1,7% à 0,6%

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

L'innovation dans les mines



Source: Arndt & Philibert, 2025, modifié d'après Rötzer et Schmidt, 2020



Malgré la baisse des teneurs, l'énergie d'extraction par tonne de cuivre est inchangée

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

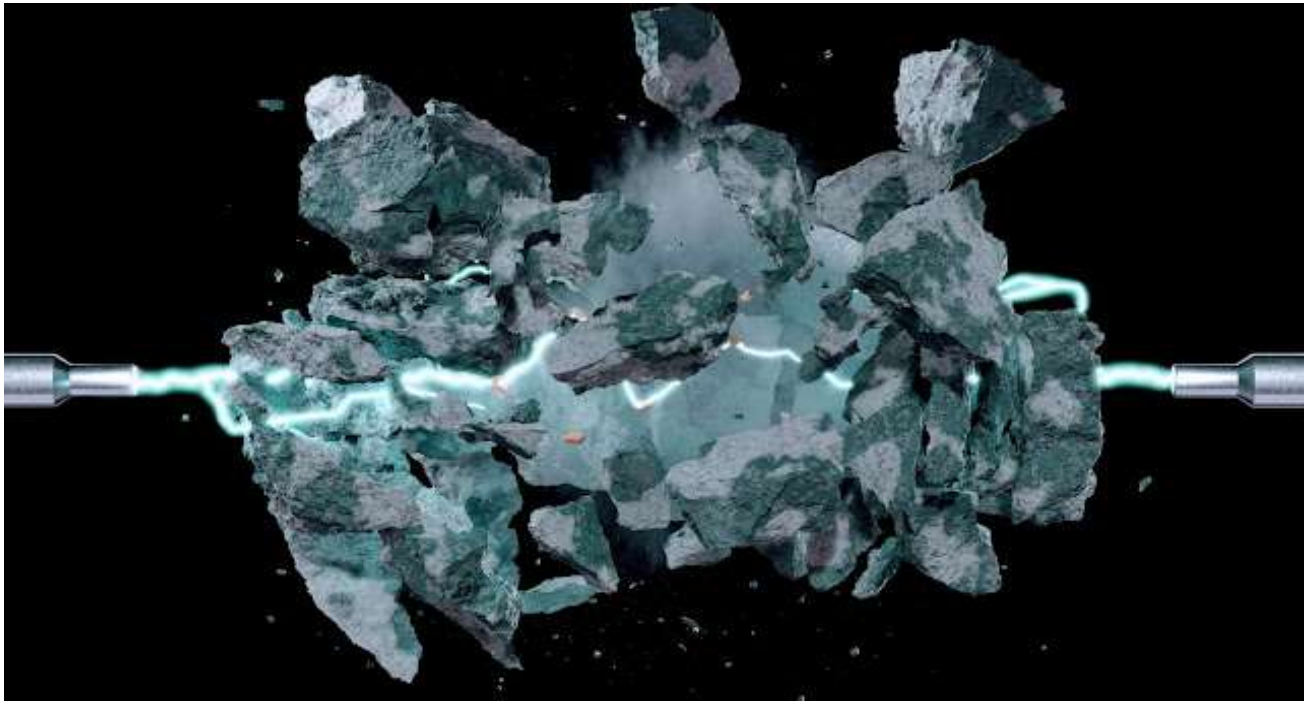
L'innovation dans les mines





Solaire thermique pour traitement du minerai de cuivre





Camion minier électrique à batterie

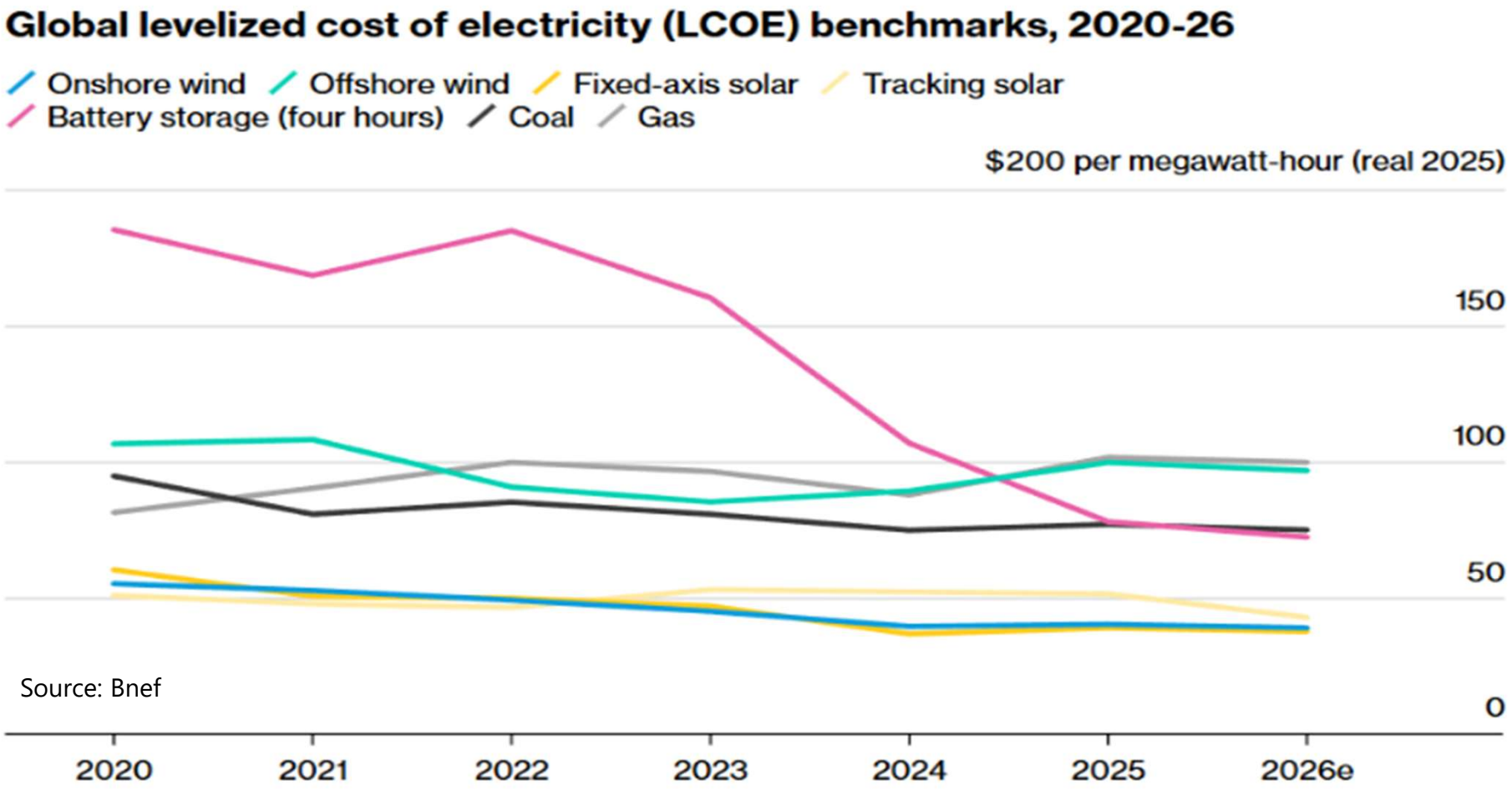
Impulsions électriques pour extraire le métal

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Le coût des batteries diminue encore



