

# Les défis de la Transition énergétique

Conférence-UTL-Côte Basque-Sud  
14/10/2025



Marc Blaizot

Société Géologique de France

[marc.blaizot@gmail.com](mailto:marc.blaizot@gmail.com)

<https://www.geosoc.fr/>

ASPO-France (Association for the Study of Peak Oil)

<https://aspofrance.org/>



# Plan de la présentation

- 1- Les énergies et leur évolution au XXIème siècle
- 2 - L'emprise du pétrole sur l'économie globale
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans fossiles ?
- 4- Conclusions : quels chemins pour la TE : est-ce possible ?

Une grandeur physique aussi appelée travail (ou quantité de chaleur) qui permet un changement d'état d'un système : température-vitesse-composition-forme

**Et de mesurer** cette transformation ; unités de mesures : **joule**, calorie, kilowatt-heure, tec, bep, btu

1 J = énergie d'une masse de 1 kg qui tombe de 10 cm.

1 C = énergie nécessaire pour chauffer 1g d'eau de 1°C

A ne pas confondre avec la Puissance d'une machine ou d'un moteur qui permet cette création/transformation d'énergies : Watt et ses multiples , cheval-vapeur...

**Energie = Puissance\*temps**

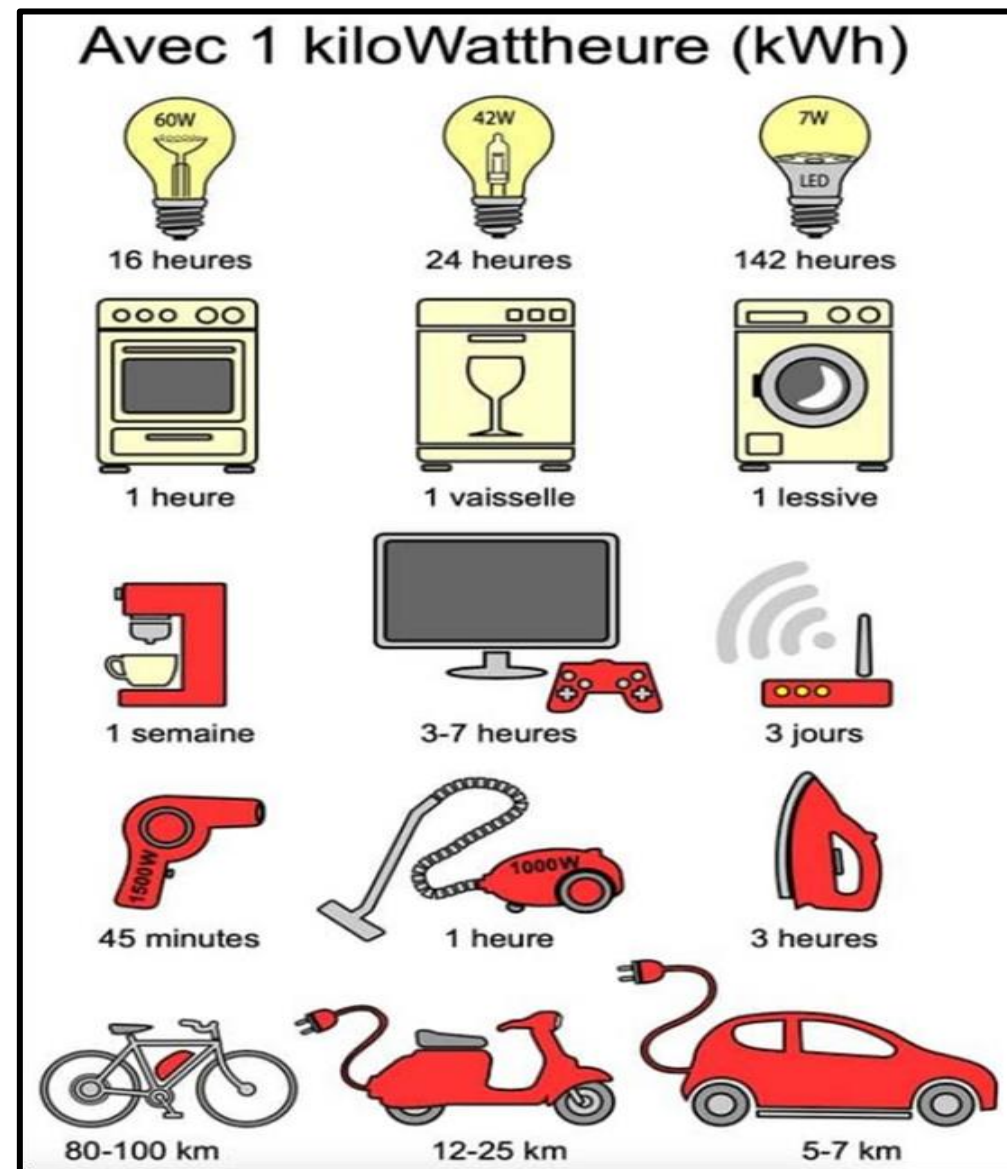
**Joule= Watt\*seconde**

Wattheure = 60\*60= 3600 joules

Une éolienne de 2 MW de puissance va produire en une journée venteuse :  $2*24 = 48$  MWh

mais sur l'année ? =  $48*365*0,2 = 3500$  MWh

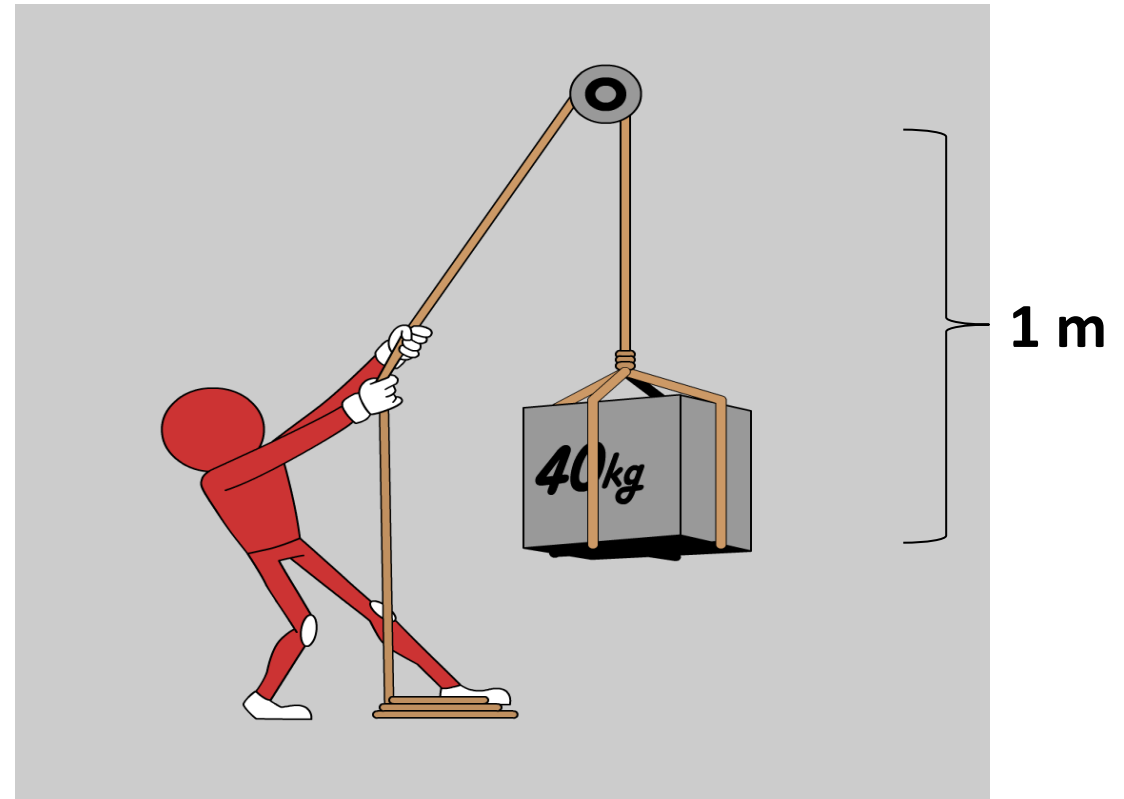
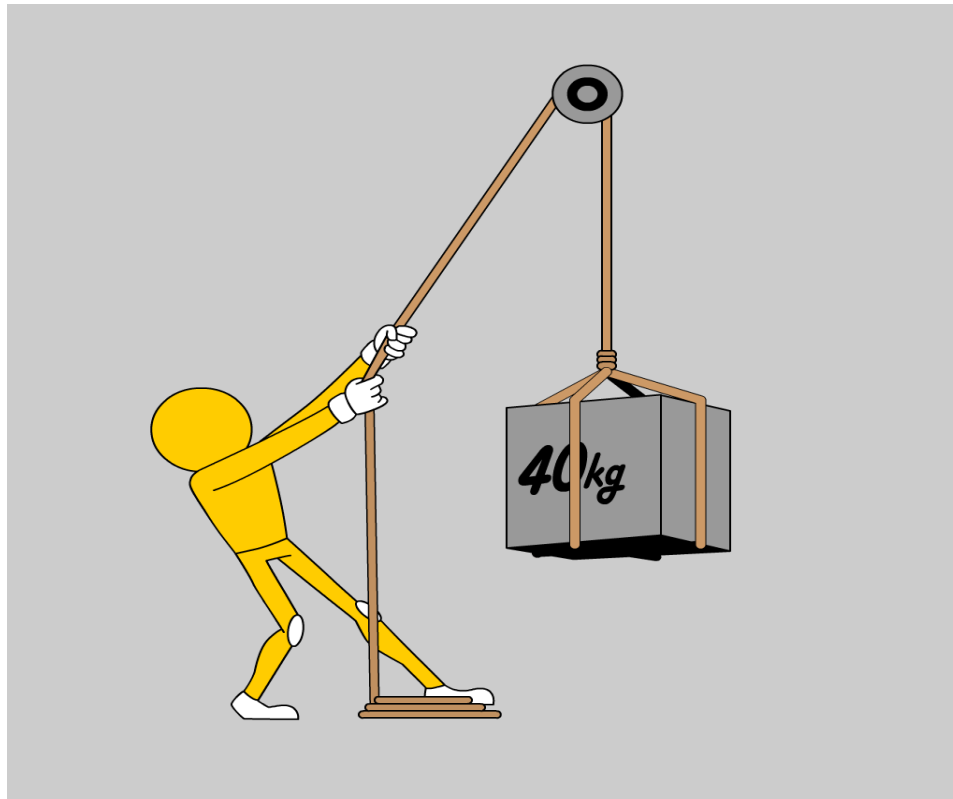
# C'est quoi l'énergie?



# Force, Energie, Puissance

$$\begin{aligned} \text{Force} &= F = M \times g \\ &= 40 \text{ kg} \times 9,8 \text{ ms}^{-2} \\ &= 392 \text{ N (Newton)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Déplacement (l)} &= 1 \text{ m pendant } 2 \text{ s} \\ \text{Energie} &= F \times l = 392 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 392 \text{ J} \\ &\quad \text{(Joule)} \\ \text{Puissance} &= 392 \text{ J} / 2 \text{ s} = 196 \text{ W (Watt)} \end{aligned}$$



# L'énergie ? De la radioactivité solaire ou terrestre

**Toutes les formes d'énergie disponibles dérivent directement ou indirectement de l'énergie nucléaire :**

1-l'énergie **solaire** a une origine nucléaire (la fusion de molécules d'Hydrogène **dans notre étoile, le soleil à près de 15 millions de degrés**) , et son transport sous forme de photons vers la Terre

2-avec elle, tout ce qui en découle : vent, hydroélectricité (cycle de l'eau),biomasse,

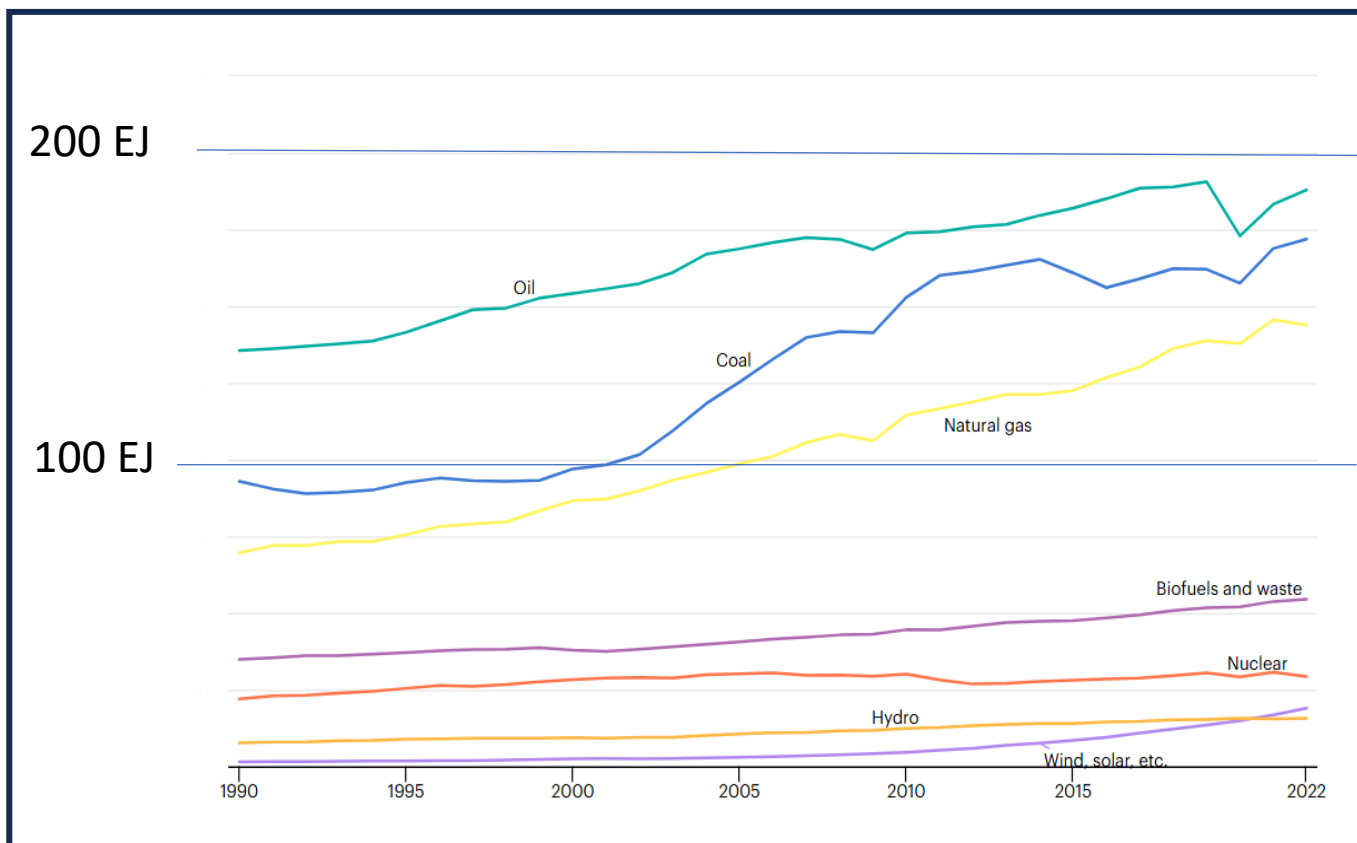
3-les combustibles fossiles sont de l'énergie solaire ancienne ( biomasse animale ou végétale) donc du « vieux nucléaire »,

4-la géothermie (chaleur de la Terre) provient de la chaleur libérée par 4,5 milliards d'années de radioactivité naturelle **du cœur de notre planète**

5-L'énergie atomique provient de la désintégration accélérée/provoquée par l'homme, d'éléments radioactifs (fission) présents dans **certaines roches de notre planète**

# L'énergie mondiale en 2022 : 630 Exajoules

ou 15 Gtep (tonne équivalent pétrole) ou 175 000 TWh (conso France 2550 TWh)



|                | 2002 | 2012 | 2022 | 2022-2002 |
|----------------|------|------|------|-----------|
| Pétroles       | 154  | 177  | 188  | + 34      |
| Gaz            | 90   | 119  | 147  | + 57      |
| Charbons       | 101  | 163  | 178  | + 77      |
| Biomasse/fuels | 38   | 46   | 54   | + 16      |
| Nucléaire      | 29   | 27   | 29   | +0        |
| Renouvelables  | 13   | 19   | 35   | + 22      |
| TOTAL          | 425  | 551  | 630  | + 205     |

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&energy=Balances>

1 exajoule = 24 Mtep = 278 TWh

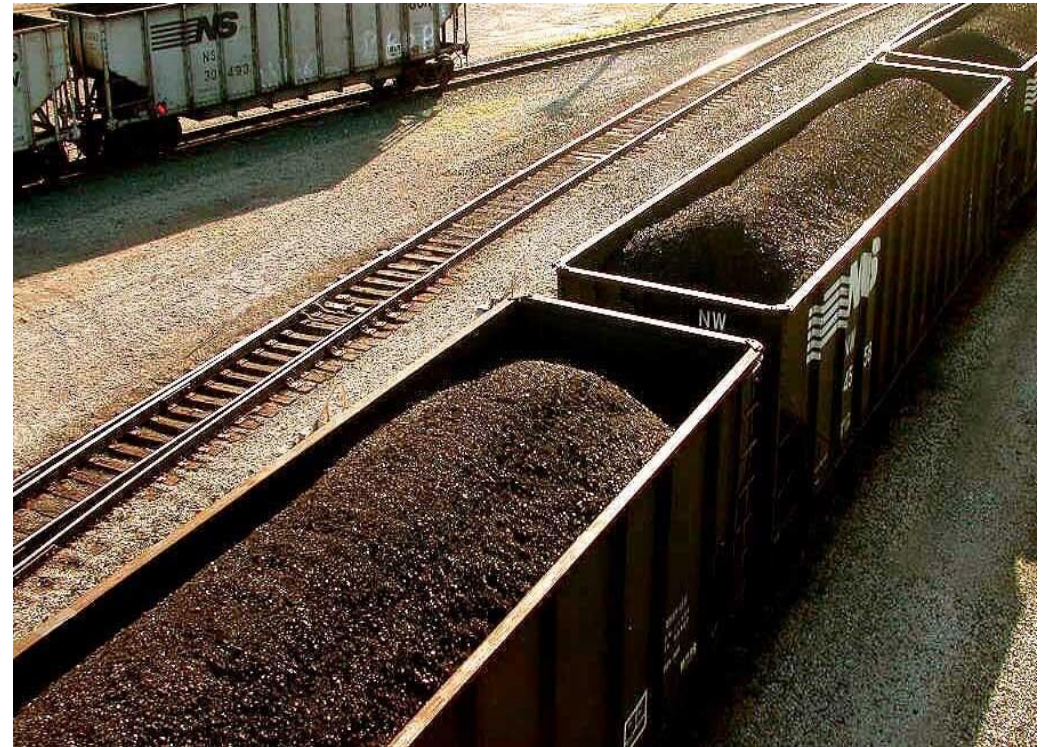
# And the winner is: King Coal **mais pourquoi ?**

Production record de charbon en ...2024 : 8,8 Gt dont 4,9 Gt consommée en Chine et 1,3 Gt en Inde

Depuis 2015 (Accord de Paris)  
+ 13 % = 260 GW de capacité supplémentaires pour un total de **2175 GW (monde) soit 6500 centrales** électriques fonctionnant au charbon,  
Toutes les prévisions fausses : AIE, BP Outlook, WEF qui prévoient un pic en...2011!

