

# S'extraire du pétrole ? Le défi de la Transition énergétique

Journées Nationales de la Géologie  
Conférence-CPIE-Côte Basque  
10/05/2025



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 et comment évolue l'industrie pétrolière ?
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans pétrole ?
- 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 =  $60 \times 60 = 3600$  joules

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

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

# C'est quoi l'énergie?

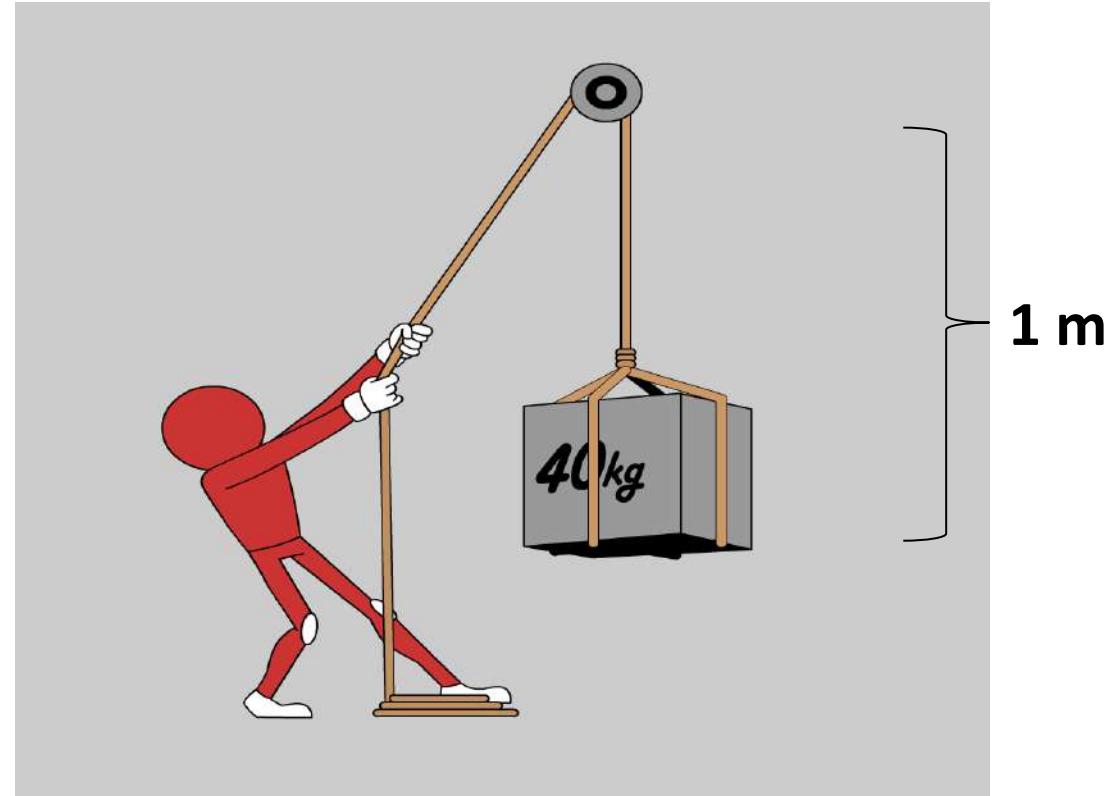
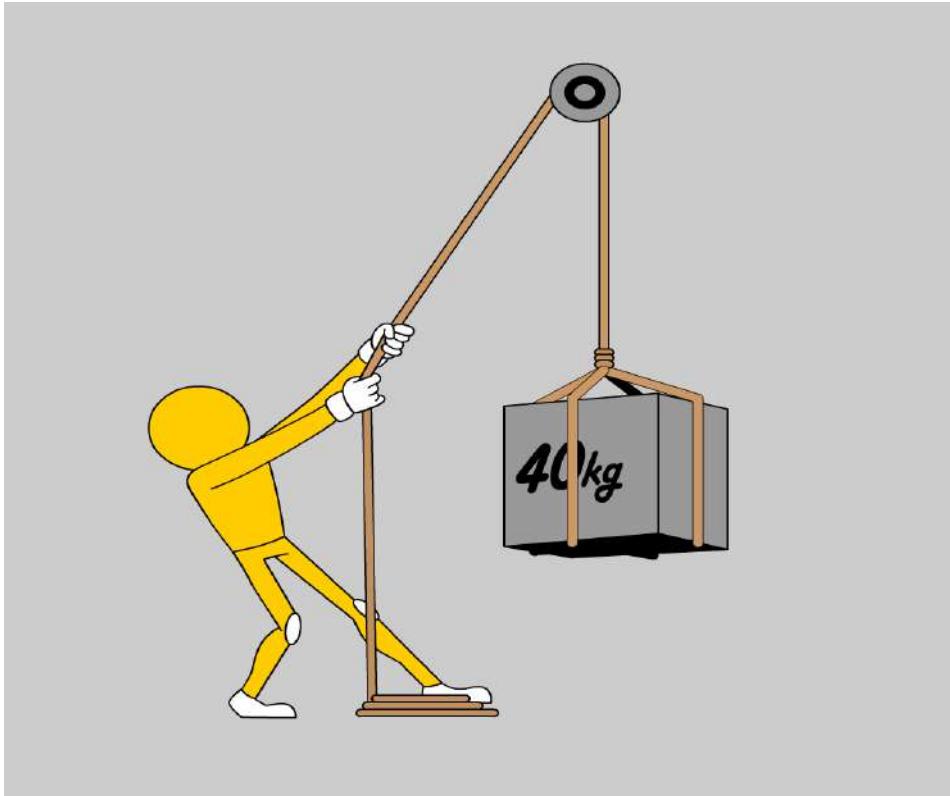
**Avec 1 kiloWattheure (kWh)**



# Force, Energie, Puissance

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

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



Animation:  
Matthieu Guérin

Énergie = Travail = Puissance x temps

D'après Christian Guérin TPA-2024

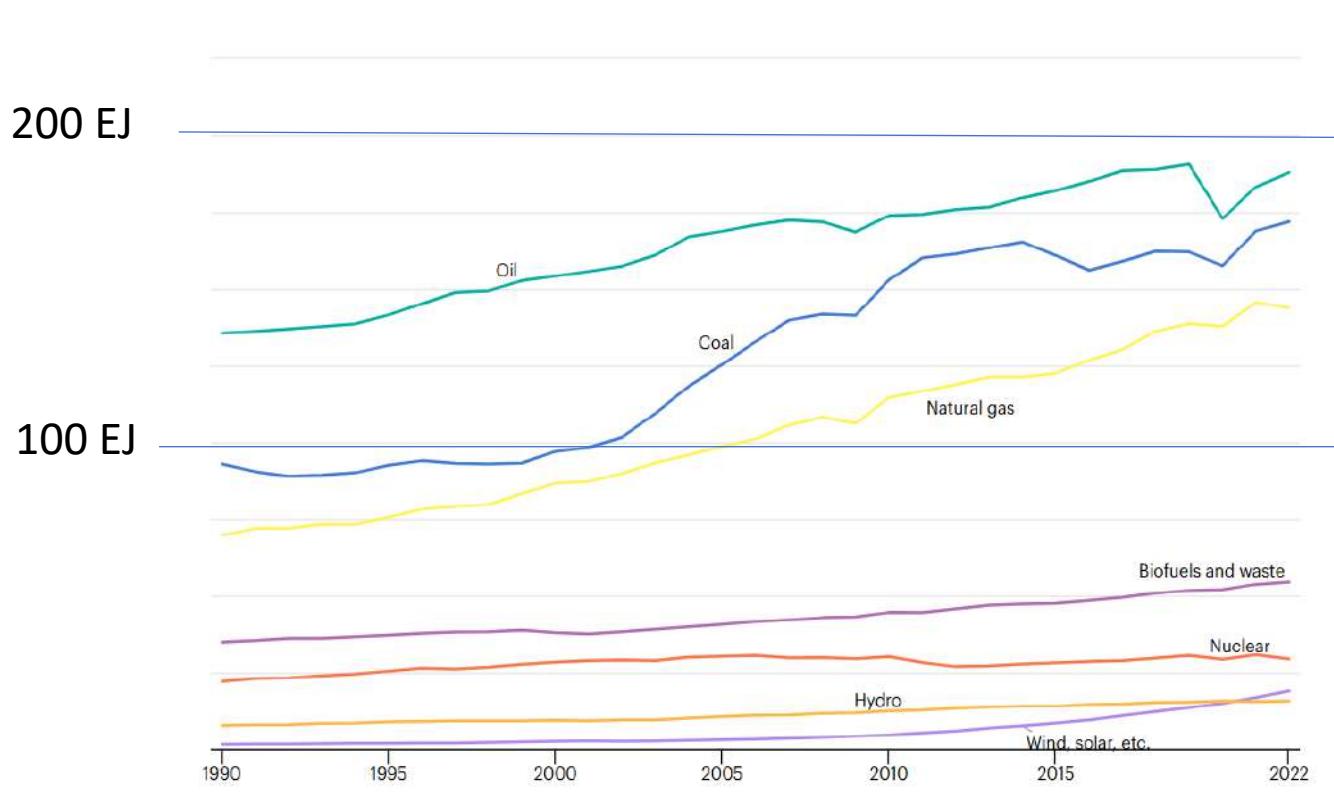
# L'énergie ? De la radioactivité solaire ou terrestre

**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)



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

	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
<b>TOTAL</b>	<b>425</b>	<b>551</b>	<b>630</b>	<b>+ 205</b>

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 prévoyaient 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 discutable, 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 discutable (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 et comment évolue l'industrie pétrolière ?
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans pétrole ?
- 4- Conclusions : quels chemins pour la TE : est-ce possible ?