-

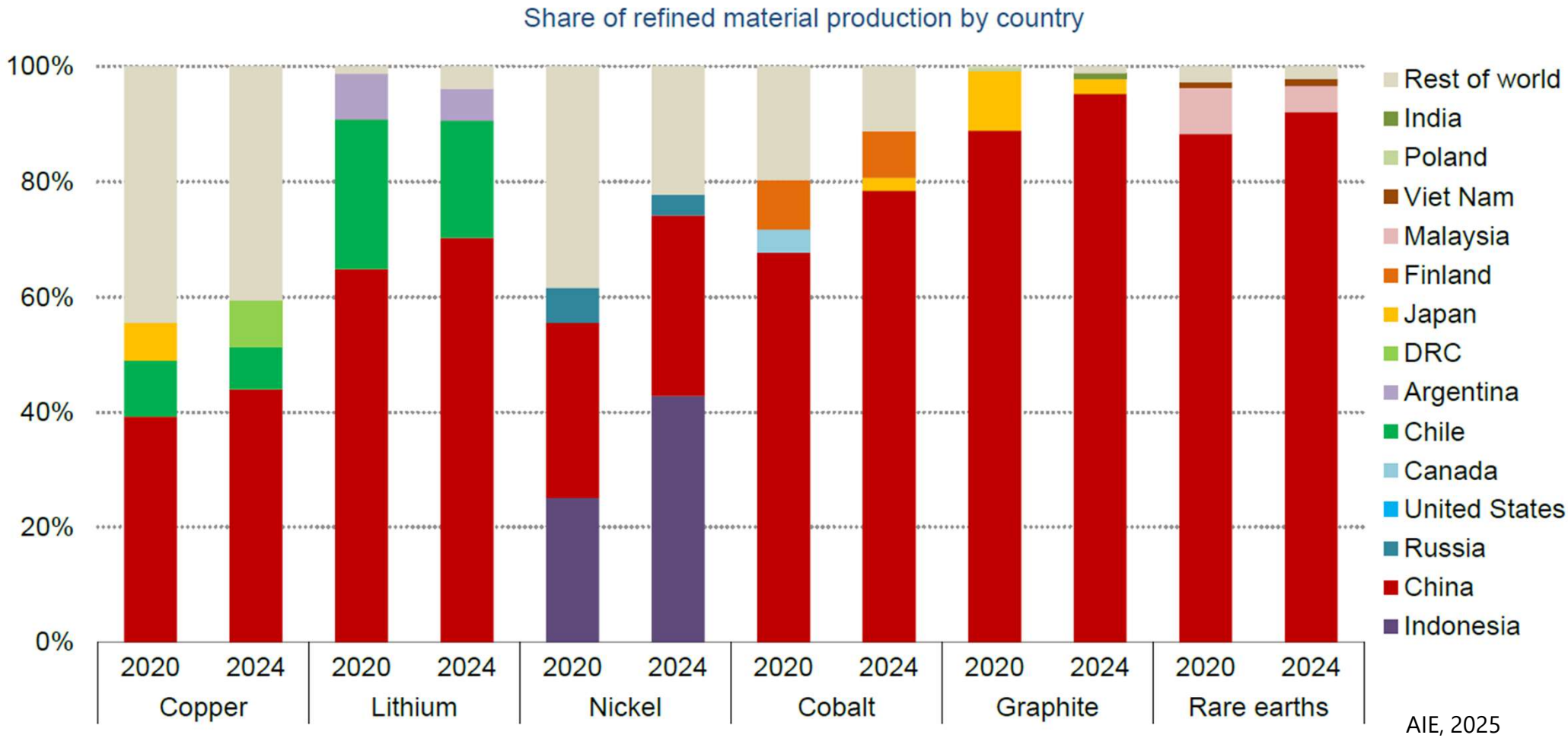


Source: Bnef

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Le problème est surtout géostratégique





AIE, 2025

Des modules PV qui font un long voyage, c'est grave docteur?





- **Un seul voyage d'un porte-conteneur chargé de modules photovoltaïques fournit les moyens de produire autant d'électricité que le gaz contenu dans plus de 50 méthaniers ou le charbon contenu dans plus de 100 vraquiers**
- **Le coût des modules représente entre 10% et 30% du coût total des installations solaires**

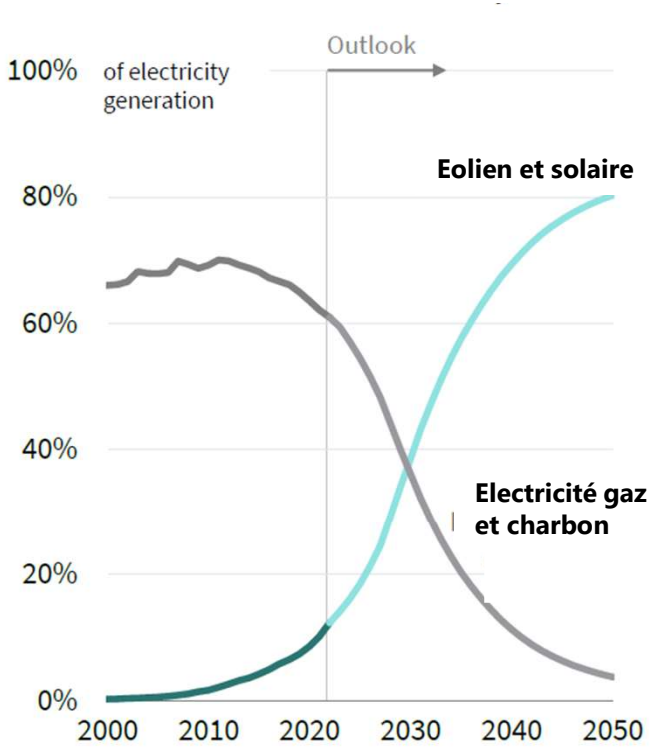
Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Une transition énergétique rapide a commencé…