Chine et Inde mènent la danse, macabre; en construction: Chine : 160 Gw et Inde : 90 GW

**Pourquoi ? Pilotable : 24/24 et 7/7 , très simple d'utilisation, bien réparti, belles réserves, la nourriture de l'industrie, indispensable aux EnR (silicium, ciment, acier pour éoliennes et PV)**



# QUELQUES QUALITES et CONTRAINTES des énergies

Une population mondiale qui VEUT avoir accès à l'énergie : 1 Milliard d'humains sans accès à l'électricité donc accès difficile à : eau/alimentation, transport, chauffage/clim, et aux...autres humains( ordinateurs, serveurs...).

Une énergie (ou un mix énergétique ) doit être :

- FIABLE/PILOTABLE et ABORDABLE (abondance, facilité de transport, et prix modéré)
- DURABLE (Climat, santé, empreintes matériaux et surface et besoin en eau)

**Charbon et pétrole** : très abordables , très fiables , très facilement transportables (solide et liquide ) , abondance discutée, pas durable (GES, santé)

**Gaz** : plus ou moins abordable, plus ou moins fiable (tuyaux russes....),abondant, difficilement transportable (gaz), peu durable (transition)

**Renouvelables éoliens et solaires** : très abordables, peu fiables (intermittence sauf batteries) , transportables (électrons), abondance en devenir, durables mais empreinte au sol...

**Renouvelable hydroélectricité** :très abordable, fiable (aujourd'hui) , transportable (électrons), abondance long terme ?

**Renouvelable Géothermies**: très abordable, peu transportable (eau), abondante et renouvelable

**Nucléaire** : très abordable, fiable , transportable (électrons), abondant, durabilité discutée (déchets longue vie , eau refroidissement )

# Plan de la présentation

- 1- Les énergies et leur évolution au XXIème siècle
- 2 - L'emprise du pétrole sur l'économie globale ?
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans fossiles ?
- 4- Conclusions : quels chemins pour la TE : est-ce possible ?

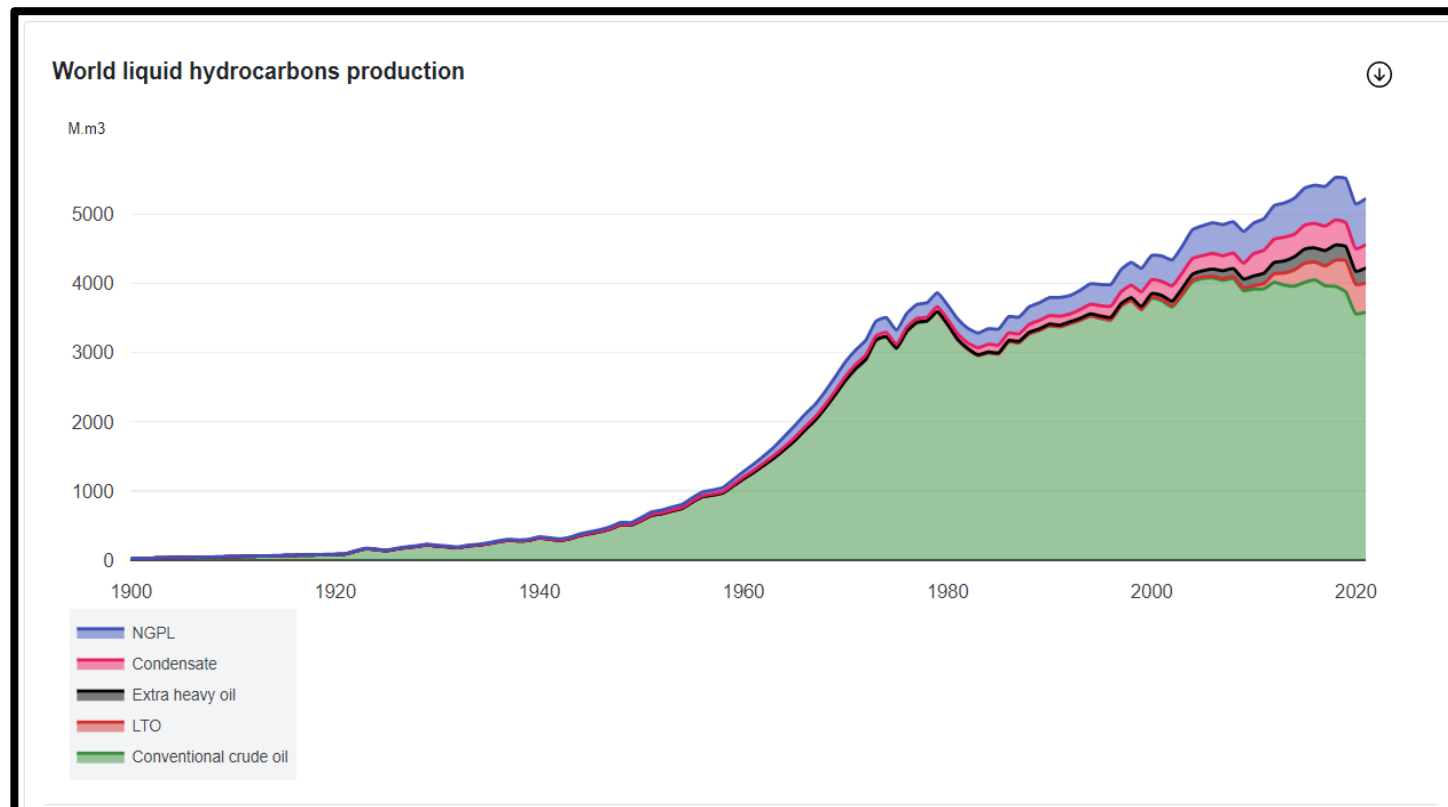
# La production mondiale de (des) pétrole(s)

## Pétrole conventionnel et les autres

Peak Oil conventionnel :  
2006-2007

Peak tous pétroles : 2019 ?

Des chocs pétroliers par augmentation des prix (guerre du Kippour 1973-74 guerre Iran-Irak 1980-81) suivis de récessions économiques et effondrement de la demande en pétrole ou des ...pandémies suivie d'une reprise rapide (2022)



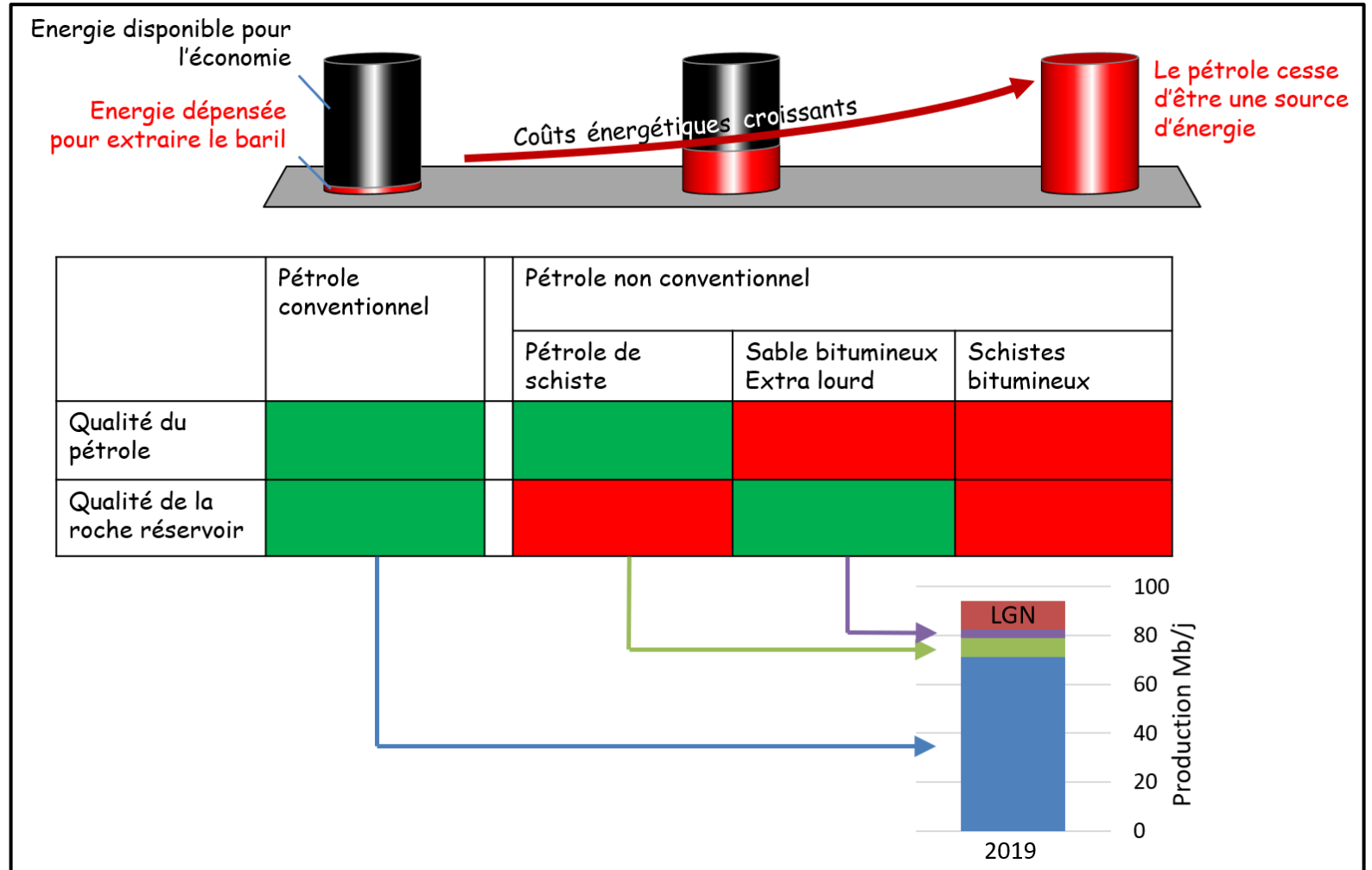
**Production mondiale 2019 : 5000 Mm3/an ou 100 Mb/j ou 1000 b/s**

# Types de pétrole et coût d'extraction

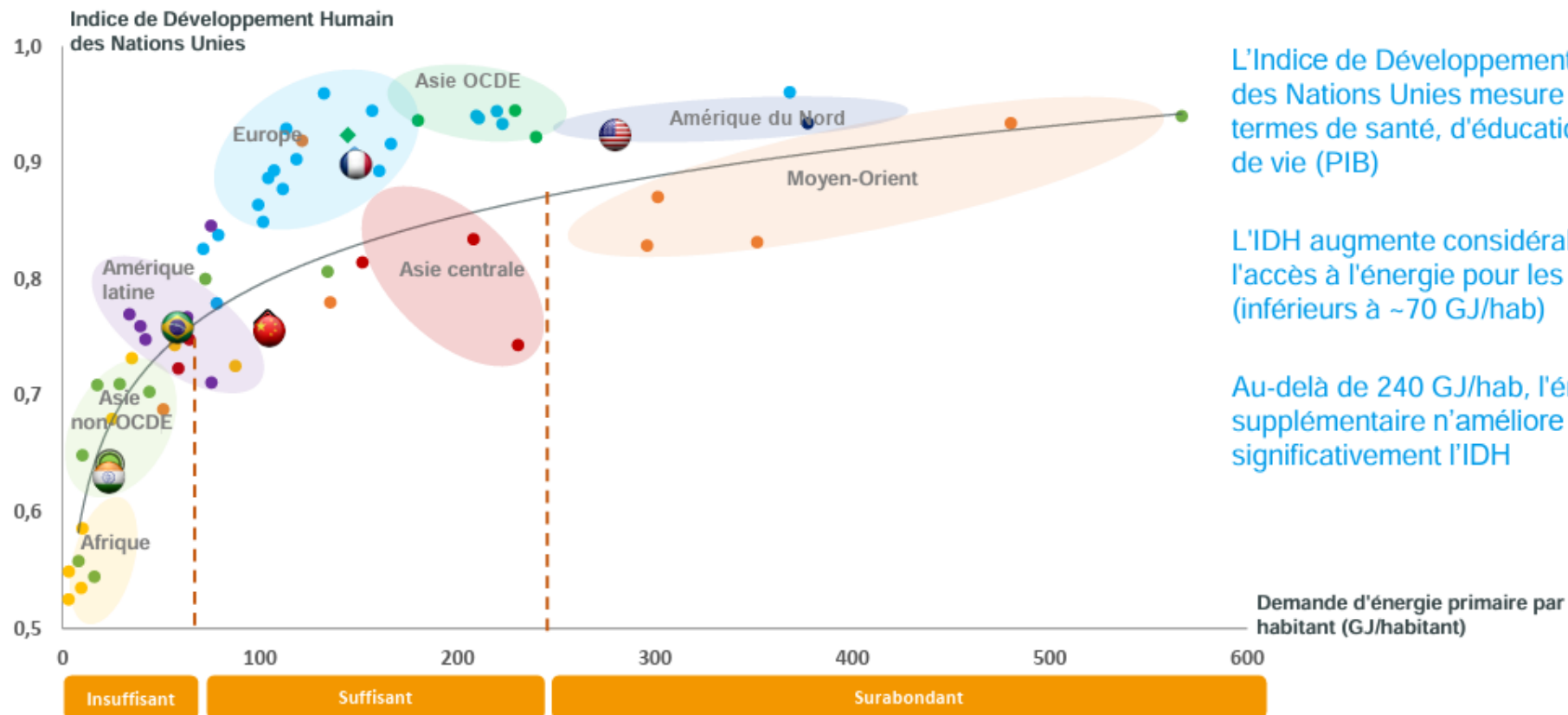
La production pétrolière ne s'arrêtera probablement pas faute de réserves mais du fait de son coût économique et énergétique

## Indice EROEI : Energy Return on Energy Invested

Ce dernier est très dépendant de la nature du pétrole et du réservoir naturel dans lequel il se trouve



# Accès à l'énergie et développement humain



L'Indice de Développement Humain (IDH) des Nations Unies mesure le bien-être en termes de santé, d'éducation et de niveau de vie (PIB)

L'IDH augmente considérablement avec l'accès à l'énergie pour les faibles niveaux (inférieurs à ~70 GJ/hab)