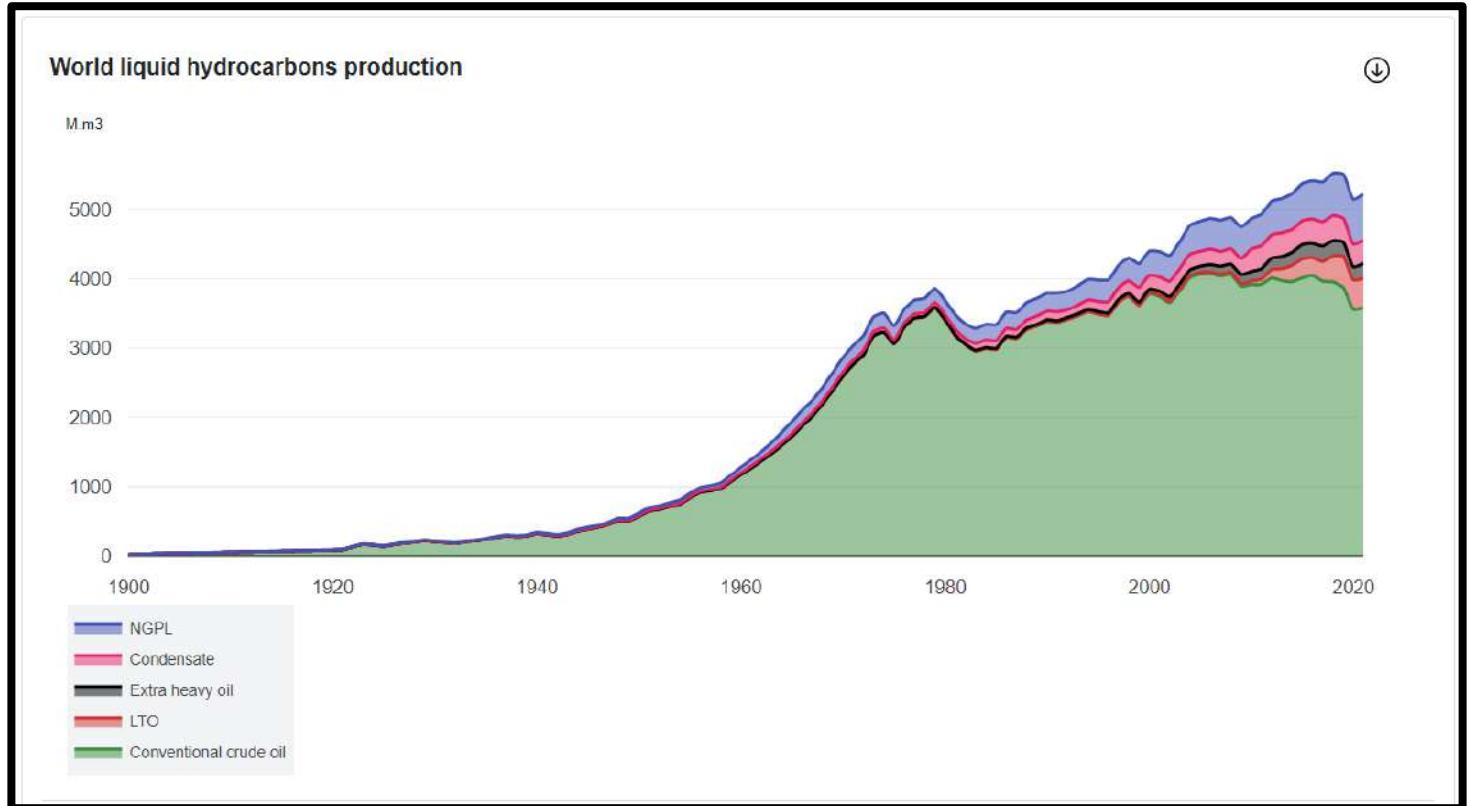
# La production mondiale de (des) pétrole(s)

## 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)



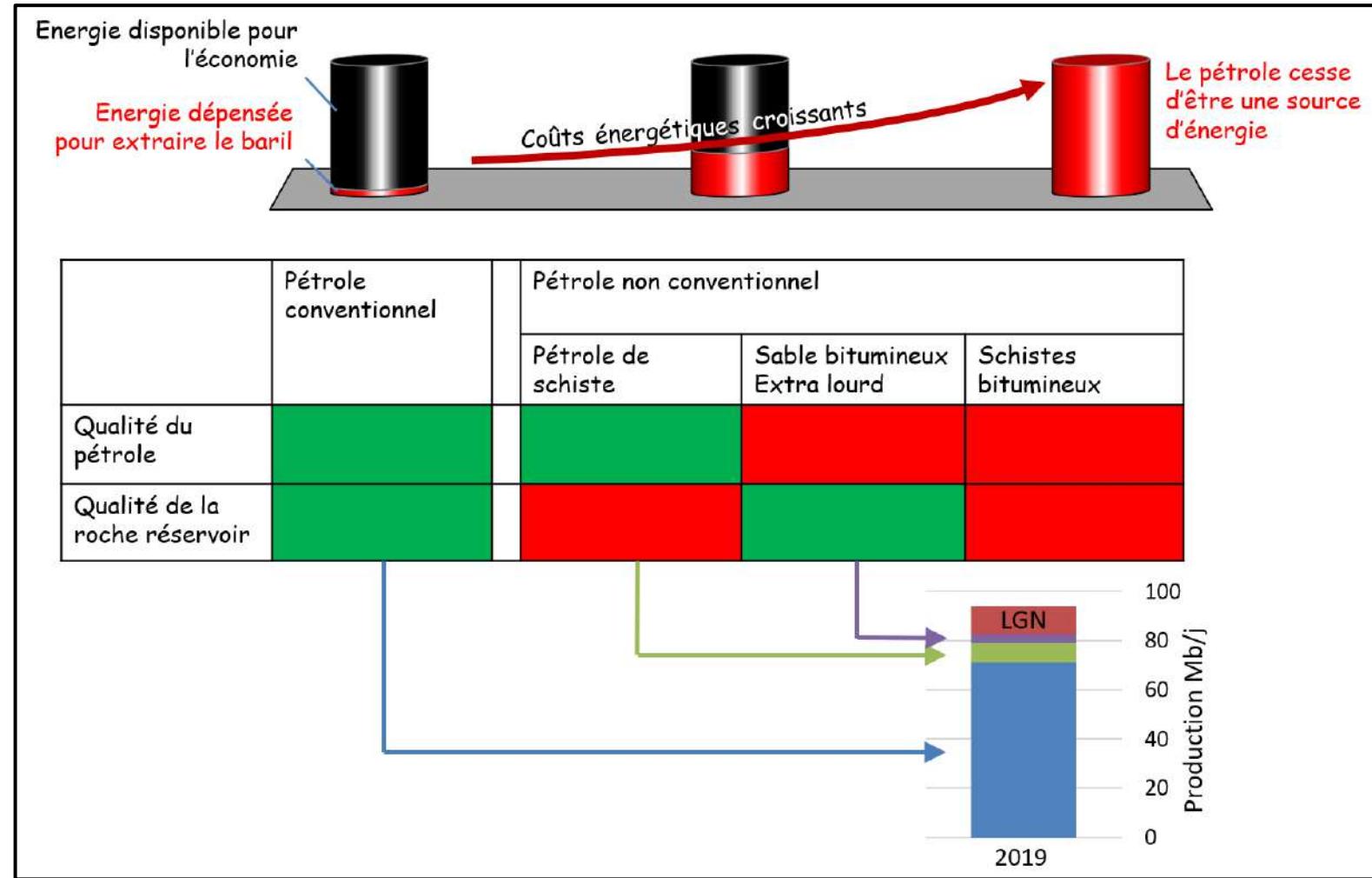
Production mondiale 2019 : 5000 Mm3/an ou 100 Mb/j ou 1000 b/s