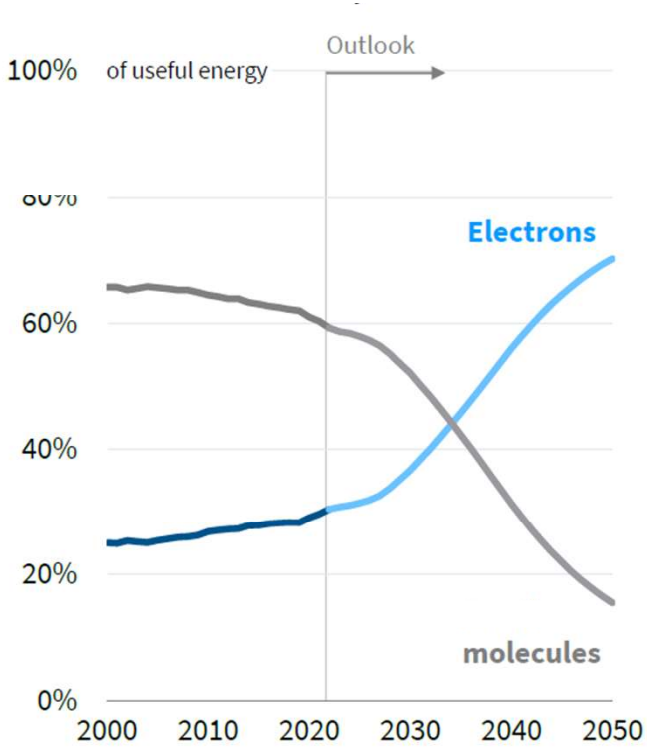


Les renouvelables remplacent les fossiles, les électrons remplacent les molécules, l'efficacité réduit les pertes