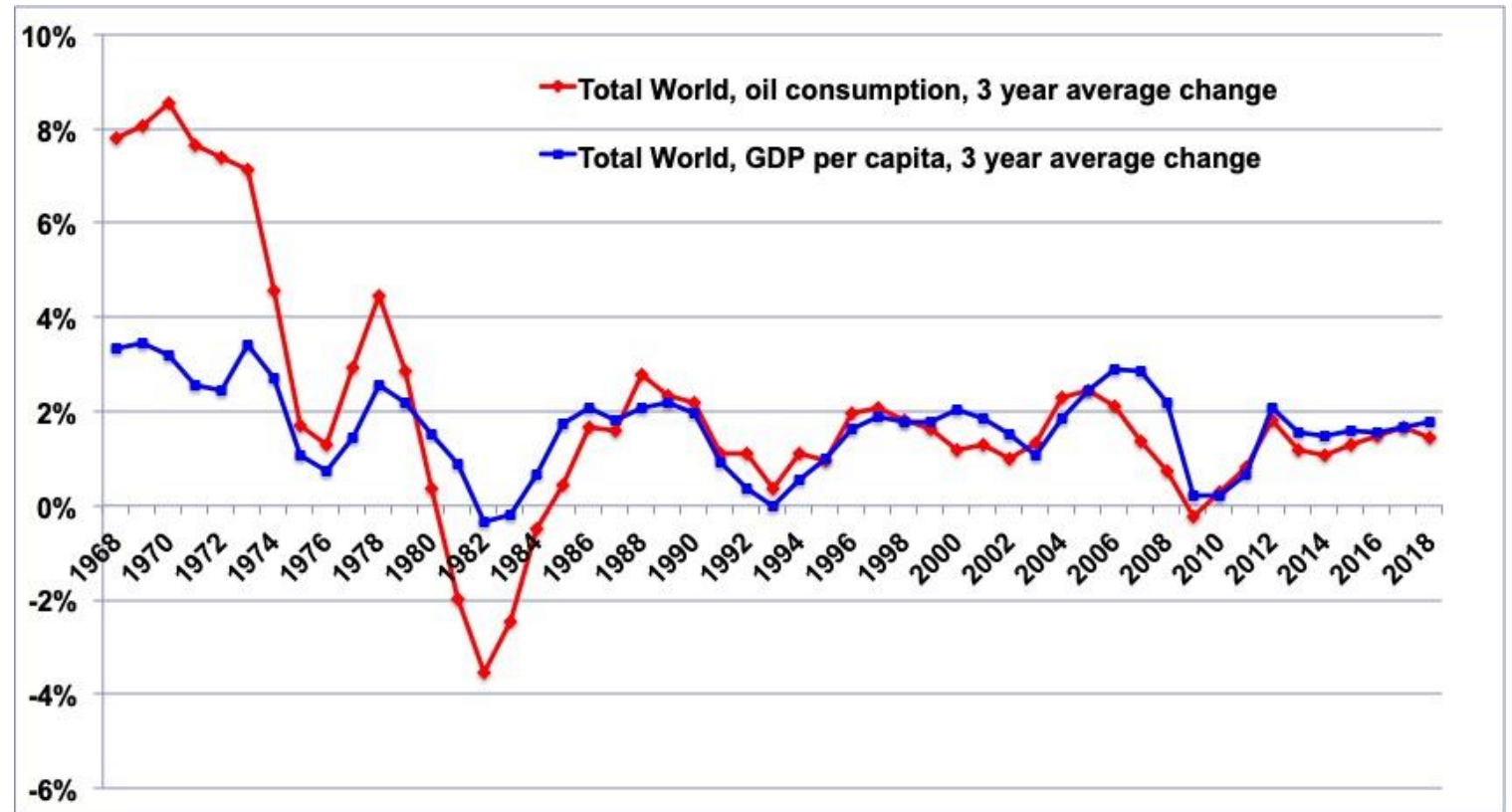
Au-delà de 240 GJ/hab, l'énergie supplémentaire n'améliore pas significativement l'IDH

**Aujourd'hui, environ 4,5 milliards de personnes ont un accès insuffisant à l'énergie (moins de ~70 GJ/habitant)**

# Pétrole et richesse par habitant ; une extraordinaire corrélation

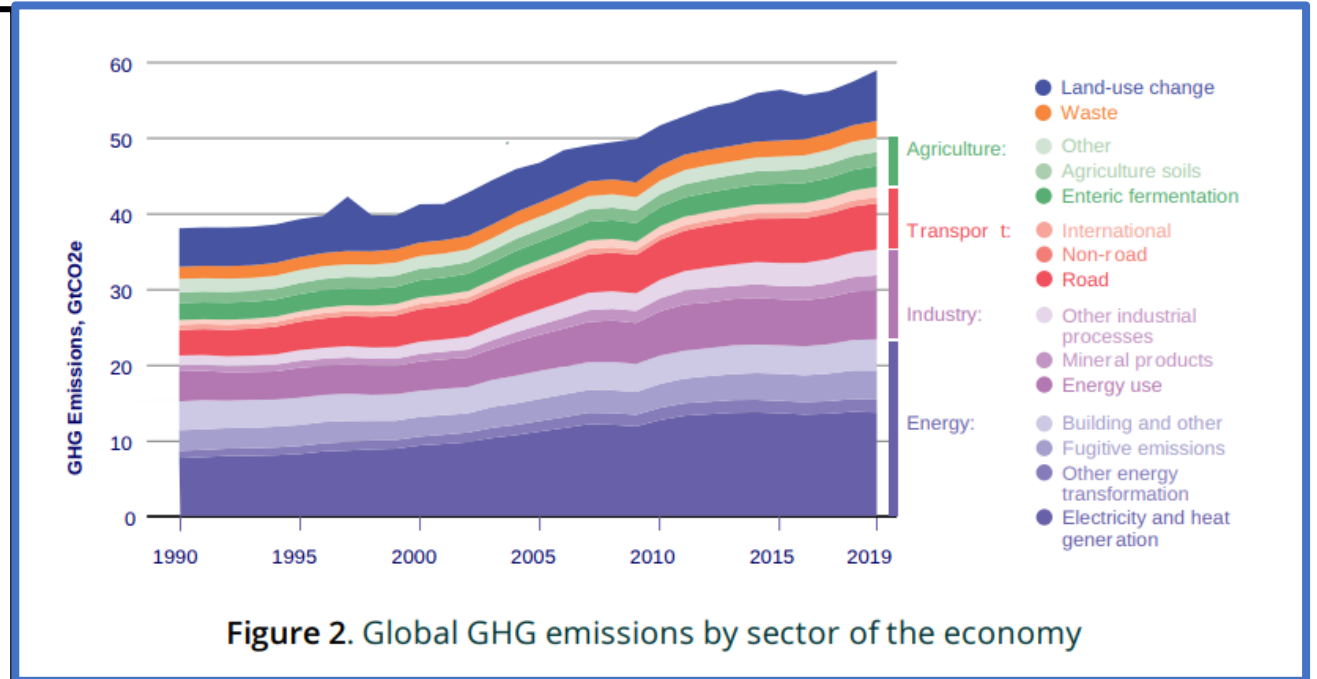
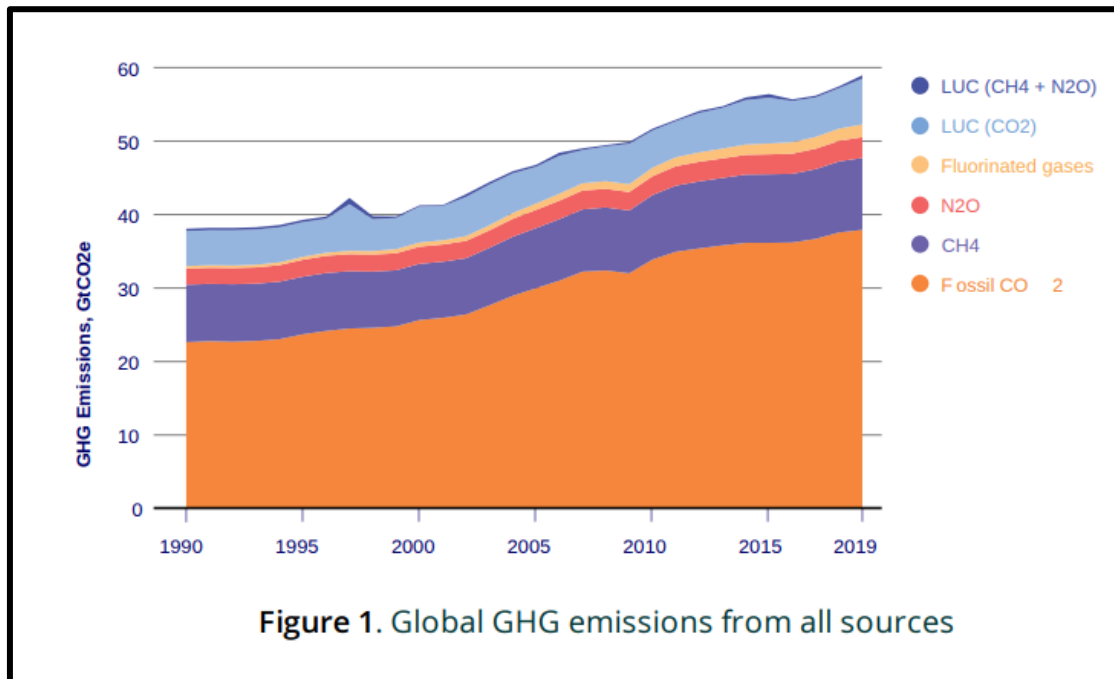
La corrélation du sens de la variation est parfaite, et celle de l'amplitude presque parfaite avec un fait essentiel : **c'est la variation de la consommation de pétrole qui précède celle du PIB depuis 1972.**

**Le pétrole et plus largement les énergies sont l'alimentation du développement humain**



# Les émissions de GES et énergies fossiles : une extraordinaire corrélation ...aussi !

d'après : <https://dieselnet.com/news/2020/12unep.php>



## Production d'énergie et émissions de GES :

Charbon : 1060 g/kWh- Pétrole : 760 g/kWh- Gaz : 450 g/kWh-

Géothermie : 30 g/kWh- Hydro et Eolien : 10 g/kWh- Nucléaire : 7 g/kWh

# Les émissions directes et indirectes de CO2

**Le CO2 n'est pas un polluant et est nécessaire à la vie** ; si sa concentration était nulle, la température moyenne de la planète serait de  $-20\text{ °C}$  et la photosynthèse serait impossible ; mais son augmentation et sa concentration actuelle (420 ppm) entraîne un effet de serre **d'où une augmentation des températures beaucoup trop forte et rapide** ,

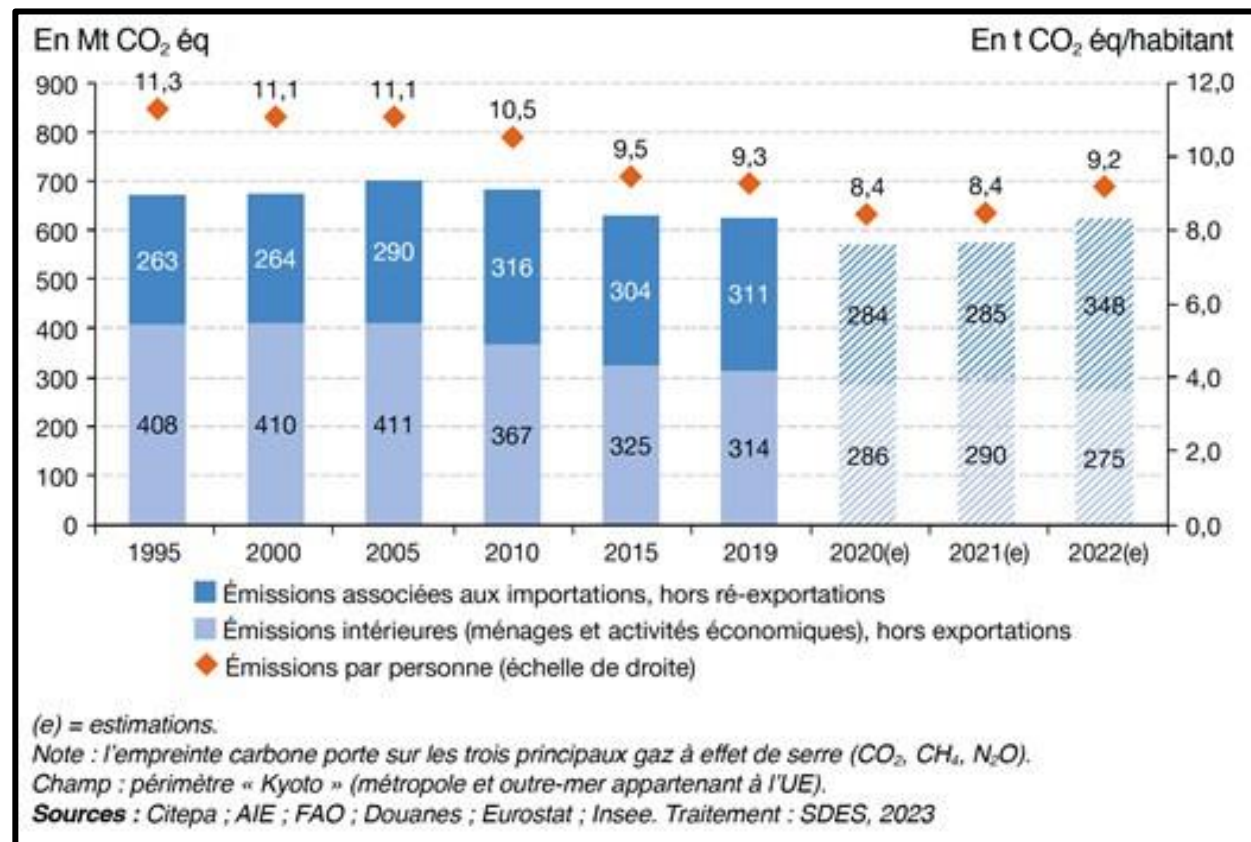
Les 5 principaux secteurs avec émissions de CO2 anthropique dans le monde sont :

- **La production d'électricité et de chaleur (43%)** à partir d'énergies fossiles (charbon ou gaz)
- **Le transport (20 %)** et notamment les transports routiers (automobile en particulier) responsables d'une grande quantité d'émissions directes (10 %) et d'une bonne partie des émissions indirectes de plusieurs industries (chimie, métaux, plastiques, énergies..)
- **L'industrie (16 %)**
- **Le bâtiment (8%)** , émissions directes (par la consommation énergétique) mais aussi aux émissions indirectes des industries des matériaux.
- **L'agriculture**, en particulier l'élevage et la riziculture, environ 3% du CO2 mondial en émissions directes, et contribue à la déforestation (diminution des puits de carbone),

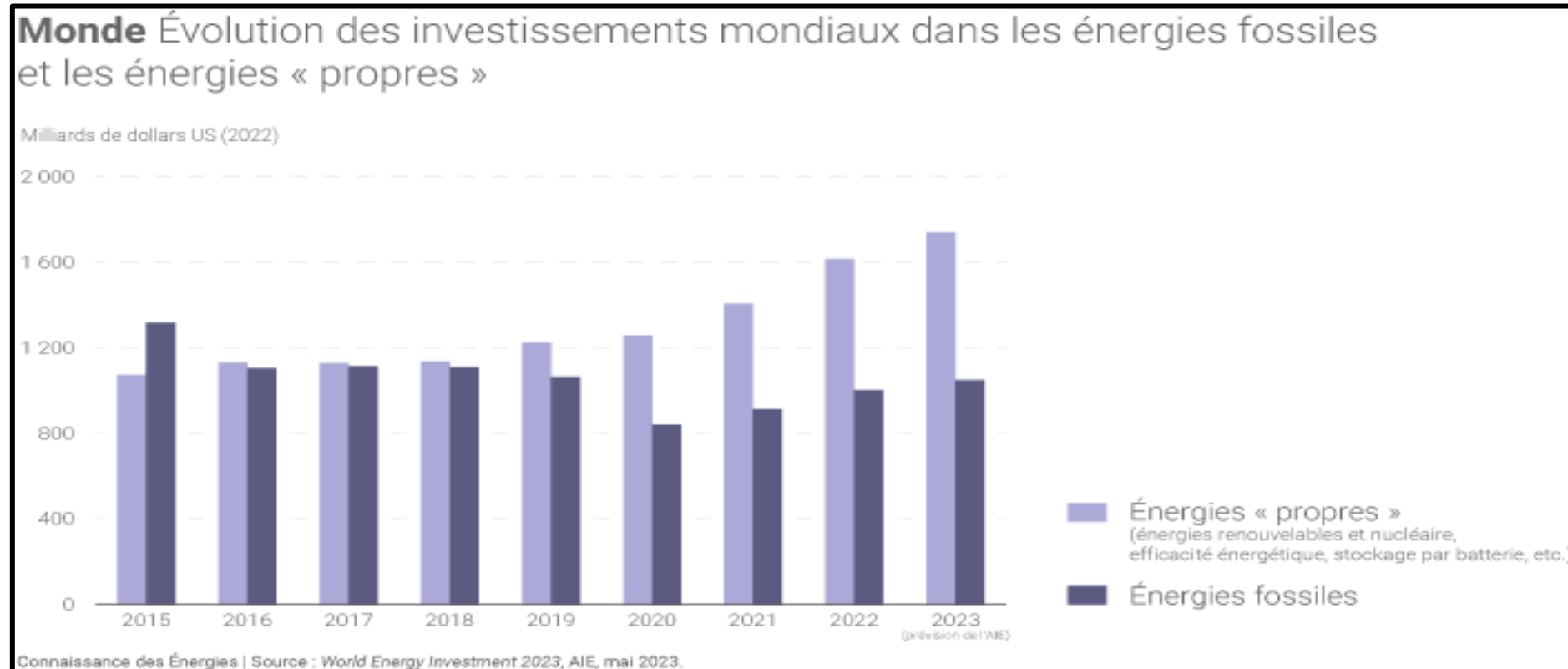
# L'empreinte carbone d'un français

En 2022, les émissions de GES liées aux importations sont supérieures à toutes celles émises en France: déficit du commerce extérieur avec pays à forte intensité d'émissions (Chine) :