# Types de pétrole et coût d'extraction

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

**Indice EROEI : Energy Return on Energy Invested**

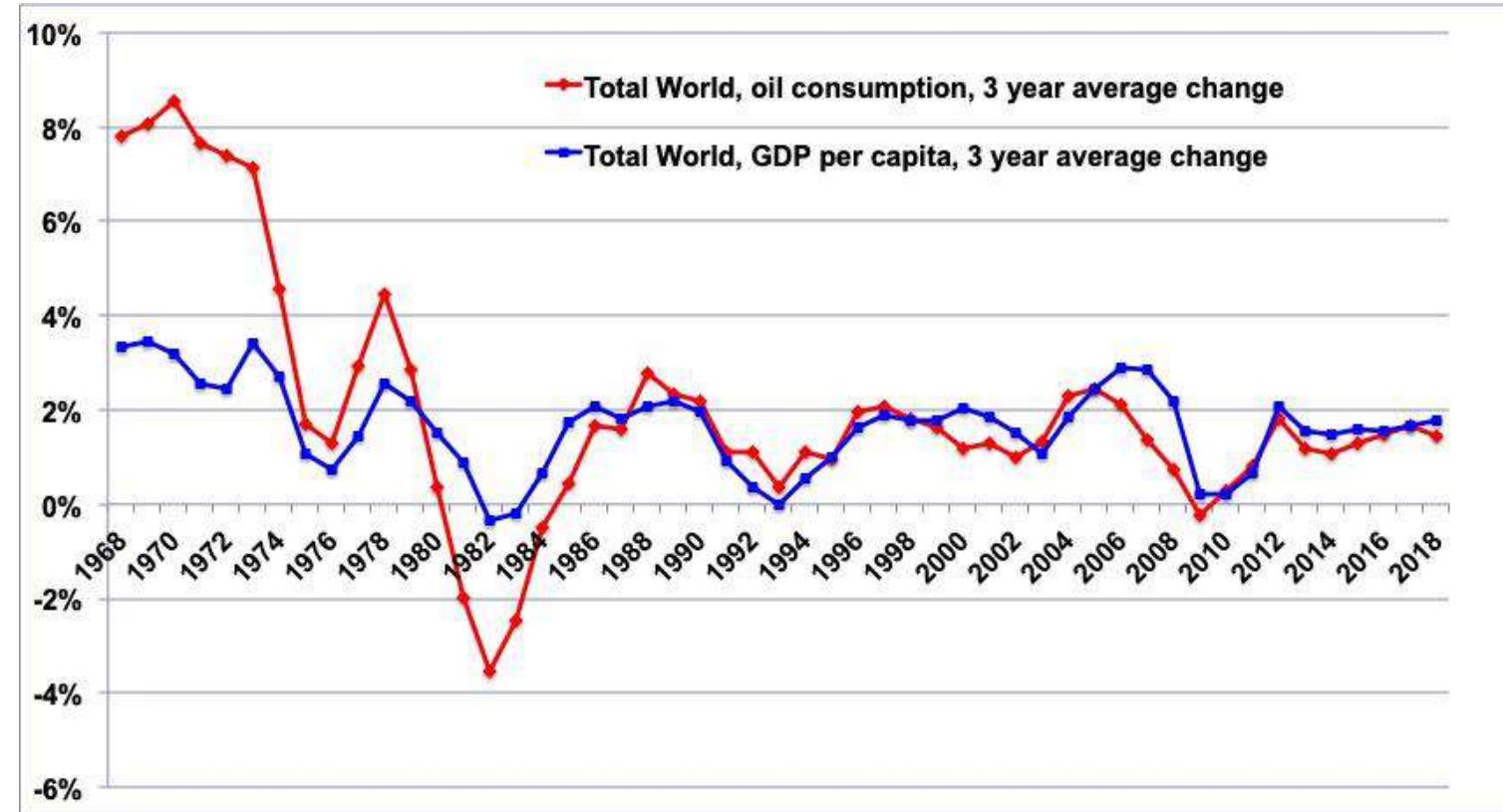
Ce dernier est très dépendant de la nature du pétrole et du réservoir naturel dans lequel il se trouve



# Pétrole et richesse par habitant ; une extraordinaire corrélation

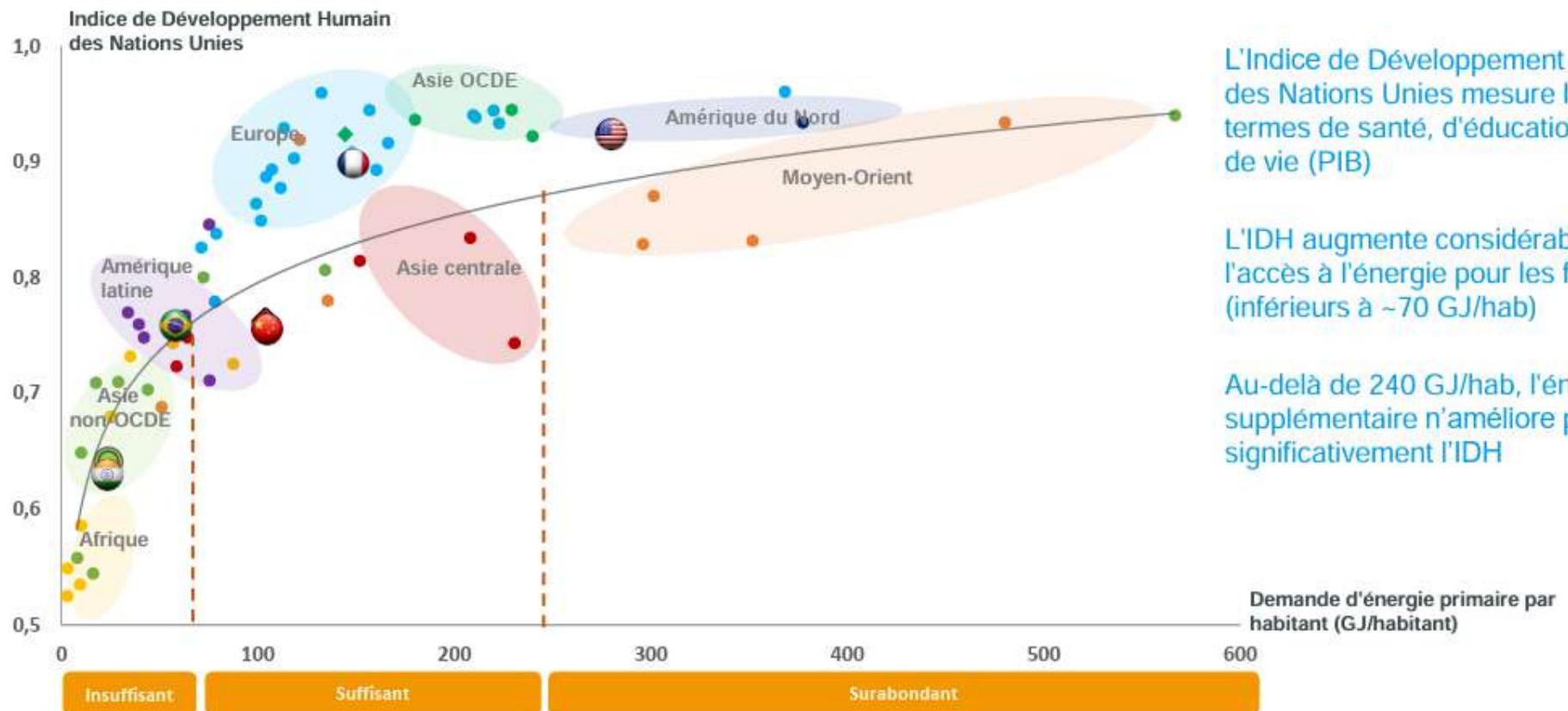
La corrélation du sens de la variation est parfaite, et celle de l'amplitude presque parfaite avec un fait essentiel : **c'est la variation de la consommation de pétrole qui précède celle du PIB depuis 1972.**