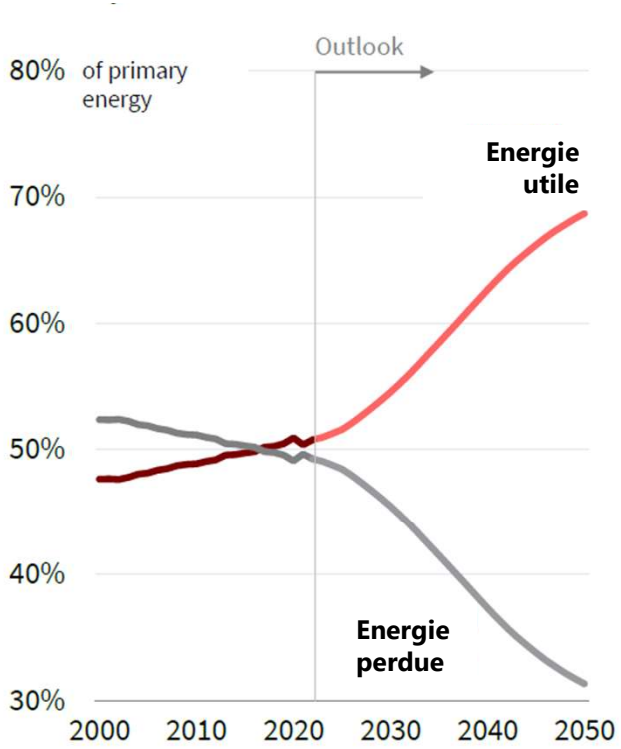
Renouvelables



Electrification



Efficacité

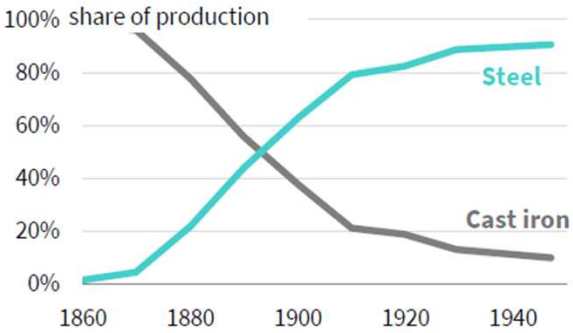


RMI *Source: Rystad Energy 1.6°C scenario.*

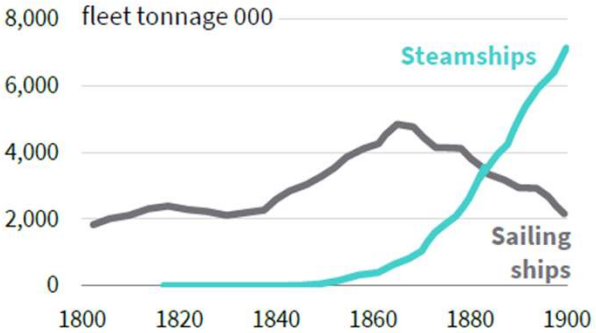
… et ce ne sera pas la première du genre!