**la décarbonation doit être mondiale !**

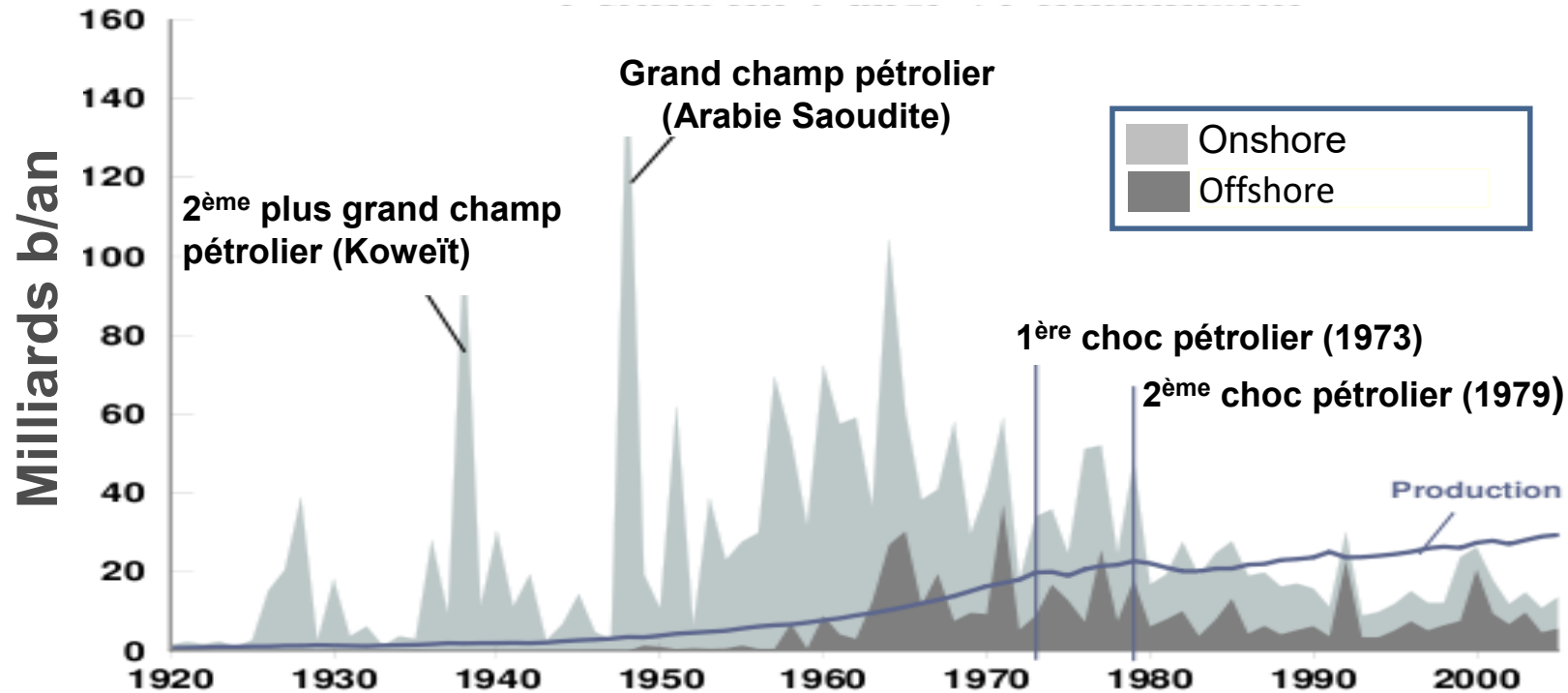


# Evolution des investissements dans les fossiles et d'énergies renouvelables : le pivot de 2018-2019 : pourquoi ? La demande



# Et si la production s'arrêtait d'elle-même ? Pourquoi ? L'offre

DECOUVERTES ET PRODUCTION MONDIALES D'HYDROCARBURES



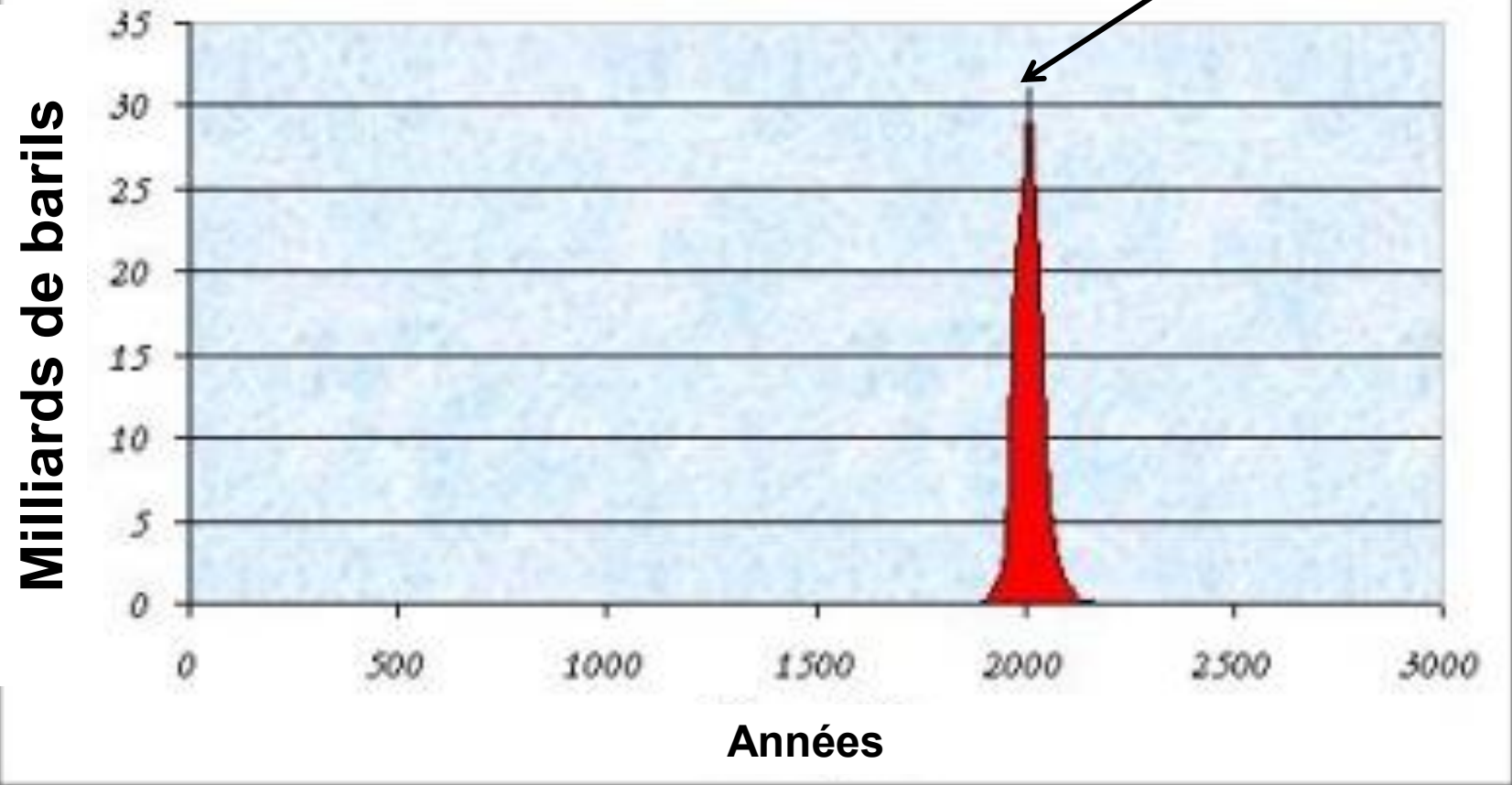
Source: IHS Energy 2006

Offshore

◀ Historique des découvertes et production de pétroles ▶

# L'âge du pétrole

# 100 Mb/j



1baril de pétrole (b) = 159 litres  
1b/j # 50 t/an

D'après Christian Gueritte  
TPA-2024

# Plan de la présentation

- 1- Les énergies et leur évolution au XXI ème siècle
- 2 - L'emprise du pétrole sur l'économie globale ?
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans fossiles ?
- 4- Conclusions : quels chemins pour la TE : est-ce possible ?

# Un monde sans pétrole (et sans charbon)?

**Les substituts sans modifications d'usage** : CCUS, gaz, schistes bitumineux, e-fuels, biofuels, recyclage des plastiques, efficacité énergétique (pompes à chaleur, chaleur fatale)

**Les substituts ou adaptations avec modifications des usages** : **Electricité/batteries , géothermie, hydrogène**

**La sobriété ou la décroissance** :

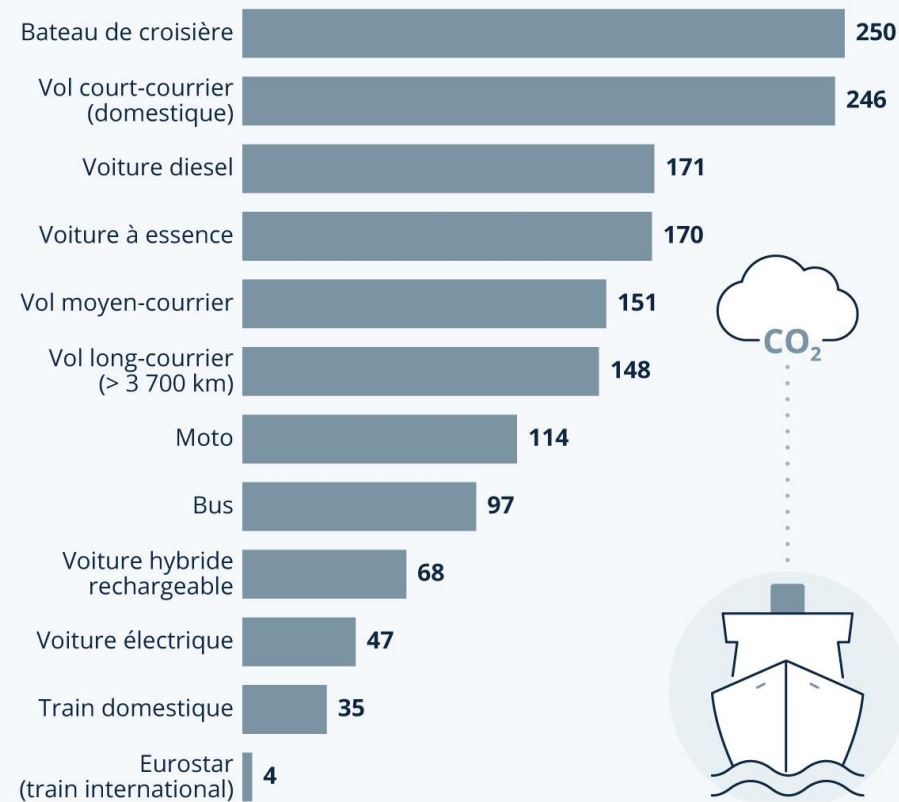
difficile à proposer dans les pays du sud les plus....pauvres et peuplés et dans les pays du nord les plus... addicts

**Mais le plus efficace c'est de se débarrasser d'abord du...charbon !**

Les transports :  
la question  
majeure à  
résoudre

## L'empreinte carbone du transport de voyageurs

Émissions de gaz à effet de serre des modes de transport, en grammes d'équivalent CO<sub>2</sub> par passager-kilomètre



Sources : OWID, ICCT et gouvernement britannique via Visual Capitalist



# Les transports : Comment s'extraire du pétrole ? Ou comment s'extraire de l'automobile thermique

...

**Monde : au 01/01/2022**

**1 milliard de voitures particulières**

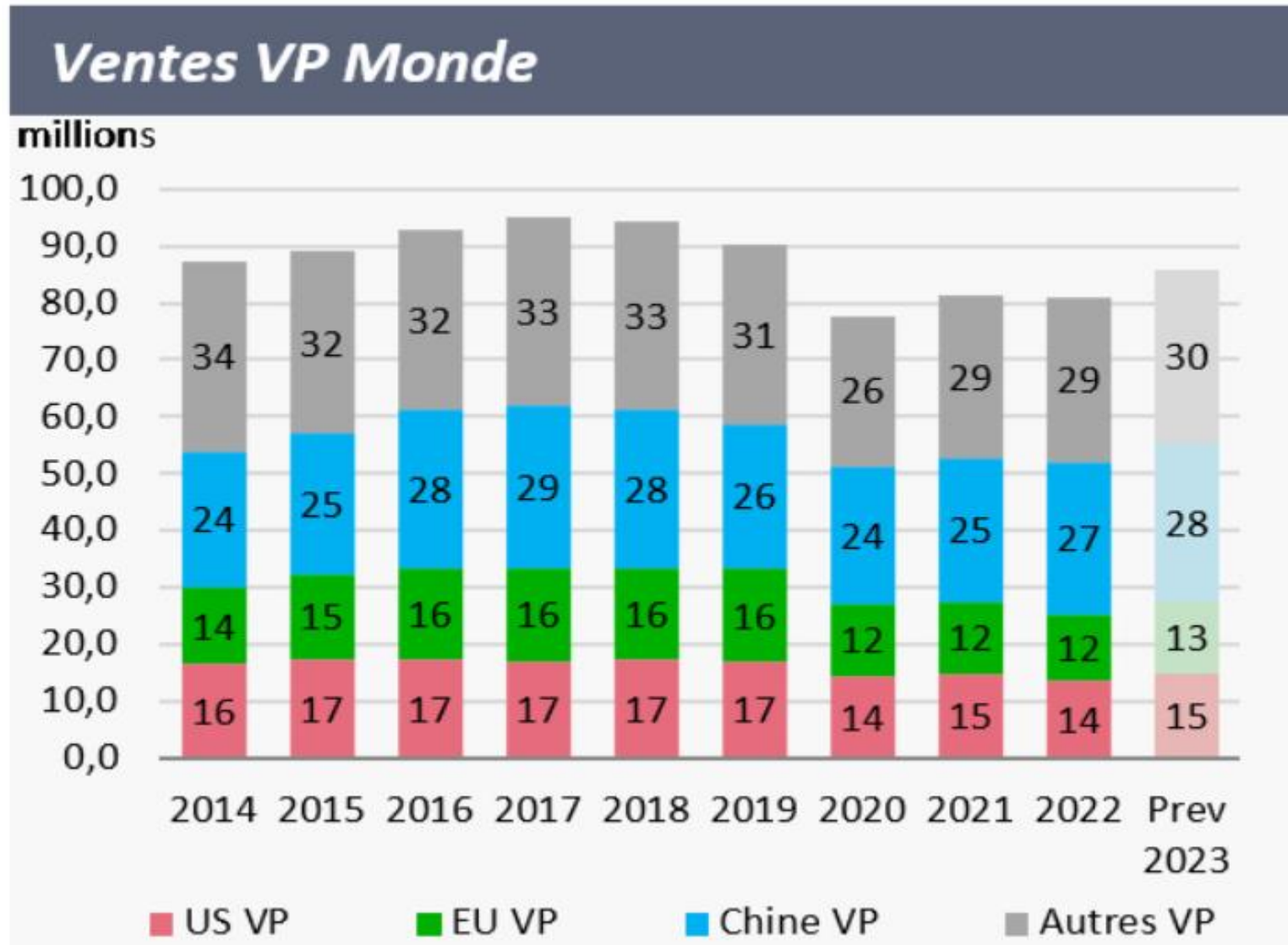
**400 millions de véhicules utilitaires**

Consommation mondiale de carburants routiers : 6 milliards de litres/jour

Consommation française : 45 Milliards de litres/an en 2019,

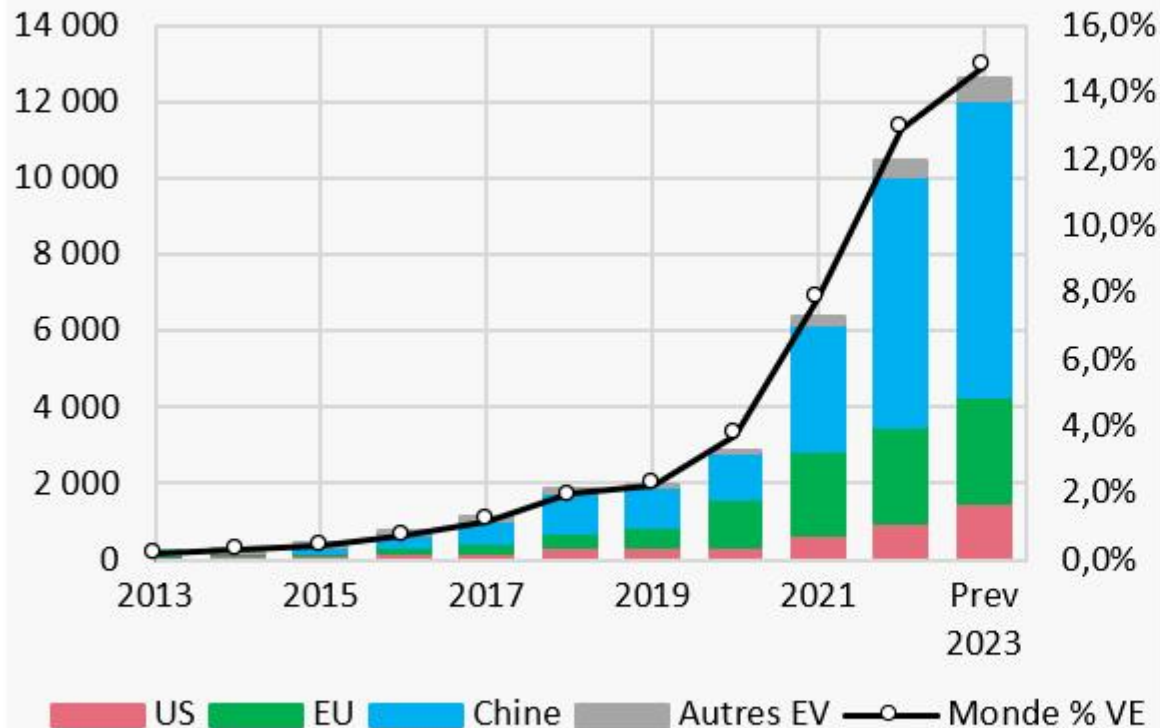
Pour remplacer en France par une flotte de VE il faudrait : 140 TWh soit 30 % de la consommation électrique française 2024 (VT = 6,5 l/100 km VE = 20 kWh/100 km)