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



World Bank report in JM Jancovici

# 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)

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

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

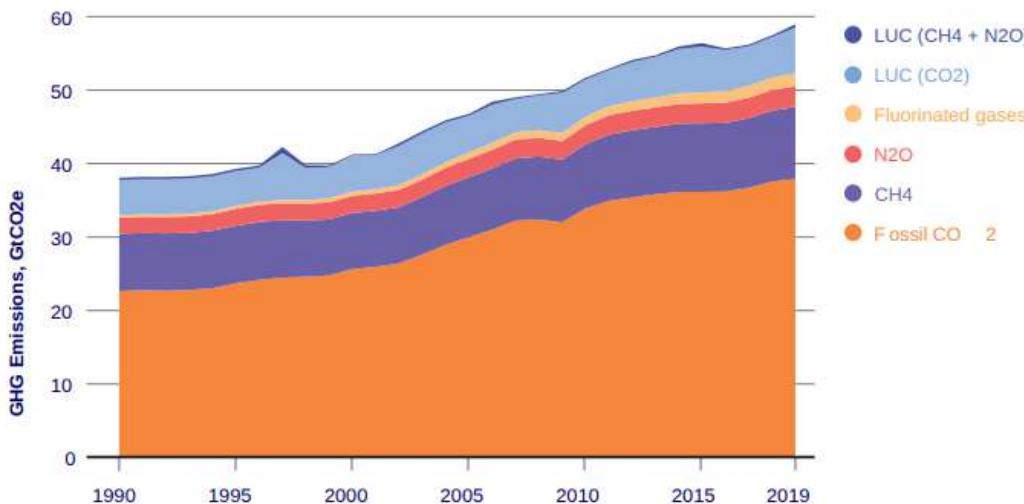


Figure 1. Global GHG emissions from all sources

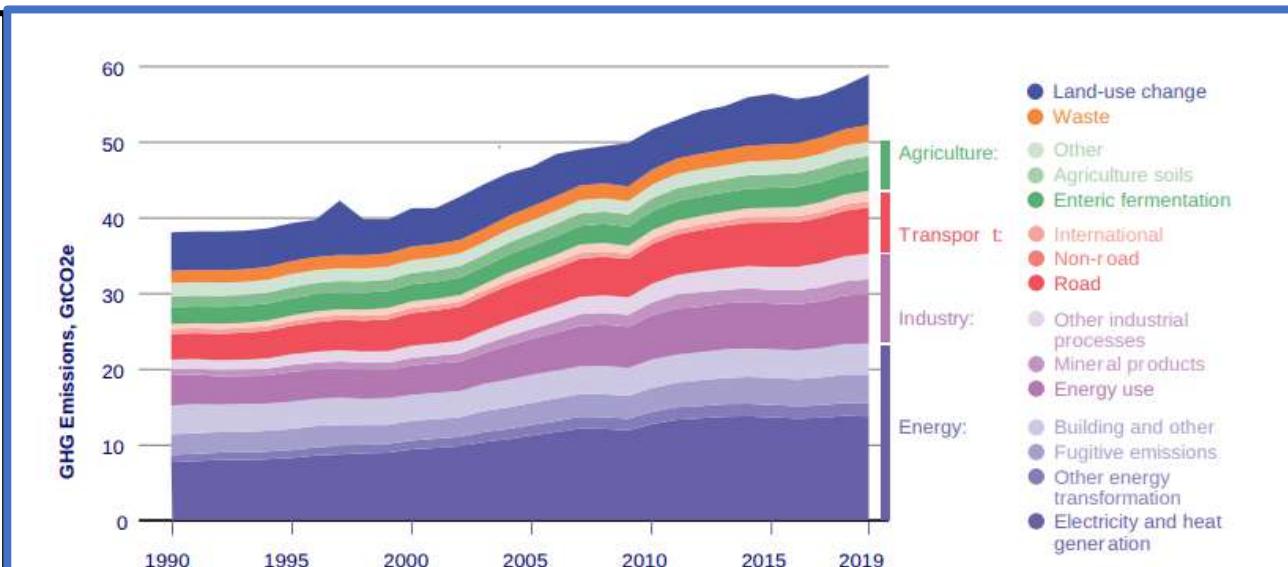


Figure 2. Global GHG emissions by sector of the economy

## 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 CO<sub>2</sub>

**Le CO<sub>2</sub> 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 °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**,

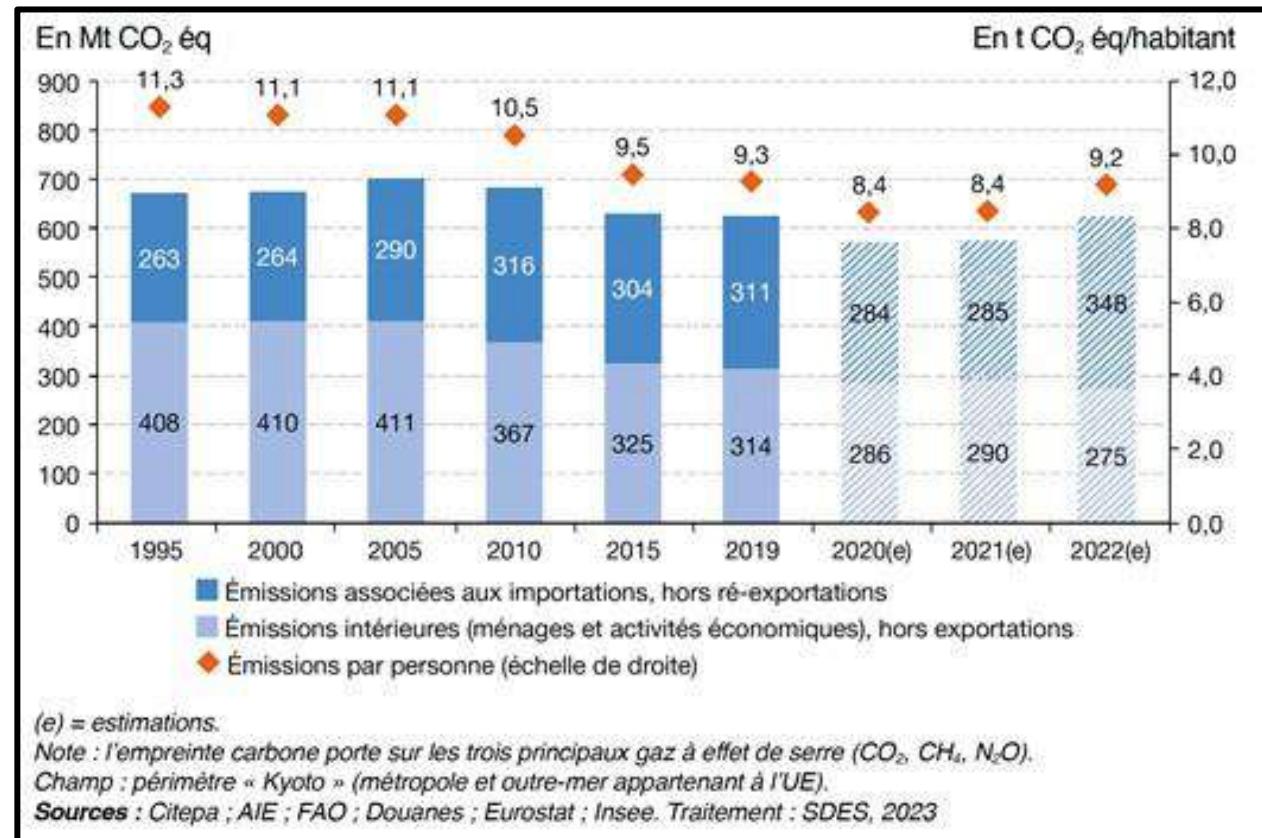
Les 4 principaux secteurs avec émissions de CO<sub>2</sub> anthropique dans le monde sont :

- **Le transport** et notamment les transports routiers (automobile en particulier) qui sont responsables d'une grande quantité d'émissions directes (10 %) et d'une bonne partie des émissions indirectes de plusieurs industries (chimie, métaux, plastiques, énergies...)
- **La production d'électricité et de chaleur** à partir d'énergies fossiles (charbon ou gaz)
- **Le bâtiment**, qui émet lui aussi de grandes quantités de CO<sub>2</sub> en direct (par la consommation énergétique) mais contribue aussi aux émissions indirectes des industries des matériaux.
- **L'agriculture**, en particulier l'élevage et la riziculture, qui émet environ 5% du CO<sub>2</sub> mondial en émissions directes, mais contribue à la déforestation et aux émissions agricoles en général.