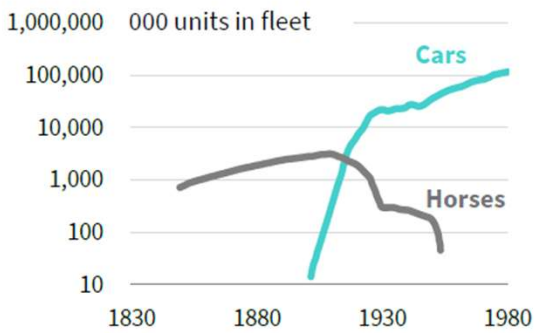
Industrie: de la fonte à l'acier



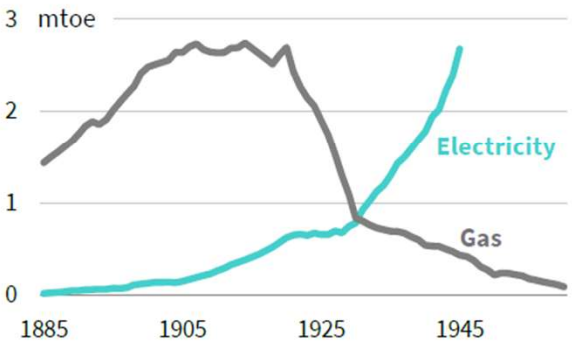
Navires: de la voile à la vapeur



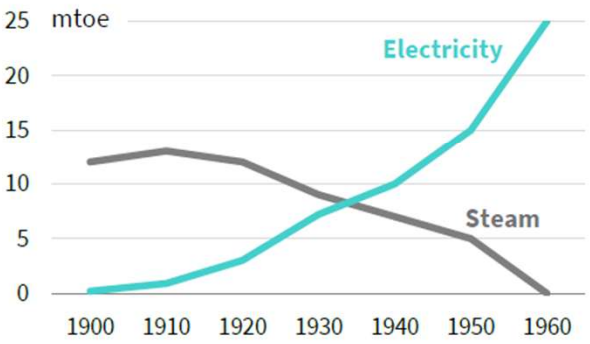
Transports: des chevaux aux voitures



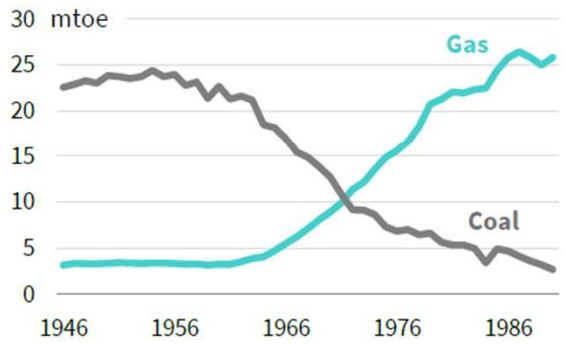
Eclairage: du gaz à l'électricité



Force: de la vapeur à l'électricité



Chaleur: du charbon au gaz

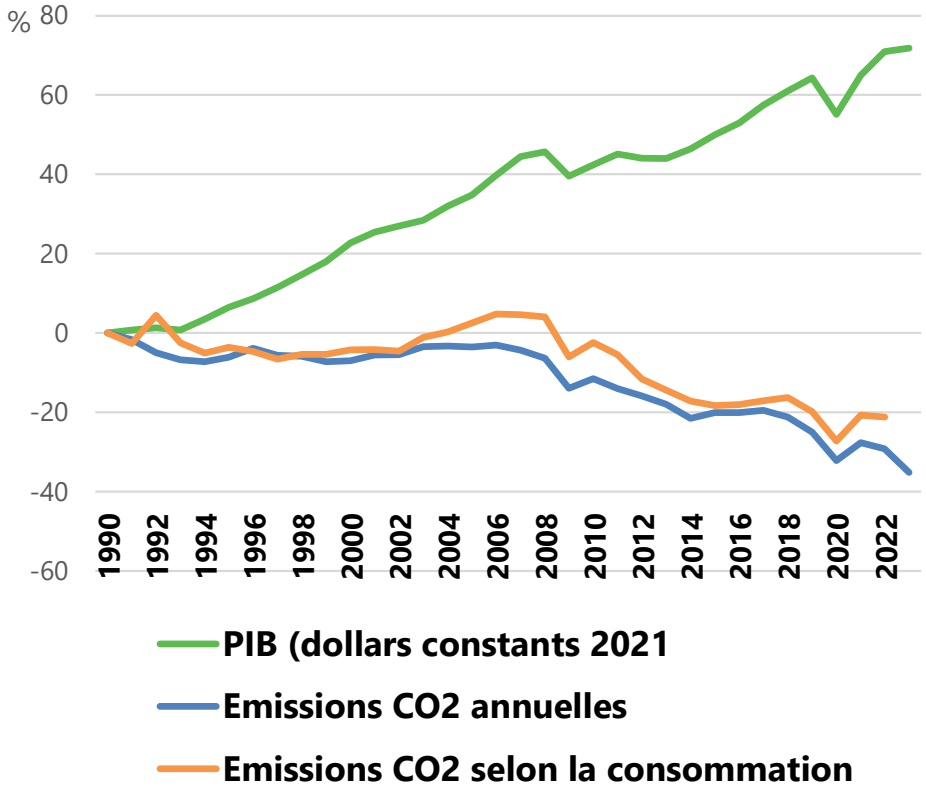