# Substitution/Frugalité : stagnation des ventes mondiales d'automobiles ou un *peak* civilisationnel en 2017-2018 ?

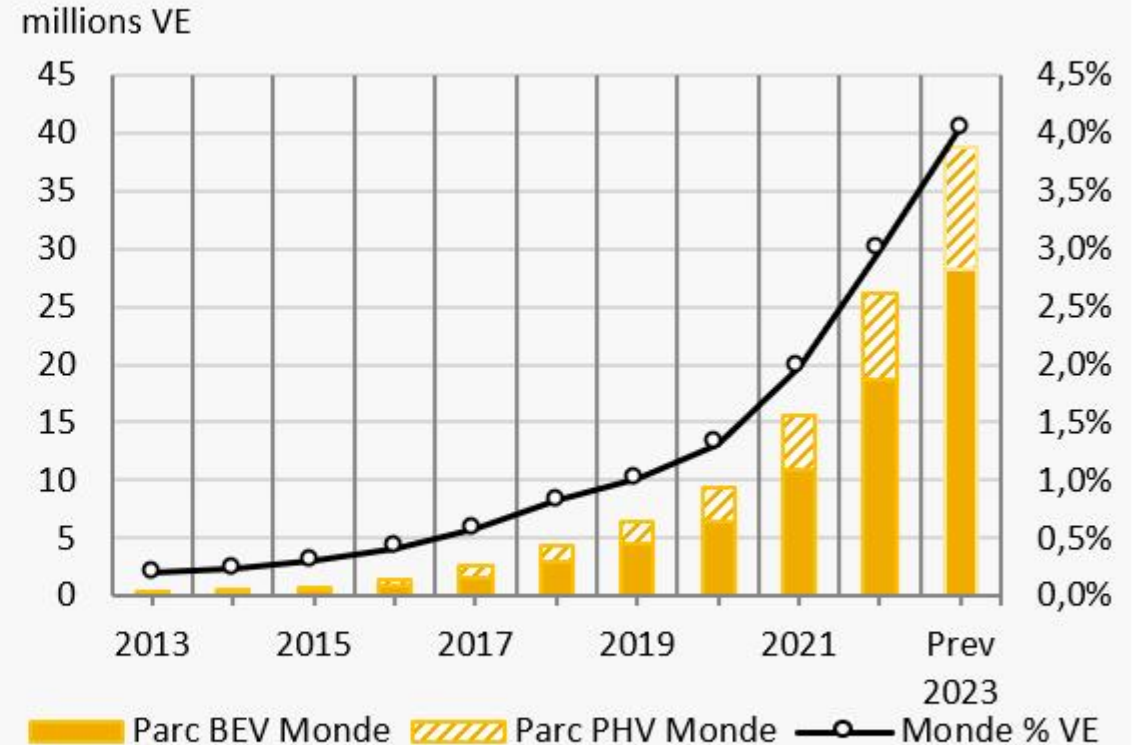


# Une deuxième solution ? L'adaptation : les véhicules électriques (VE) : Chine + Europe

**Ventes VE (BEV+PHEV en milliers) et taux VE**



**Parc VE Monde**

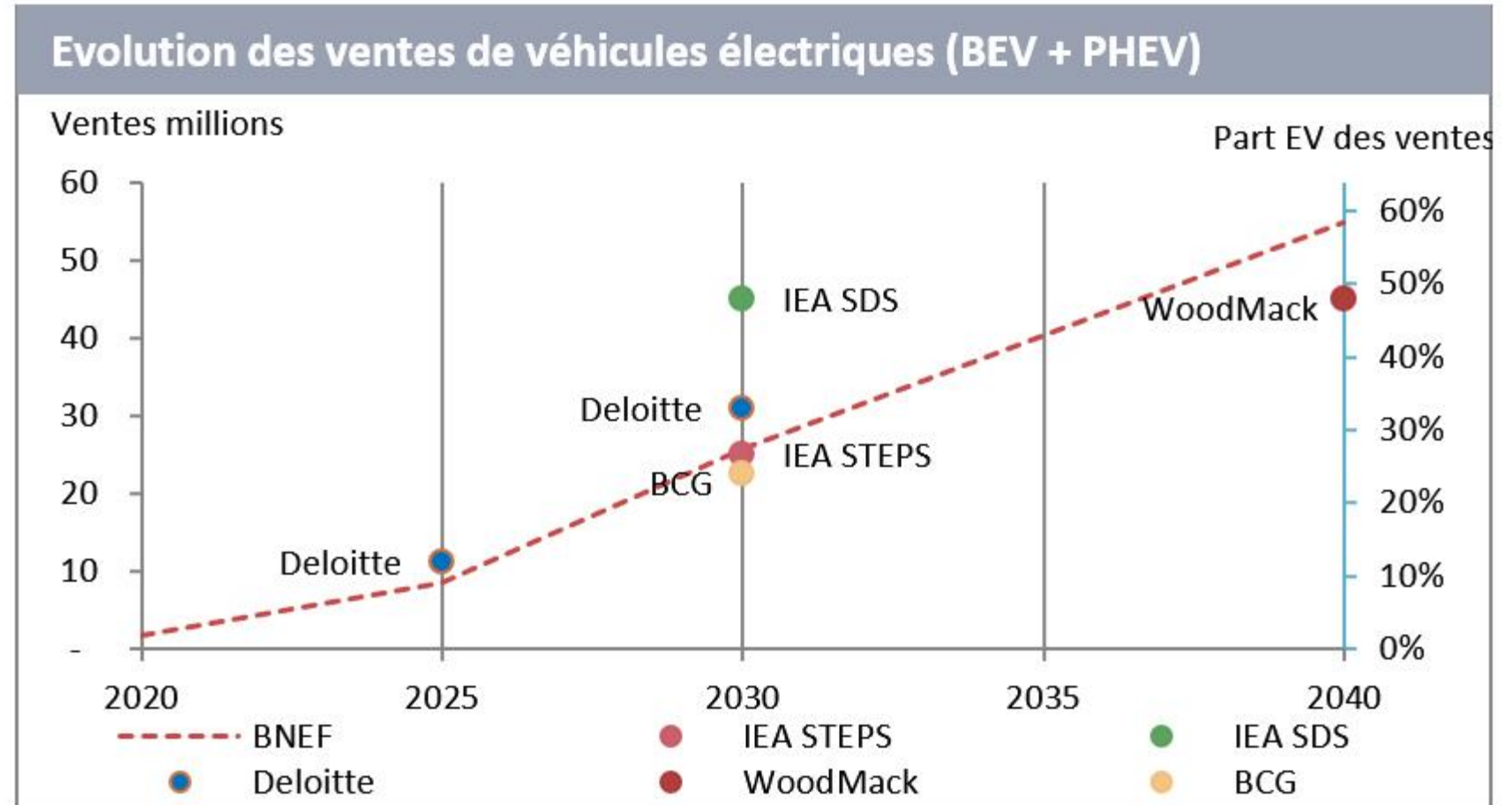


Source : Marklines, IFPEN

Battery Electric Vehicles and Plug-Hybrid Electric Vehicles

# Les voitures électriques : et si cela continuait ? Evolution mondiale (Europe 100 % en 2035)

Un modèle à promouvoir car une nette amélioration par rapport à la voiture thermique en termes d'émissions (en France, pas en Allemagne), de souveraineté mais veiller aux poids,,,

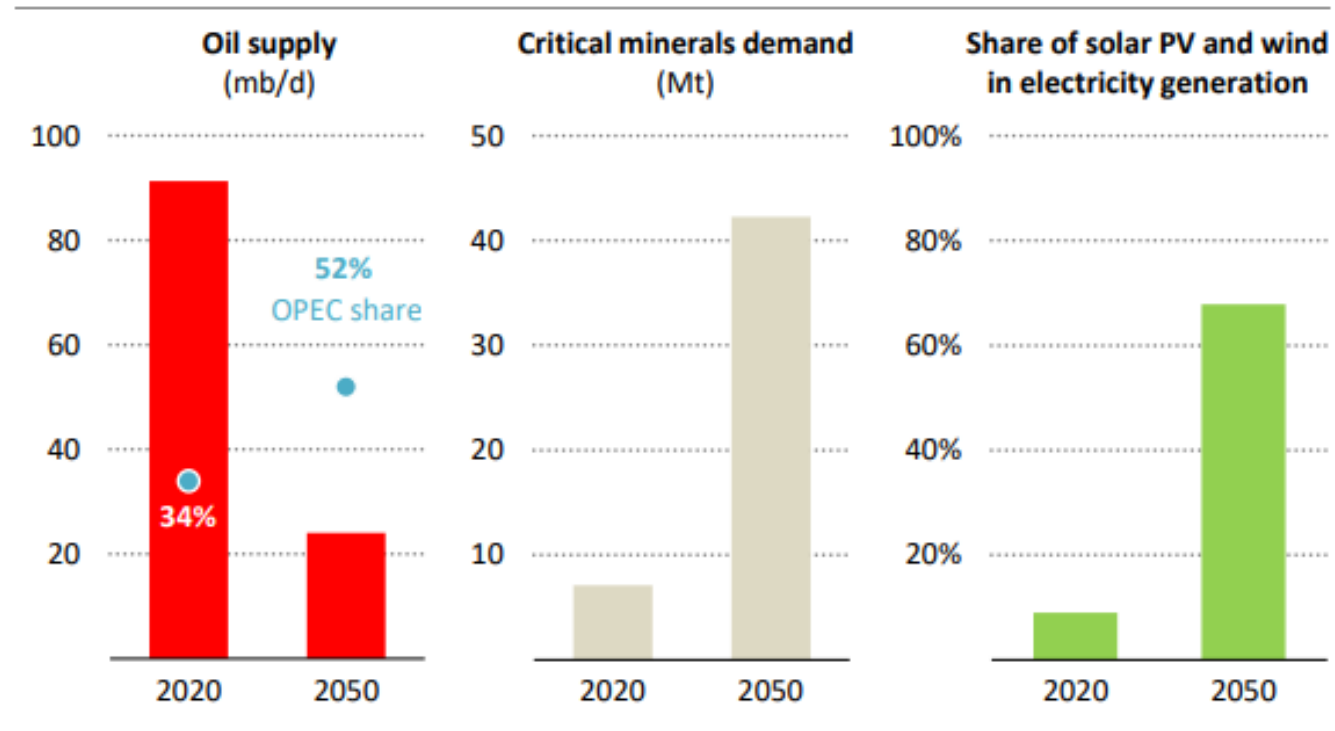


Source : AIE, BG, BNEF, Deloitte, WoodMack, IPFEN

# S'extraire du pétrole = extraire des métaux

## « No metals, no Transition »

Global energy security indicators in the net zero pathway



Note: mb/d = million barrels per day; Mt = million tonnes.

# S'extraire du pétrole = extraire des métaux

À côté du lithium, du cobalt, du nickel et du graphite, **le cuivre (Doctor Copper) aura un rôle clef dans la TE :**

- 3 fois plus de Cu dans une voiture électrique (= 60 à 90 kg/voiture)
- 5 à 20 t de Cu pour relier une éolienne moyenne de 2MW

Production 2022 : 20MT et recyclage : 8 MT (40% de la prod)

Estimation 2032 : 40 MT de consommation : 30MT de prod et 10 MT de recyclage

**Réserves mondiales : 800 Mt**

20 G\$ d'investissements annuels mais développements freinés/bloqués par difficultés politiques, sociétales, **environnementales** (eau/espace) et techniques (teneur)



# Les métaux de l'électromobilité

**Le Lithium** – Production 2020 : 100 000t/an dans 13 mines actuelles- Besoin \*6 en 10 ans- 6 à 8 mines nouvelles par an qui apportent 45000 t/a chaque année,

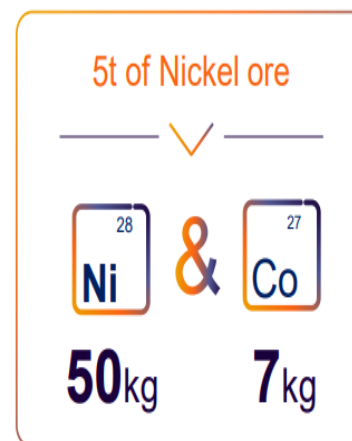
**Le graphite naturel** : 70 mines actuelles (Chine et Afrique de l'Est) -100 mines supplémentaires en 10 ans à 56 000t/a

**Le graphite synthétique** (fait au charbon) : 54 usines supplémentaires en 10 ans à 57000 t/a sauf si remplacement par silicium (= charbon aussi)

**Le nickel** : 72 mines supplémentaires en 10 ans à 420000 t/a

**Le cobalt** : 30 (si recyclage) à 60 mines nouvelles à 5000 t/a

## Quantités de métaux par véhicule électrique



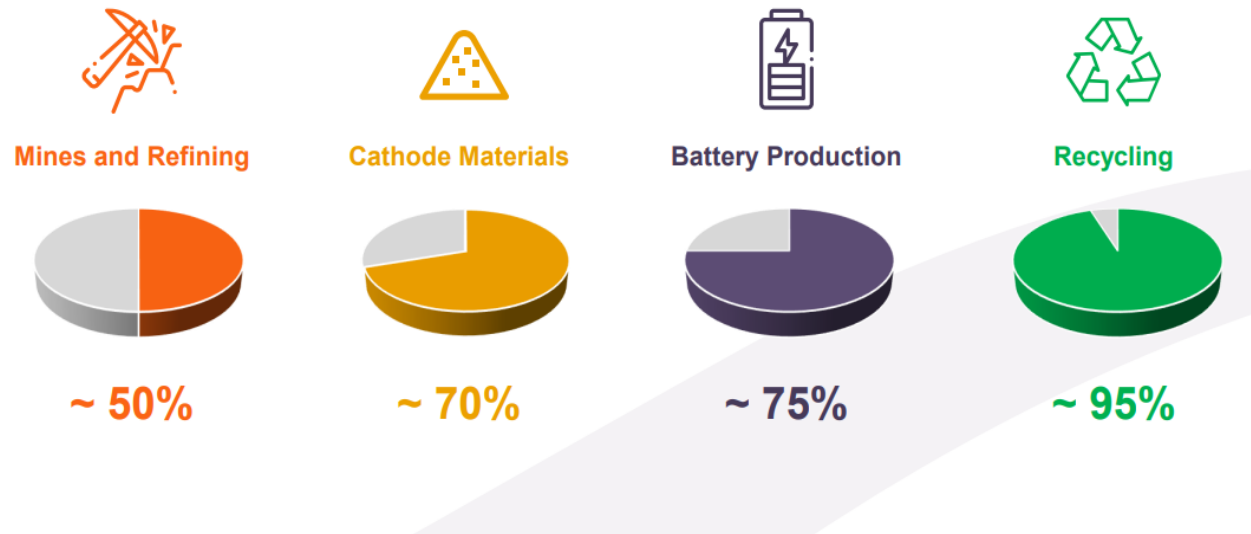
\* base batterie NMC811



# Comment extraire les métaux ? = comment s'extraire de Chine ?

## La Chine a pris de l'avance...

Part de la demande couverte par des projets Chinois



Décision EU – pour de bonnes raisons – **le passage à l'électrique**. (100 % ventes en 2035): Exit le moteur à explosion beaucoup plus complexe)

-- **bonjour les batteries, qui concentrent 50 % de la valeur d'un VE !**

**Quelle souveraineté ? La dépendance à la Chine n'est que sur le graphite (et l'Afrique peut remplacer) et le traitement des minerais que l'Europe peut faire,**