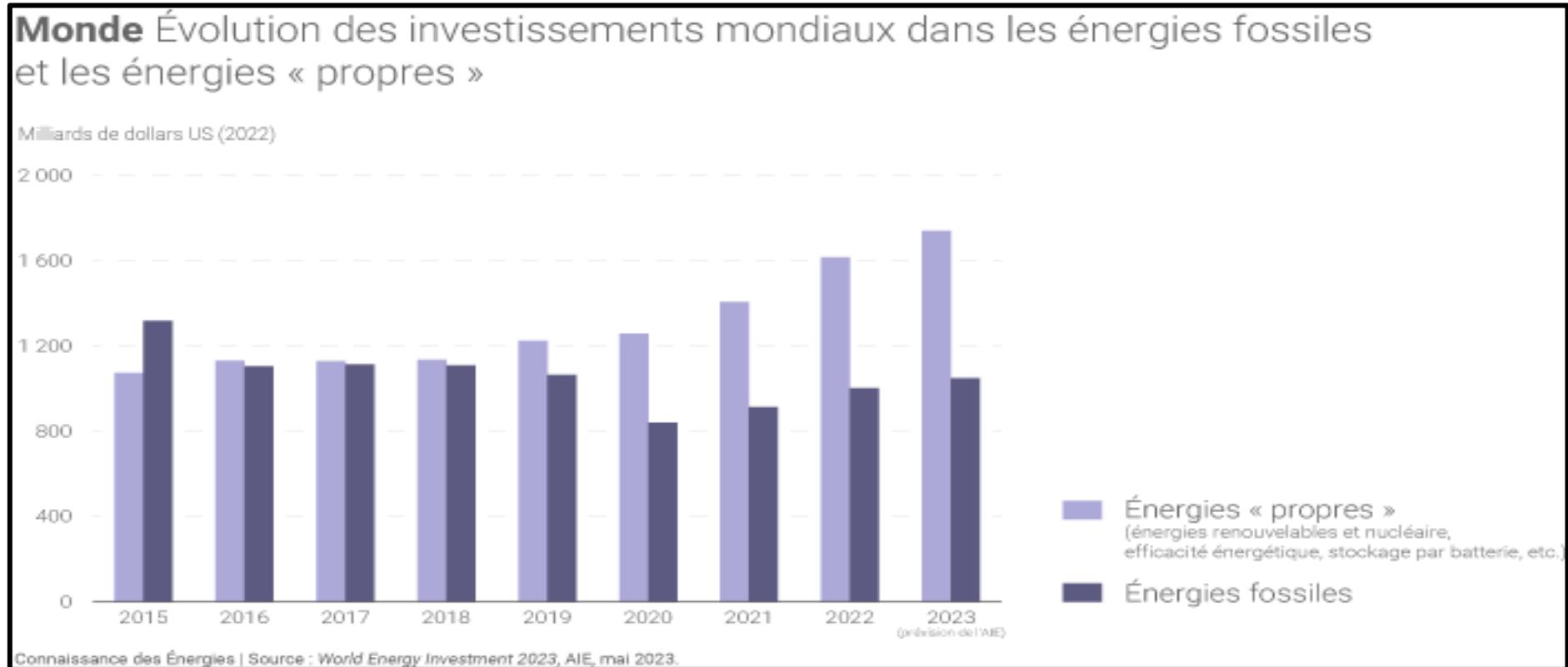
# L'empreinte carbone d'un français

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 !**



# Récente Evolution des investissements pétroliers/gaziers et d'énergies renouvelables



# Quid des compagnies pétrolières ?

## De Total à Totalenergies

Investissements 2022  
mondiaux : 16 G\$  
-75 % dans les fossiles  
(pétrole et gaz)  
-25 % ENR Electricité

Puissance EnR :  
16 GW en 2020 et 21 GW  
en 2022

Accelerating investment to seize opportunities  
in favorable markets



# De Total à TotalEnergies : quelle évolution pour 2023 ?

Investissements 2023 mondiaux :

**16 à 18 Gus\$**

65 % dans les fossiles (pétrole et gaz) dont 50% maintien des productions et 50 % en projets nouveaux

35 % dans les EnR (solaire et éolien offshore)

Puissance de production en EnR :

**26 GW en 2023 et 100 GW en 2030**

**Est-ce tenable quand tous les autres pétroliers rétrogradent ?**



Capital investment supporting the transition



# Plan de la présentation

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

# Un monde sans pétrole ?

**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** : **Électricité/batteries , géothermie, hydrogène**

**La sobriété ou la décroissance :**

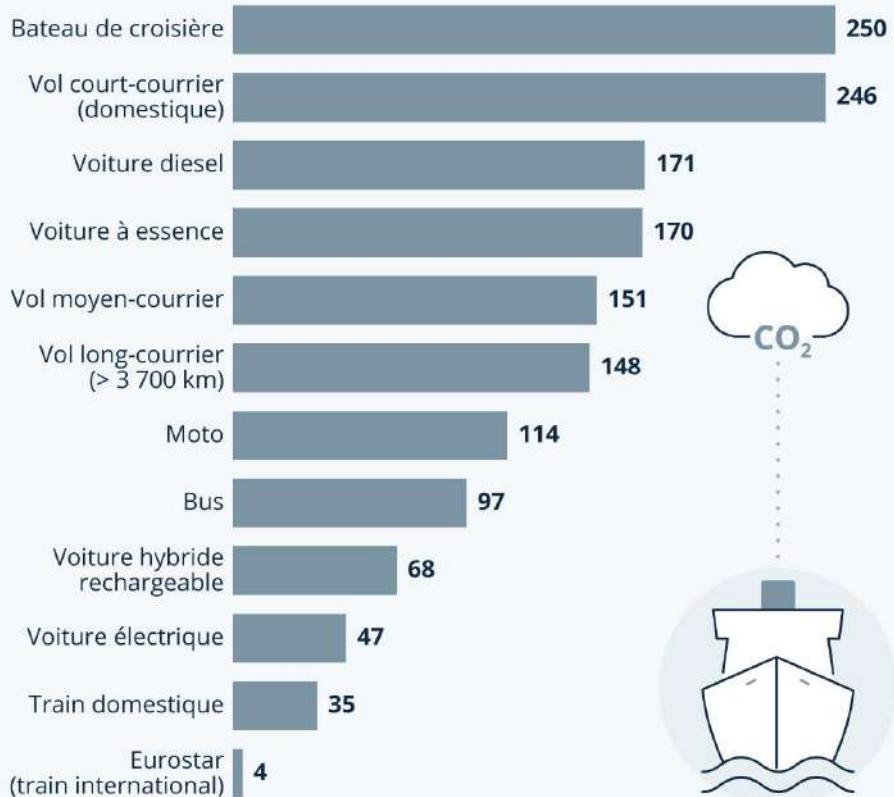
difficile à proposer dans les pays du sud les plus....pauvres et peuplés et dans les pays du nord les plus... addicts

**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



# Comment s'extraire du pétrole ? Ou plutôt comment s'extraire de l'automobile thermique ...

Monde : au 01/01/2022

**1 milliard de voitures particulières**

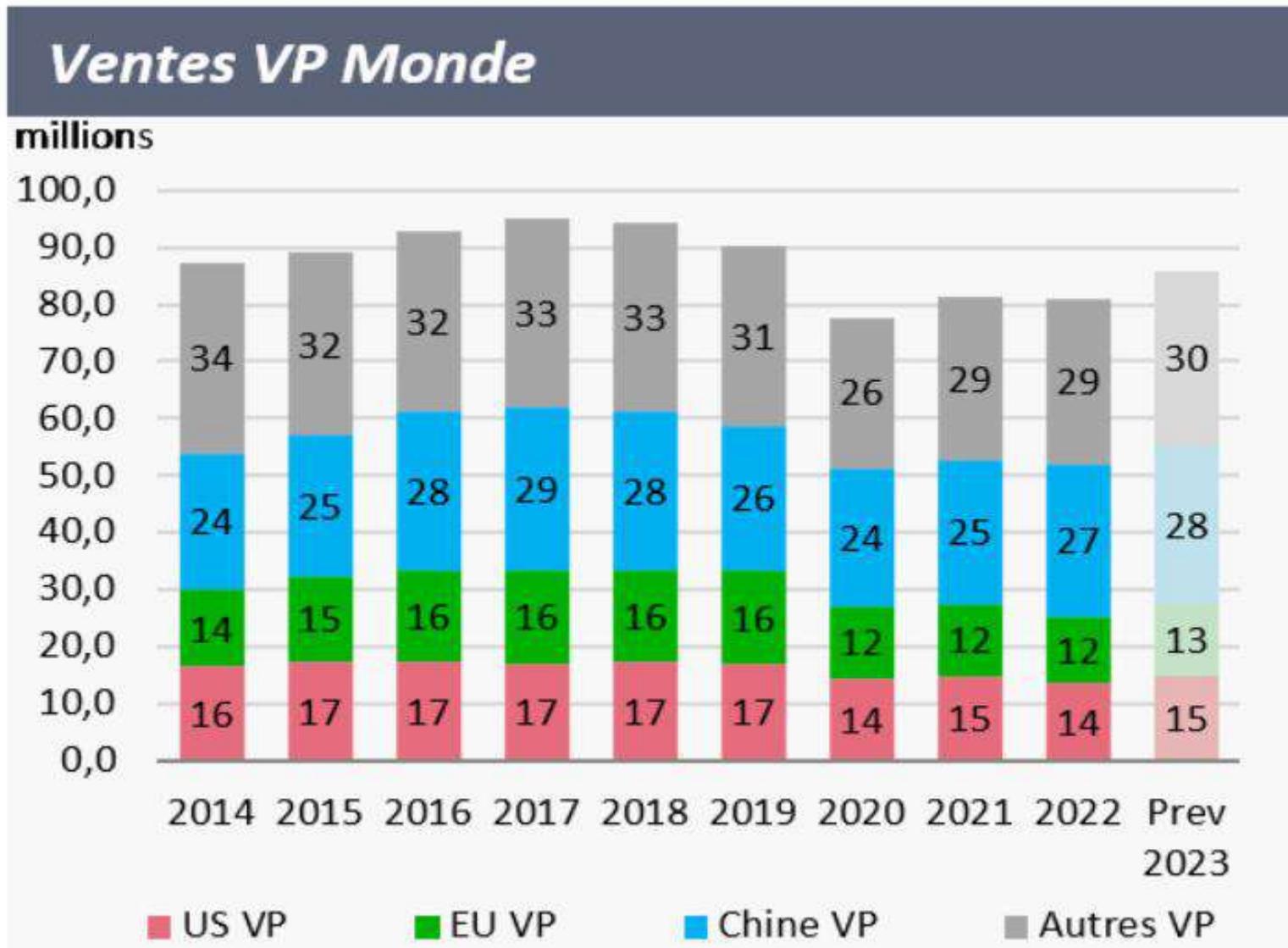
**400 millions de véhicules utilitaires**