Source: Perez, Fouquet, Nakicenovic, Mitchell; Note: all UK charts except horses to cars (US).

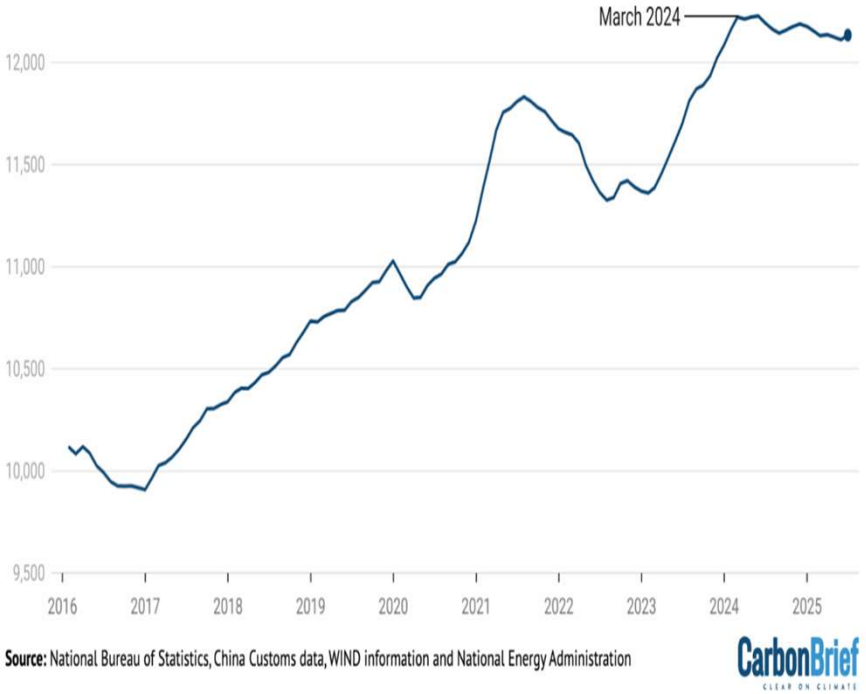
On peut découpler économie et émissions…



Union européenne



Chine



Les émissions mondiales de CO_2 (hors déforestation) ont probablement atteint leur pic (aussi grâce au ralentissement de la croissance) – mais beaucoup reste à faire

Cédric Philibert 2026, tous droits réservés. cedricphilibert.net

Merci pour votre attention !



Des questions?