# Possible en Europe ? Géologiquement oui mais quelle acceptabilité sociétale ?

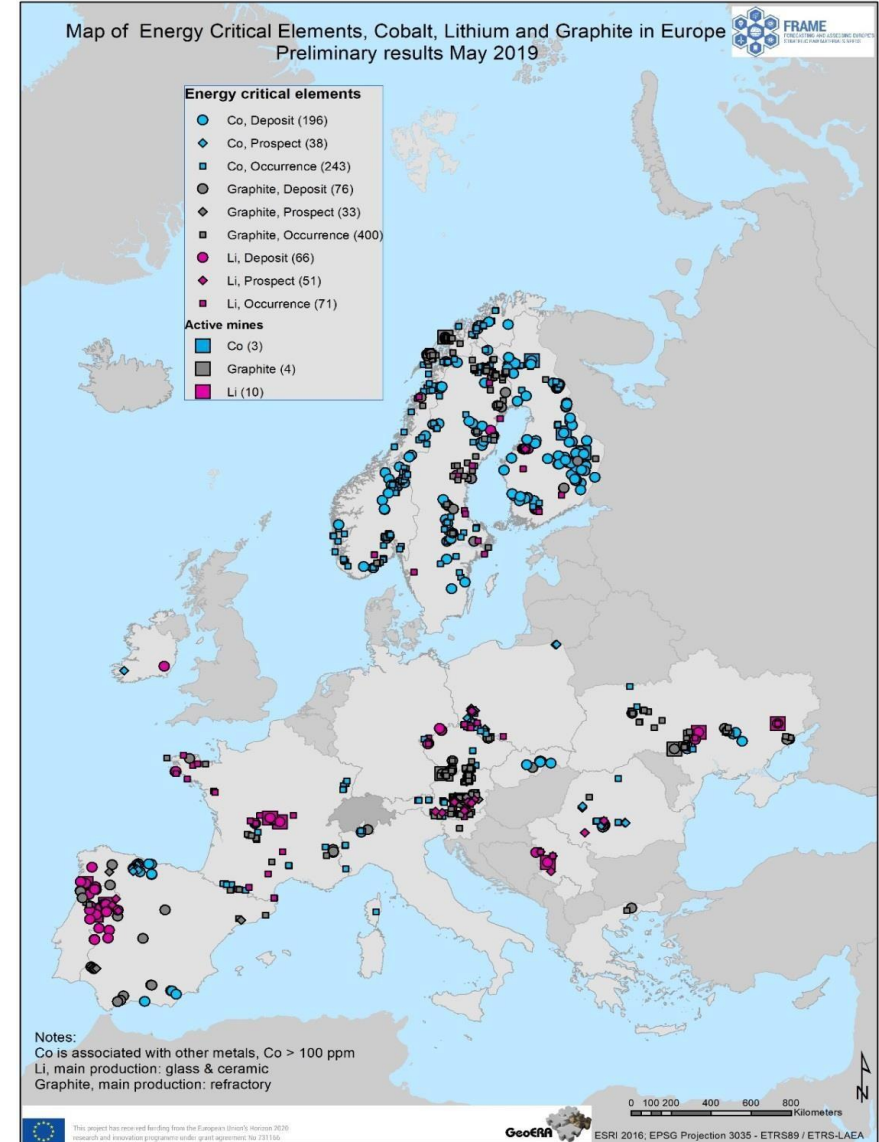
Les gisements potentiels de métaux pour l'électromobilité (batteries) et énergies renouvelables  
**Graphite/Lithium/Cobalt/Cuivre**

**L'autre gisement potentiel : le recyclage**

40 % seulement sur les DEEE

100 millions de téléphones dans les tiroirs français

|              | Eau (M <sup>3</sup> /tonne) |           |
|--------------|-----------------------------|-----------|
|              | Déchets                     | Minerai   |
| Aluminium    | 12-16                       | 50-600    |
| Cuivre       | 15                          | 40-200    |
| Zinc         | 20                          | 75-100    |
| Nickel       | 20                          | 60-320    |
| Cobalt       | 30-100                      | 40-2000   |
| Terres rares | 250-1250                    | 1275-1800 |

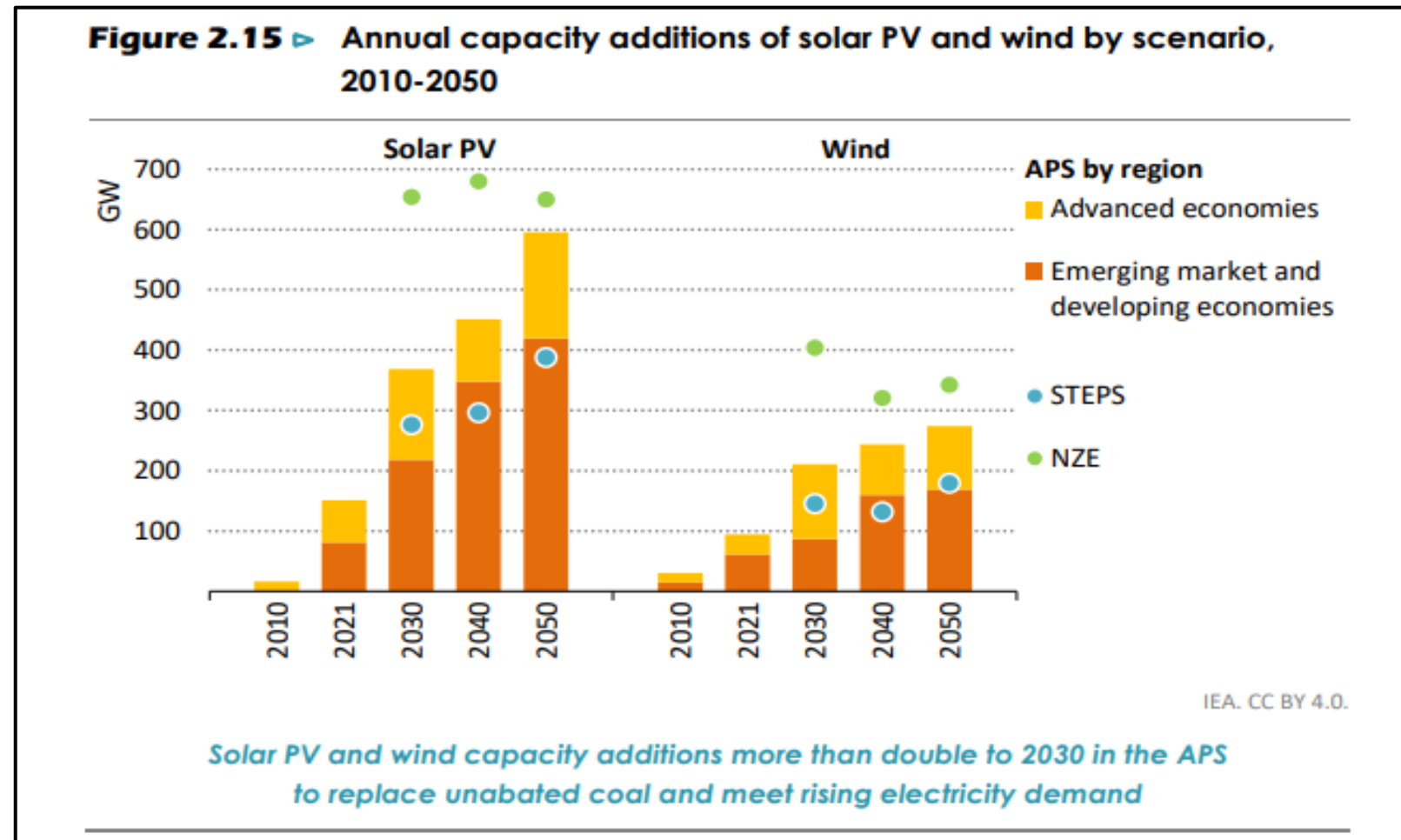


EnR : et la suite ? Brillante ...pour le solaire si stabilisation des réseaux électriques sans black-out (**production=consommation**)

**2010-2021: un saut quantique** dans les installations d'EnR mondiales  
**Passées de 120 à 340 GW** (soit 200 centrales atomiques)

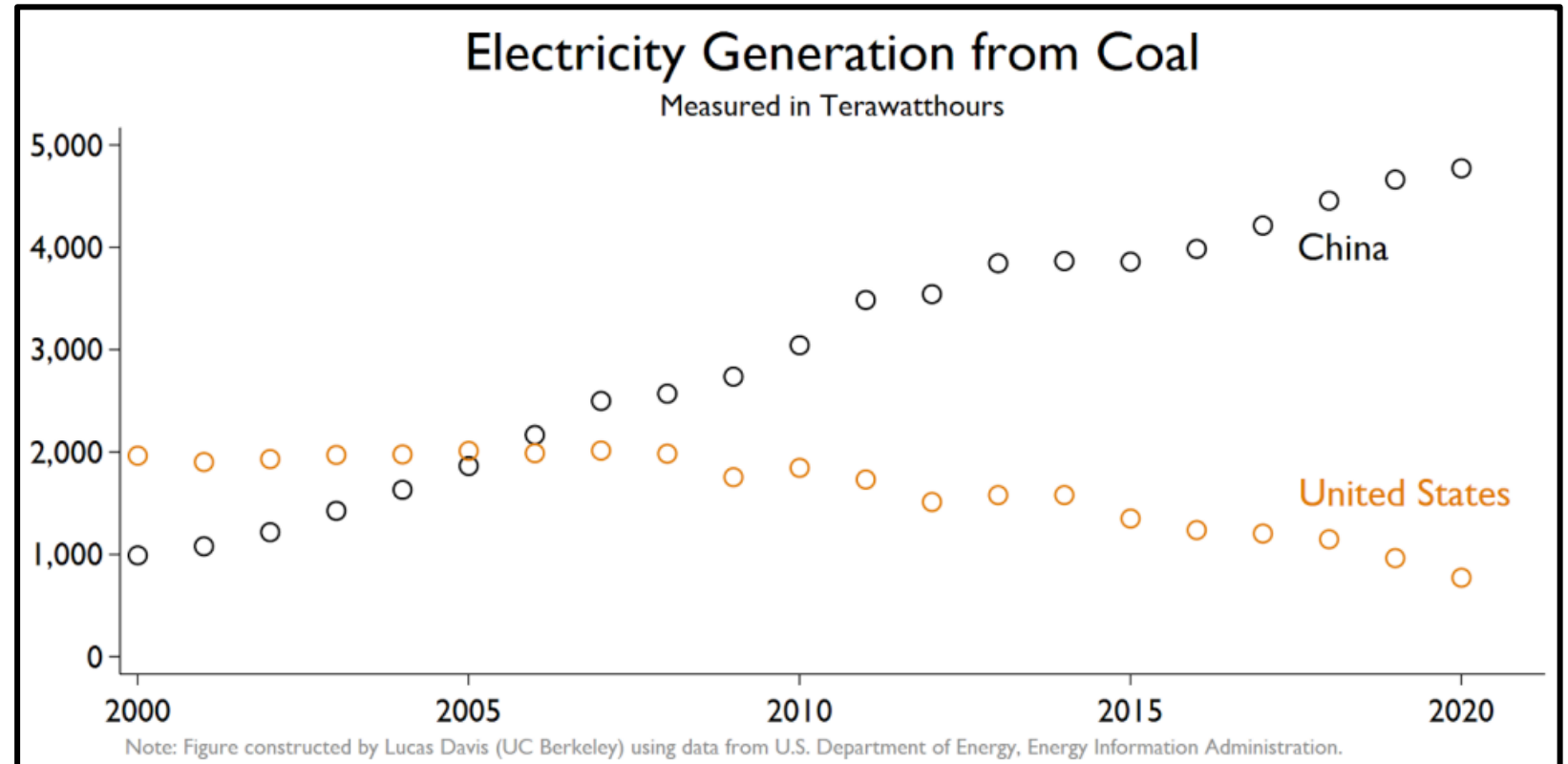
Pour le moment : une affaire essentiellement chinoise !  
Et solaire ! mais la France aussi!

**Le solaire chinois c'est 50 % du solaire mondial**



Oui à la fée électricité ! Mais regarder ce qu'il y a derrière !

*Pour son électricité la Chine construit une usine électrique à charbon **chaque semaine** et chacune aura une **durée de vie de...35 ans !***  
*Les USA sortent du **charbon** (au profit du gaz) en avance sur leur proposition*



# Oui à l'électricité renouvelable ? Regarder ce qu'il y a derrière

Une éolienne de moyenne importance (2 MW) :

1000 T de béton, associées à 600 T de CO<sub>2</sub>

300 T d'acier associées à 600 T de CO<sub>2</sub>

25 T de pétrole (plastiques, composites)

10 T de cuivre

et tant d'autres métaux !



# L'empreinte surfacique ; la seconde question à résoudre des EnR

| Type Energie | Puissance en kW/m2 | Production annuelle kWh/m2/an |
|--------------|--------------------|-------------------------------|
| Nucléaire    | 2                  | 12800                         |
| Gaz          | 3                  | 14000                         |
| Hydro        | 0,1                | 240                           |
| Solaire      | 0,1                | 150                           |
| Eolien       | 0,1                | 250                           |

Comment arbitrer /optimiser ?  
Augmenter la puissance et l'efficacité mais  
**Utiliser les friches industrielles et les toits**  
Favoriser l'offshore pour l'éolien ?

# L'énergie électrique nucléaire (fission)

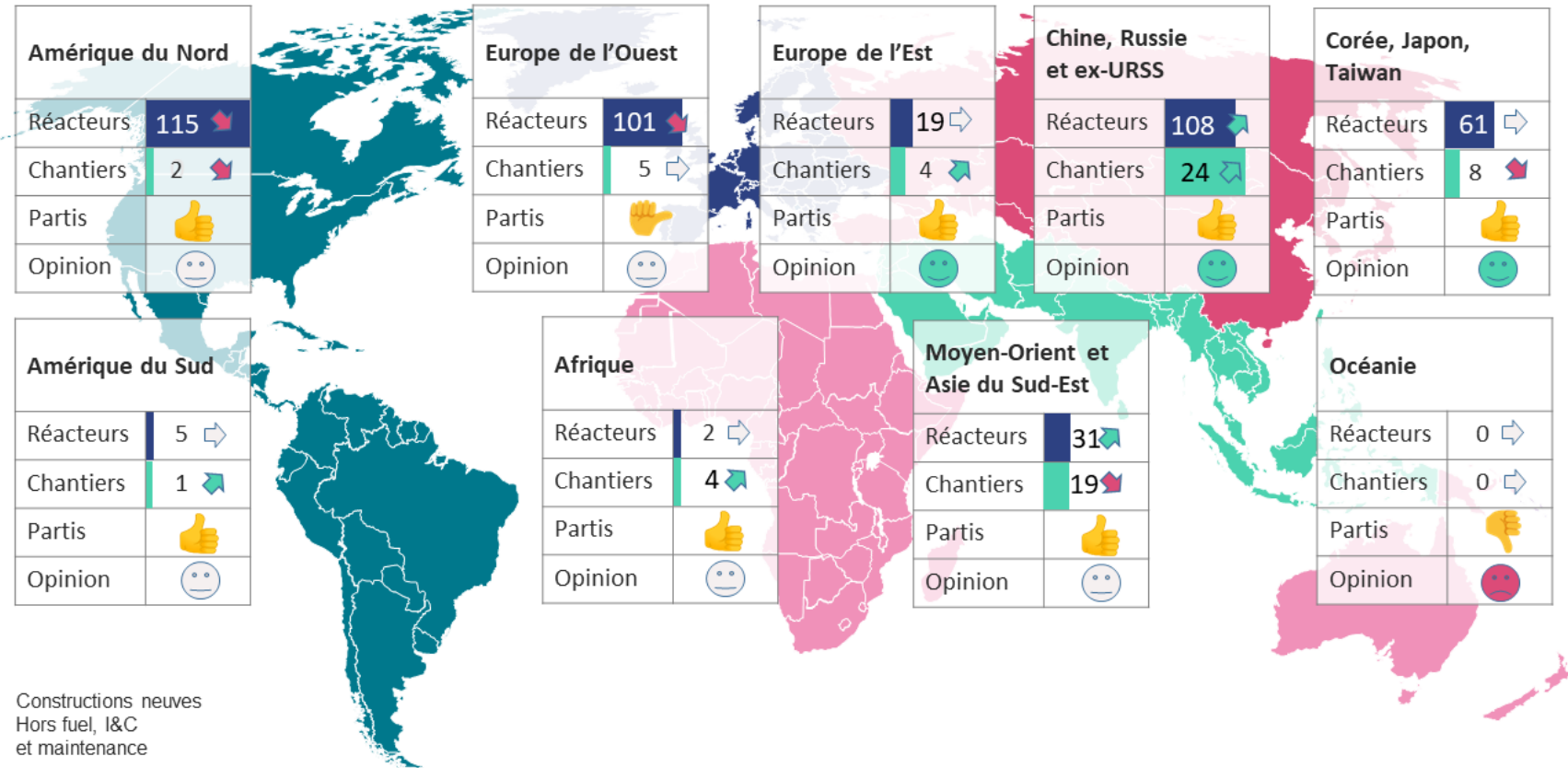
10 % de l'électricité mondiale-  
**33 pays- 436 centrales**

Arrêt depuis Fukushima  
(2011) mais en forte reprise  
depuis 2020 :

-57 centrales en construction  
dont 16 en Chine

-130 centrales en phase  
d'études

La voie nouvelle des SMR  
(small modular reactors) de  
100 à 300 MW de type RNR  
(Réacteur à neutrons rapides):  
Extension du marché,  
réduction des couts,  
réduction forte des déchets  
qui deviennent combustibles !