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

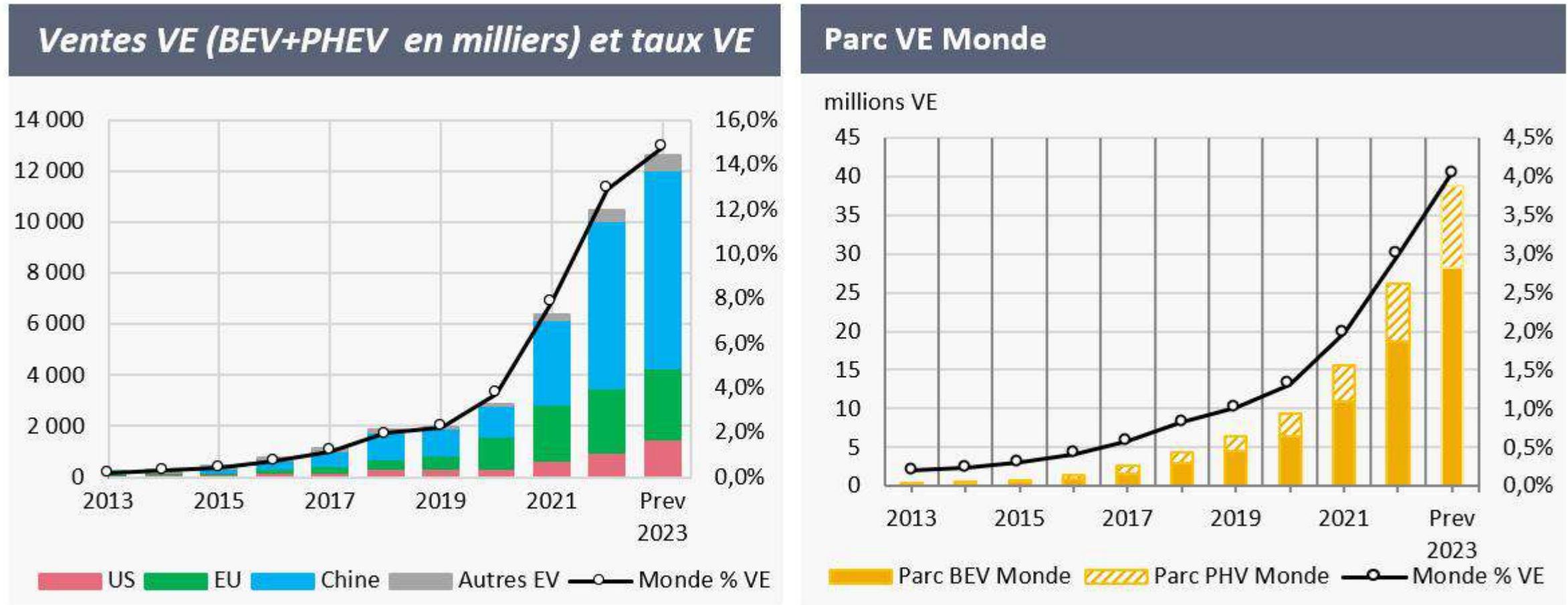
Consommation française : 45 Milliards de litres/an en 2019,

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 ?



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



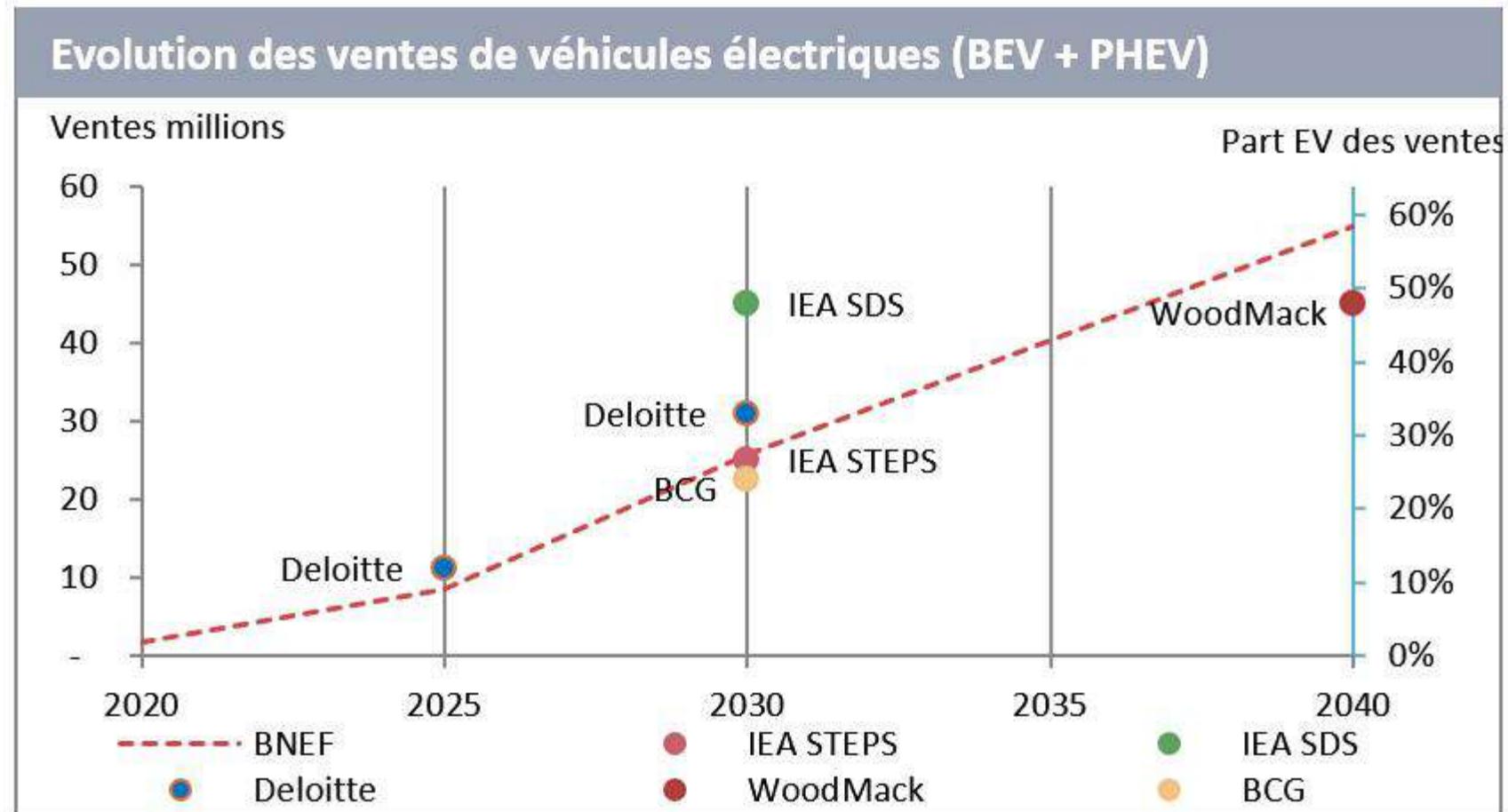
Source : Marklines, IFPEN

Battery Electric Vehicles and Plug-Hybrid Electric Vehicles

# Les voitures électriques : et si cela continuait ?

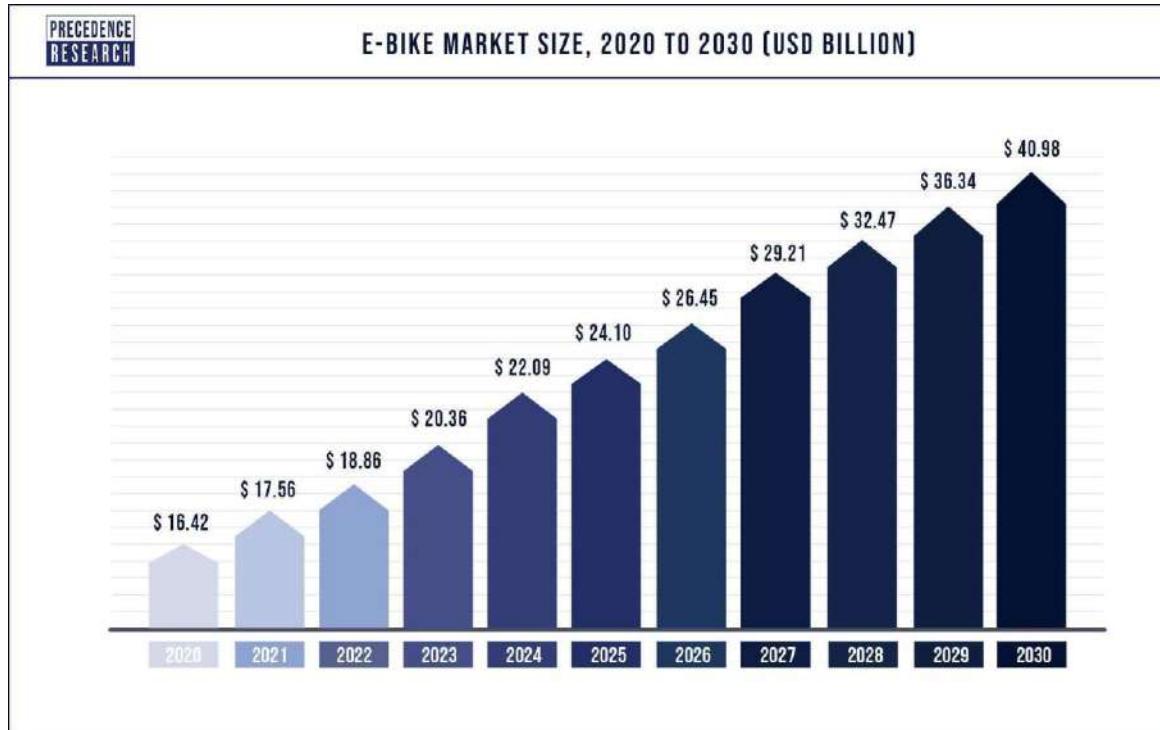
## Evolution mondiale (Europe 100 % en 2035)

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, IFPEN

# Une 3 ème solution : le vélo surtout le VAE si ils remplacent des ... voitures !



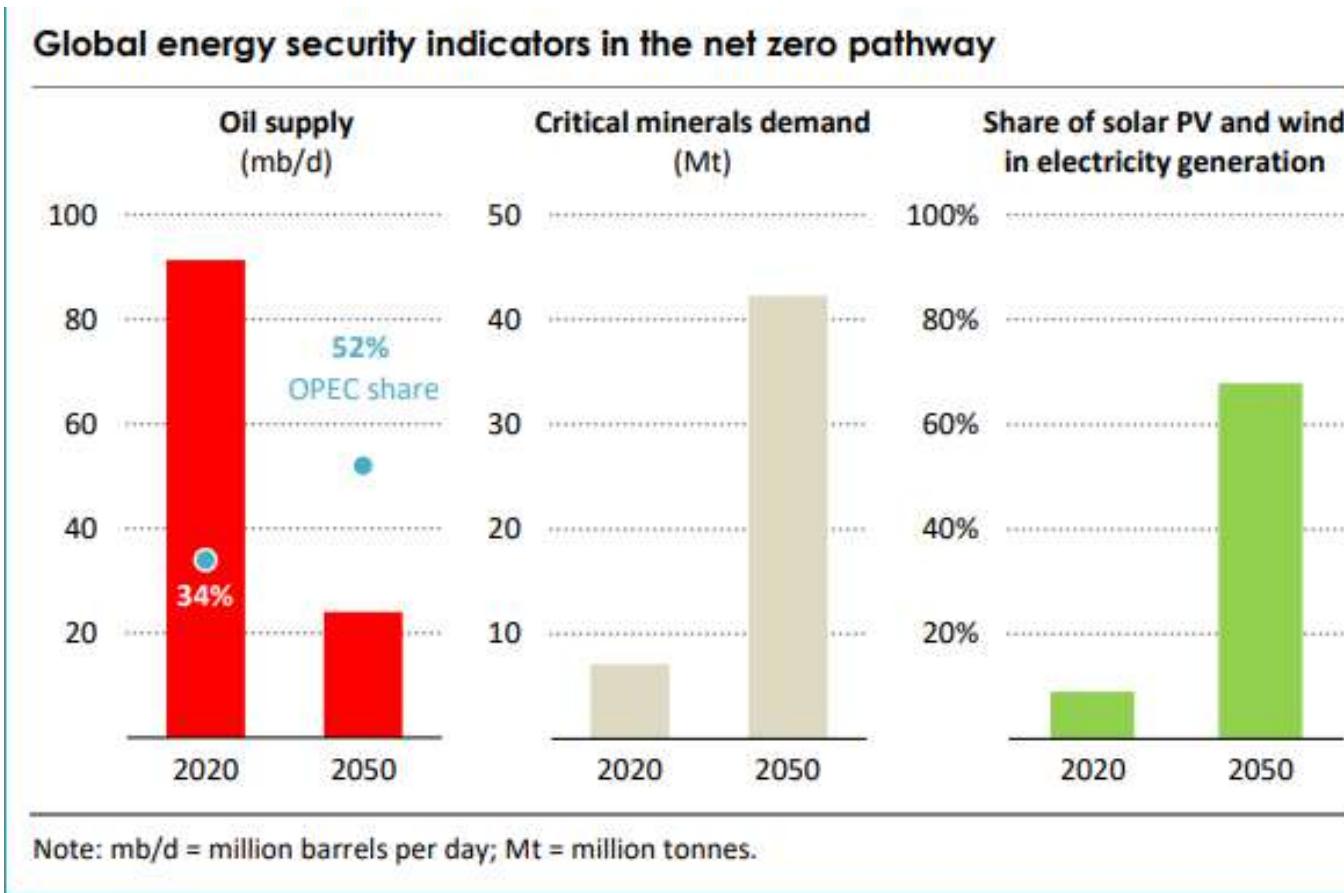
Monde- VAE prévision en G\$



France -2021

# S'extraire du pétrole = extraire des métaux

## « No metals, no Transition »



# S'extraire du pétrole = extraire des métaux

À coté 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,

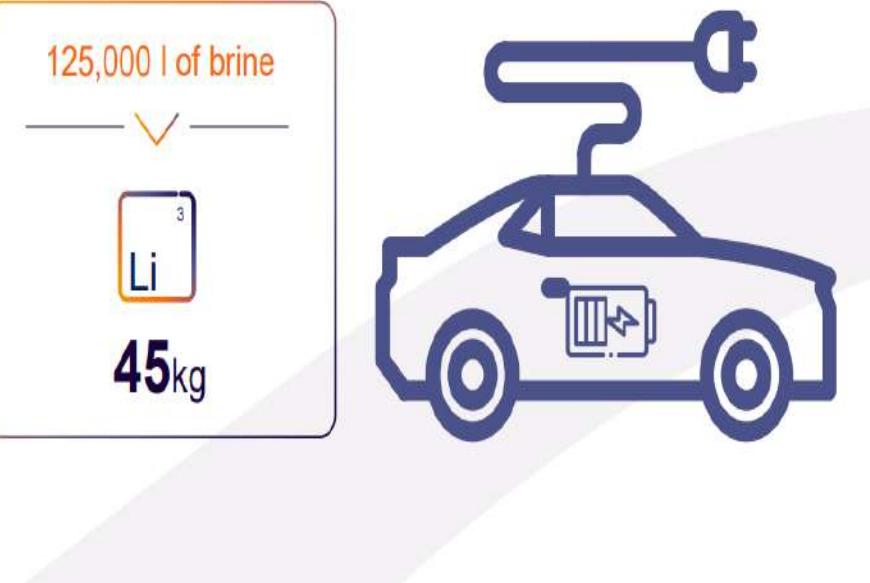
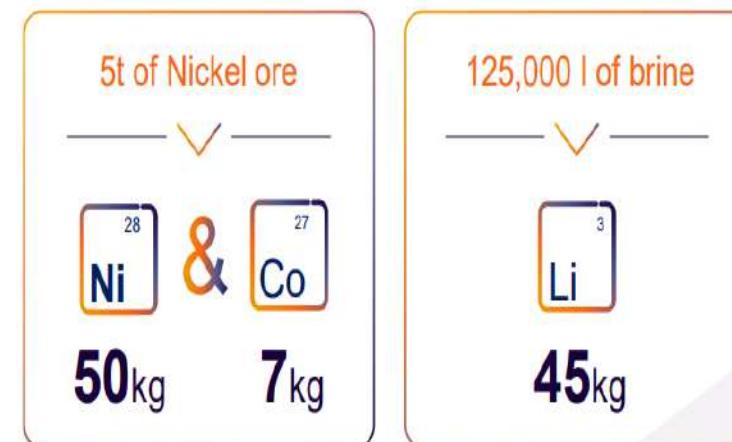
**Le graphite naturel** : 70 mines actuelles (Chine et Afrique de l'Est) -100 mines supplémentaires en 10 ans à 56 000t/a