# La géothermie : ubiquiste ; l'oubliée de la TE !

## 1-Très basse température

Moins de 200 m et de 20 °C-

Conduction-

Boucles fermées (ouvertes)

Pompes à chaleur

**Potentiel France: 100 TWh/y**

## 2-Basse à moyenne température

Moins de 3000 m et 90 °C-

Convection- Aquifères

Boucles ouvertes (ou fermées)

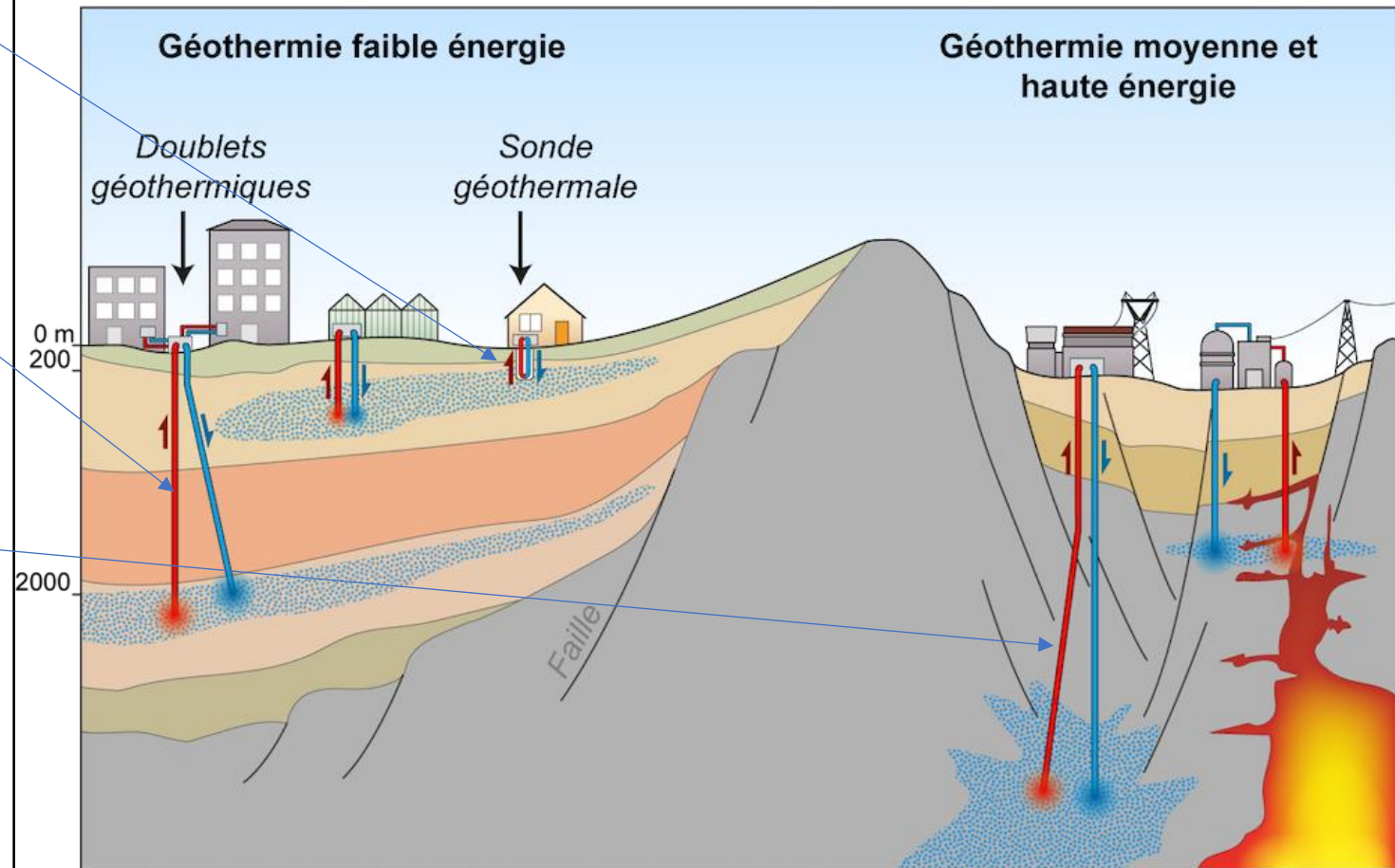
## 3-Haute ou TH température

Plus de 100 °C- vapeur ou liquide,

Chaleur ou électricité

Généralement très profond sauf zones tectoniques actives

(Volcaniques)



# L'hydrogène : mode d'emploi :



En 1874, Jules Verne prédisait dans son roman L'Île mystérieuse, « que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir »,

**Aujourd'hui 95 % de l'hydrogène gris est fait par vapo-réformage du méthane ou du charbon**

$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$  pour une tonne d'Hydrogène ; 11 t de  $\text{CO}_2$  ! C'est 95 % de la production mondiale

**Demain: l'hydrogène vert l'électrolyse de l'eau ?**

$\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2$  c'est énormément d'électricité ( 500 MWh pour 10 t) et beaucoup d'eau (9t pour 1t)

puis PAC (Pile A Combustible) pour retransformer l' $\text{H}_2$  en ...électricité ;

$\text{H}_2$  est un moyen de stockage lorsque la production d'électricité intermittente dépasse la consommation et là où l'eau abondante,

**Après demain , l'hydrogène naturel géologique dit blanc ? une nouvelle économie encore dans les limbes :**

**prochaine conférence CPIE-Côte Basque: 11 octobre 2025**

# Le mauvais rendement de l'électromobilité avec hydrogène et pile à combustible...

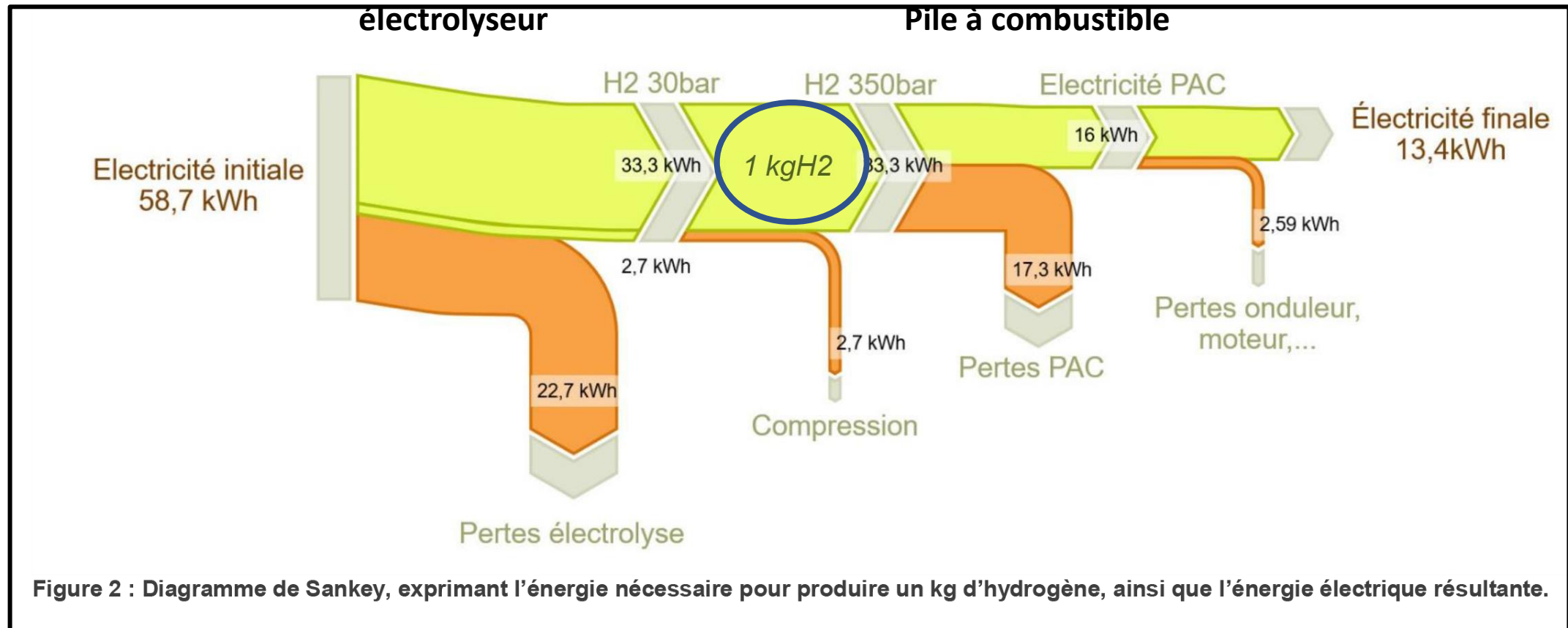


Figure 2 : Diagramme de Sankey, exprimant l'énergie nécessaire pour produire un kg d'hydrogène, ainsi que l'énergie électrique résultante.

# Plan de la présentation

- 1- Les énergies et leur évolution au XXI ème siècle
- 2 - L'emprise du pétrole sur l'économie globale ?
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans fossiles ?
- 4- Conclusions : quels chemins pour la TE : est-ce possible ?

# Le monde énergétique de demain

## De très nombreux scénarios !

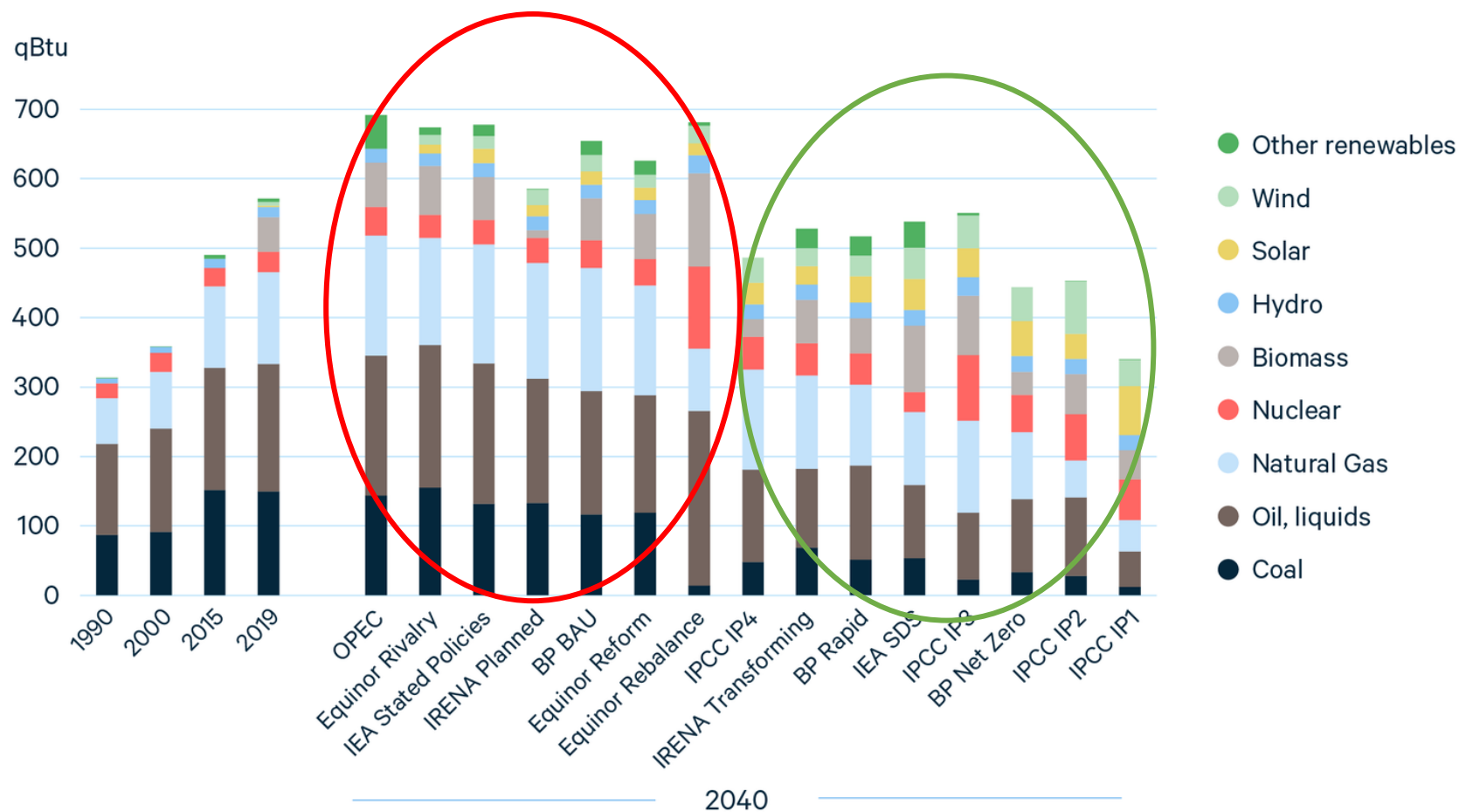
50/50 avec des consommations

**supérieures**

(=proportionnelles à la population) dominées par les fossiles ou ...**inférieures** (sobriété) dominées par le nuk + EnR

Plutôt diminution des fossiles

Forte augmentation nucléaire



Quadrillion de Btu = +/- 1 Exajoule

# Le chemin vers le Net Zero

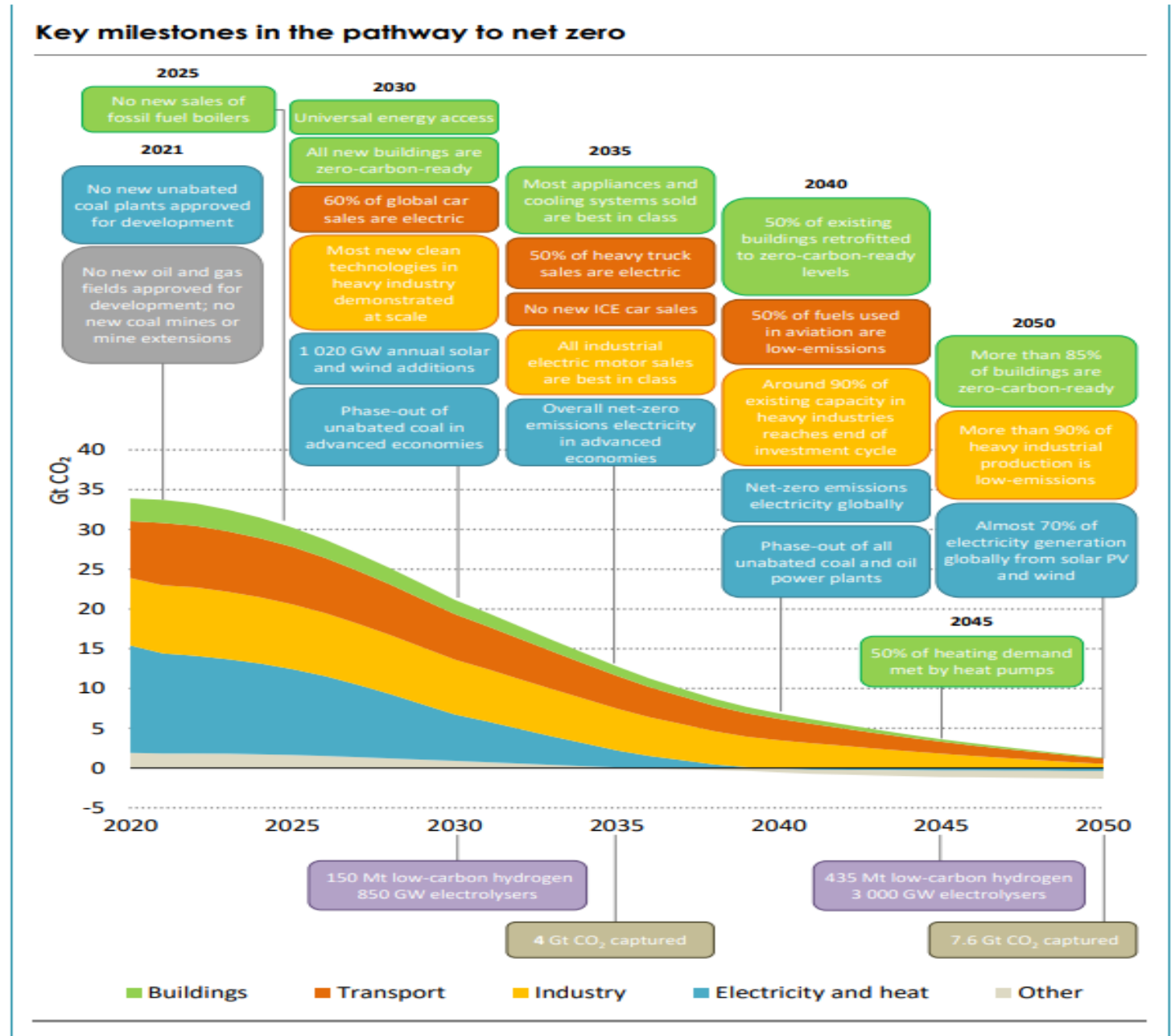
**Objectif mondial : Net zero Emissions en 2050** permettant de

**1-limiter la hausse des températures en 2100 à 1,5°C-2°C**

**2-d'avoir un accès universel à une énergie bon marché**

La quadrature du cercle ?  
Tout en même temps ?

D'après Agence Internationale de l'Énergie



# Les problèmes du Net zero : les réseaux électriques, la prévision de consommation et le stockage de l'énergie (STEP, AGES, Batteries)

## **Alerte de l'AIE octobre 2023:**

- 1500 GW de capacités d'énergies renouvelables non connectées aux réseaux mondiaux fin 2022 soit 5 ans (2022) la capacité installée annuelle et soit 25 fois la totalité du parc nucléaire français...
- Rénover et/ou construire 80 Millions de km de réseau électrique en 10 ans !  
C'est-à-dire la longueur du réseau mondial actuel
- Investissements : 600 G euros/an jusqu'en 2030
- Sinon : 60 GT d'émissions de GES supplémentaires entre 2030 et 2050

# Conclusions : La Transition énergétique

**LONGUE, CHAOTIQUE, DIFFICILE, CHERE, DOULOUREUSE oui**

Car 82 % de l'énergie mondiale vient des fossiles

- 1- la démographie mondiale augmente (de 8 à 10 milliards en 2050/2060)
- 2- une ampleur et une vitesse inégalées : 4 à 5 % du PIB mondial/an pendant 30 ans

1-La précédente transition mondiale (bois +traction animale+ renouvelables) vers les énergies fossiles (charbon +pétrole) s'est faite en 150 ans...avec 1 à 2 milliards d'humains

2-Appauvrissement à court terme certain : emplois inadaptés, inflation, taxes, dévalorisation du capital investi (humain et équipement) , compétitions/guerres ?

3-Opinions publiques mondiales, surtout celles du « Sud » de + en + méfiantes envers les autorités (politiques , techniques, scientifiques) : multiplication de promesses, d'incohérences, de retards et surtout de contraintes sur leur croissance

**TRILEMME : Soutenable-Accessible-Bon marché**

Réduire les émissions - Sécuriser l'accès (risques géopolitiques sur métaux) - Réduire les coûts de l'énergie,

**mais les coûts de la TE sont inférieurs à ceux de l'inaction ( 4% PIB/a contre 8 % )**

# Conclusions : la Transition énergétique

**POSSIBLE, FAISABLE et EN MARCHÉ mais à AMPLIFIER**

**Inflexions évidentes des émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> : plusieurs milliards de T évitées :**

18 pays ont eu une baisse d'émissions depuis 2000 : série de petites diminutions mais aussi des résultats significatifs ( 75 % des émissions liées au chauffage dans les pays... nordiques grâce aux PACs !)

**Inflexions fortes et évidentes des politiques publiques :** IRA (USA) : subventions ou FFF55 (EU): taxes d'entrée et financements considérables (100 aines de Milliards) pour la transition vers le NZE

**Développement accéléré du ... solaire :** 320 GW installés en 2023 (+30 %par / 2022) grâce aux techno nouvelles : couches minces Si, antireflets/Solar trackers/miniaturisation électronique = - de Si, Ag, Ga, Cu

**Les conditions :**

**1- Penser mix énergétique et sa diversification géographique**

**2-Ne pas détruire la vieille économie (Fossiles) mais la mettre au service des énergies nouvelles**

**3-Assurer le développement (à pas de géants )de la colonne vertébrale de la TE : le réseau électrique et de ses vertèbres : les stockages .**

**4-Assurer le développement de mines métalliques partout (stop au NIMBY)**

**5-Essayer la sobriété/décroissance : « moins acheter et non pas mieux jeter »**

# Références /pour aller plus loin...

**Babusiaux Denis, Bauquis Pierre-René** – 2017-Quelles reserves, quelles productions, et à quel prix ? Dunod Edition-

**Biteau Jean-Jacques, Baudin François**-2017- Géologie du pétrole- Dunod Edition-

**IEA**-2025-Annual Report : <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/key-findings#abstract>

**IFPEN**-2022- <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective>

**Jancovi Jean-Marc** - 2018- : <https://jancovici.com/transition-energetique/l-energie-et-nous/lenergie-de-quoi-sagit-il-exactement/>

**Knoll Andrew** -2021 : Une brève histoire de la Terre- Edition/ Les liens qui libèrent,

**Laherrere Jean , Charles A.S. Hall , Roger Bentley** , 2022- How much oil remains for the world to produce? Comparing assessment methods, and separating fact from fiction. Current Research in Environmental Sustainability

**Smil Vaclav**-2022 : Comment marche vraiment le monde ? Editions Cassini,

**Sovacool Benjamin** -2015-How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions- Energy Research and Social Sciences-

**Pitron Guillaume**- 2018- La guerre des métaux rares- Edition : Les liens qui libèrent-

Mila esker

Muchas gracias

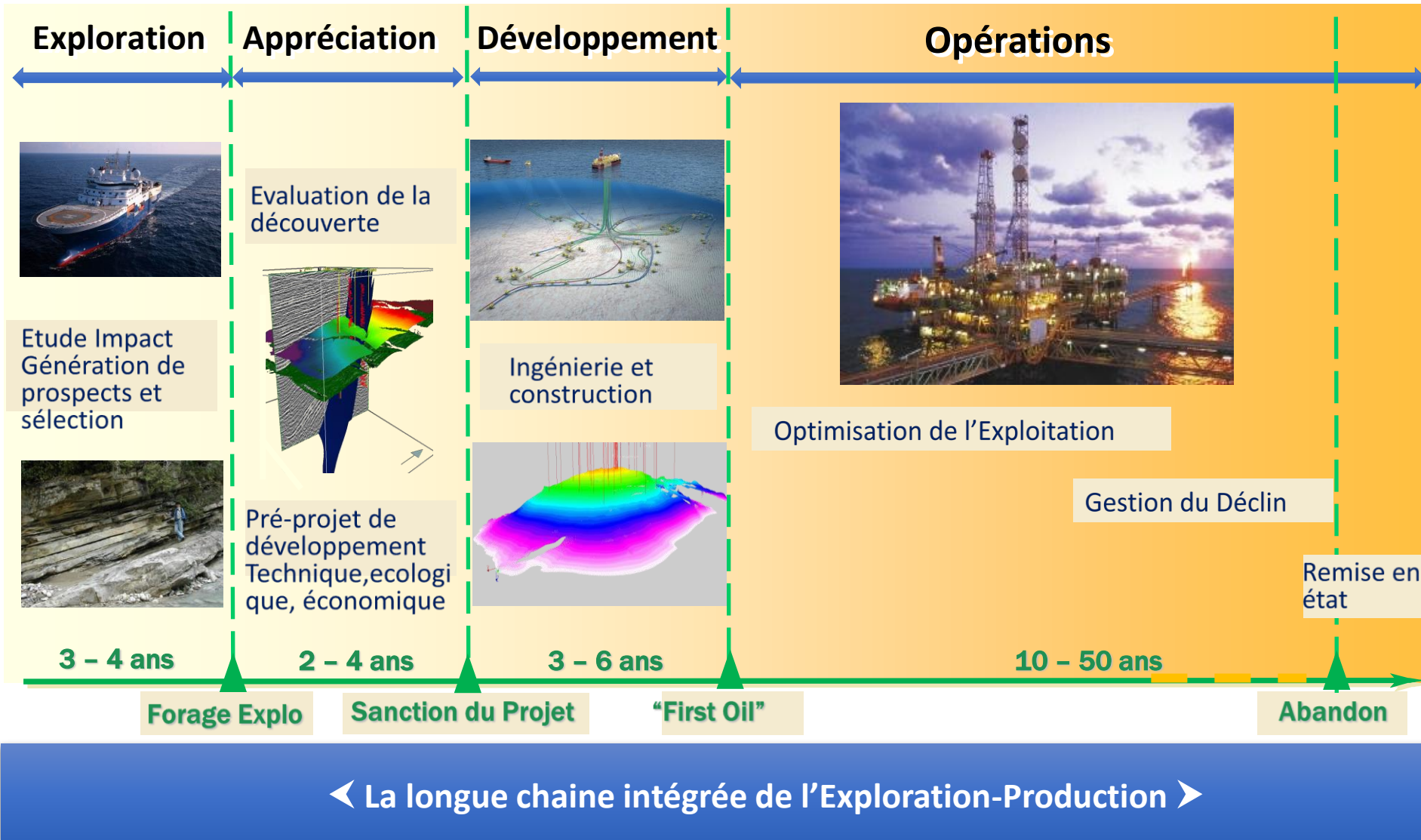
Merci beaucoup

pour votre attention



Back-up slides

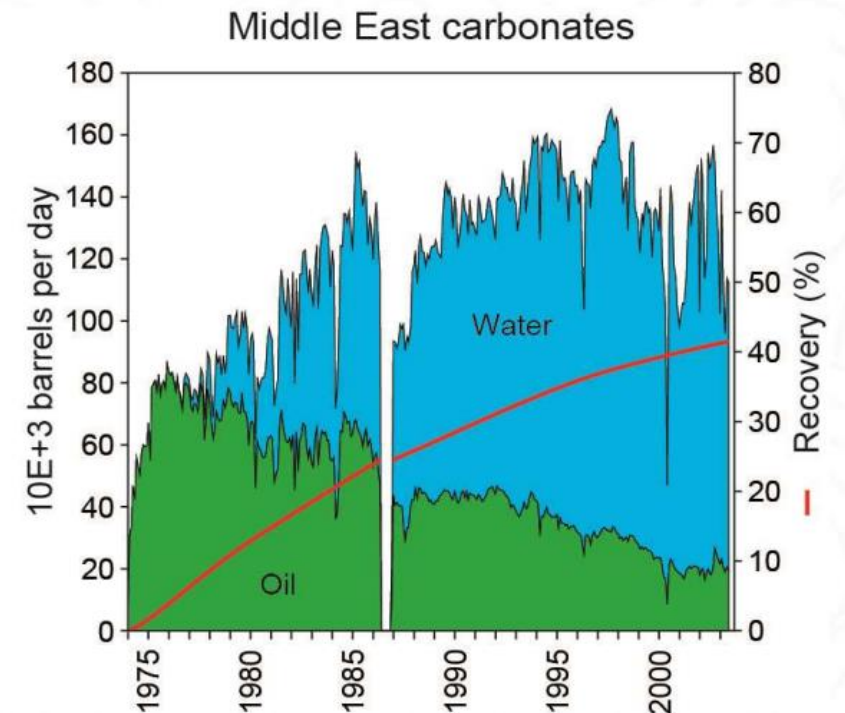
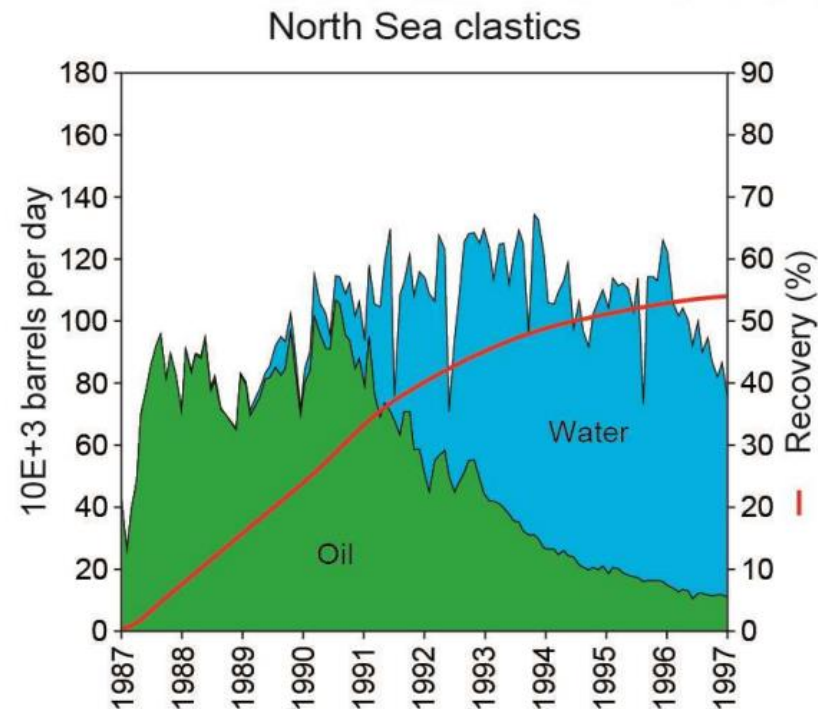
# Comment extraire du pétrole ?



# Produire du pétrole c'est très rapidement produire de l'eau (salée et chaude)

Exemple de champs pétroliers typiques:  
-1-réservoir gréseux offshore  
-2-réservoir carbonaté onshore

## Oil Production World Profiles



# Les réserves d'hydrocarbures : définitions et incertitudes associées

Les compagnies et instituts pétroliers ont pris la règle suivante :

**Les réserves dites prouvées** : 90 % de chances d'être **produites** aux conditions économiques et techniques actuelles et court terme

Analogie : poisson est pris et dans votre panier

**Les réserves dites probables** : 50 % de chances d'être produites aux conditions techniques et économiques court-moyen terme , qu'on peut estimer raisonnablement

Analogie ; poisson est pris ,au bout de la ligne...

**Les réserves dites possibles** : 10 % de chances d'être produites si les conditions s'améliorent ,,,

Analogie : je vois sauter du poisson dans la rivière mais je n'ai pas de ligne

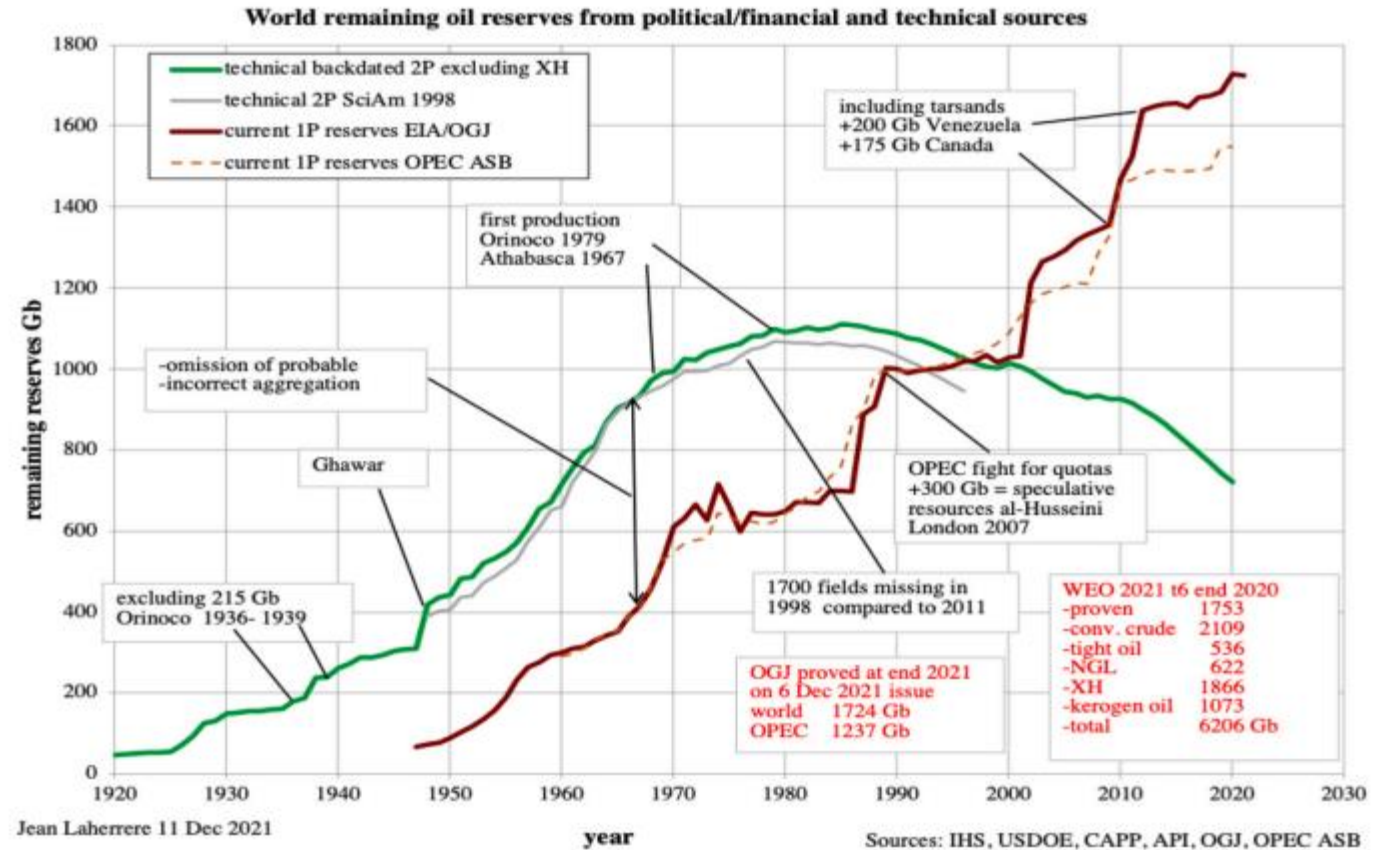
**Les ressources** : pas encore découvertes/trouvées/vues

Analogie : pour trouver du poisson (sans idée de leur nombre, taille, espèce) , je vais au bord d'une rivière

# Les réserves de pétrole – (OPEP et ASPO, 2022)

ASPO : Réserves  
(récupérables) 2P =  
Prouvées + Probables  
= Conv  
= **800 Gb**

Très différentes des  
réserves 1P annoncées par  
l'OPEP, BP Outlook, OGJ,  
AIE...  
= **1800 Gb**



# Les batteries aujourd'hui et demain ?

Une batterie ou accumulateur stocke l'énergie : il est constitué d'une électrode positive (anode) et d'une électrode négative (cathode) séparées par un séparateur, L'ensemble est immergé dans un électrolyte.

**Hier et Aujourd'hui : Lithium**

Lithium-NiMnCo

**Aujourd'hui (Chine) et Demain:**

LiFePh

**Après Demain :**

**Sodium ?**

Technologie CNRS de [batterie sodium-ion](#).

L'innovation brevetée, exclusive et mondiale attribuée à Tiamat, start-up/Spin off fondée à Amiens en 2017 avec une première usine en 2025 de 5 GWh de production annuelle attendue pour 2027