**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

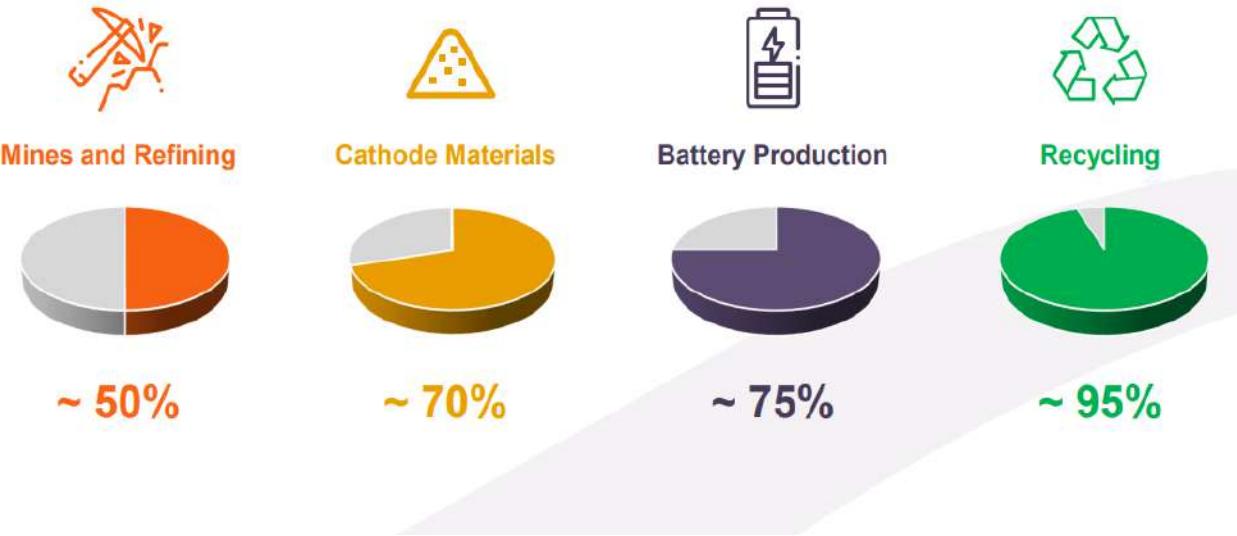


\* base batterie NMC811

# 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 !**

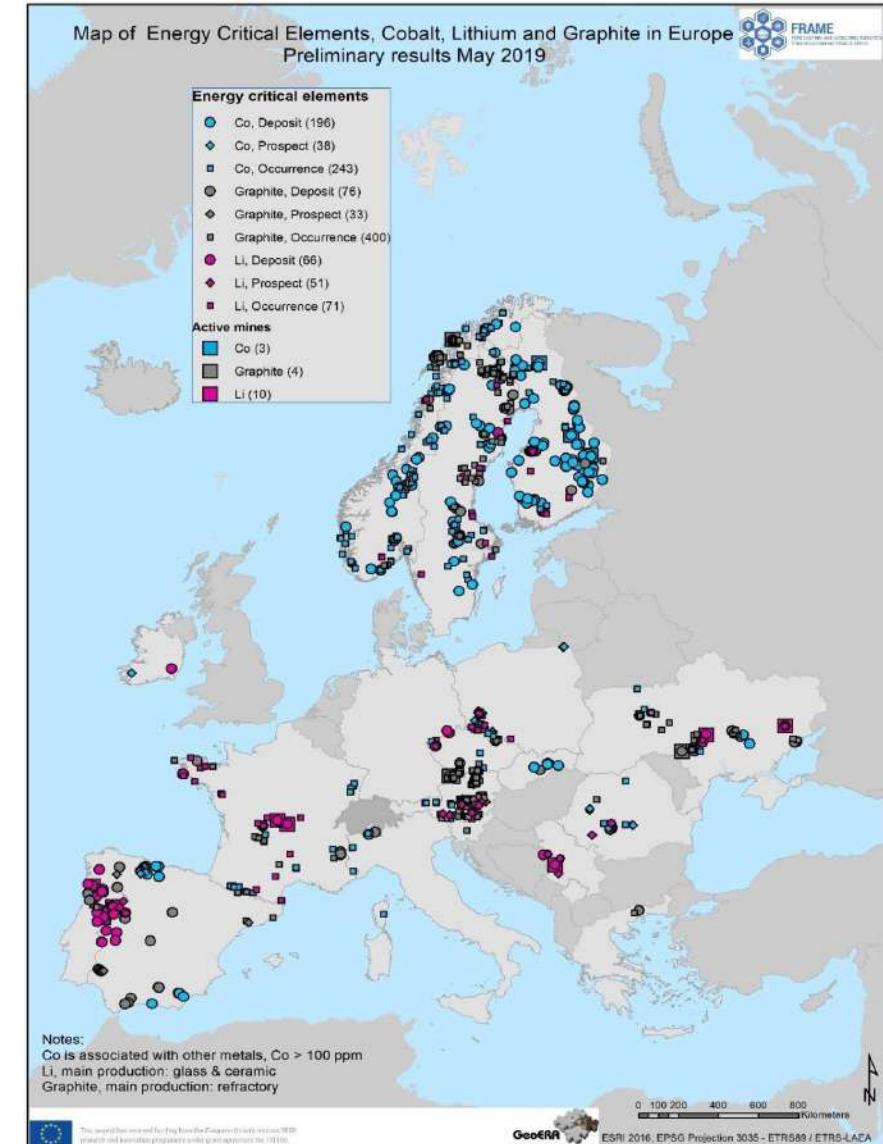
Quelle souveraineté ? La dépendance à la Chine n'est que sur le graphite (et l'Afrique peut remplacer) et le traitement des minerais que l'Europe peut faire,

# 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)	
	Déchet	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



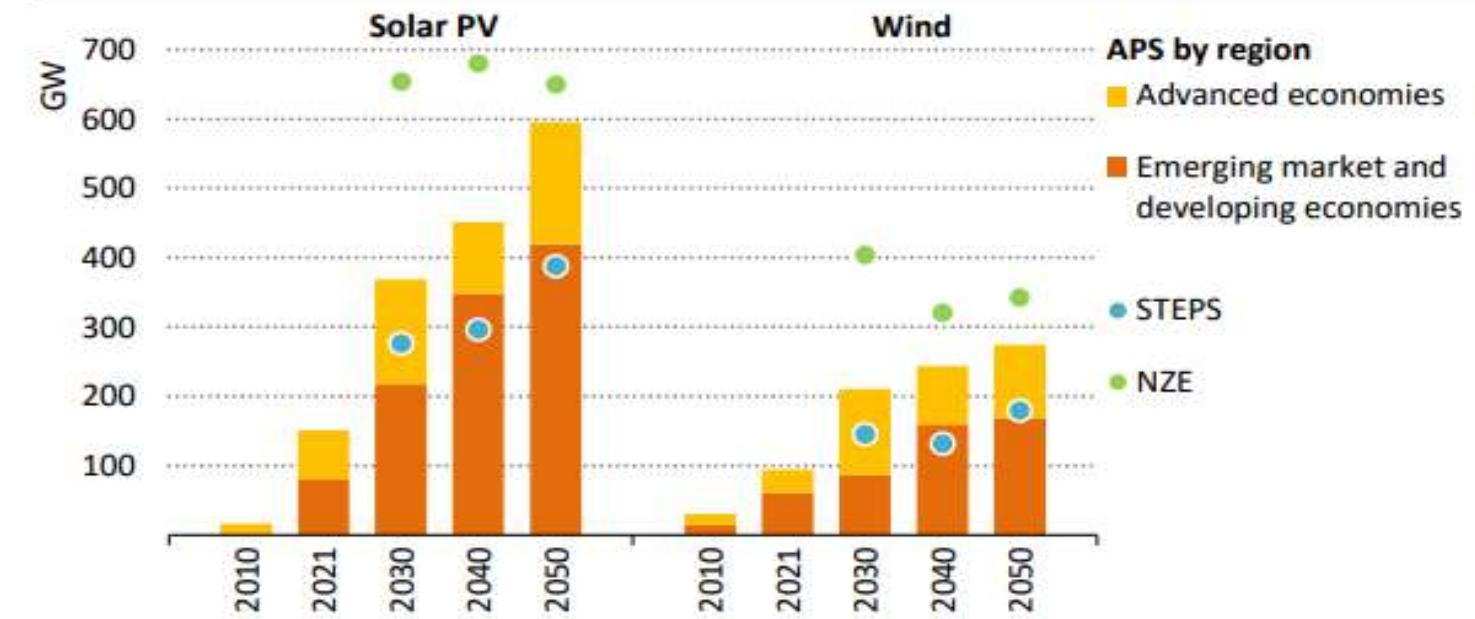
EnR : et la suite ? Brillante ...pour le solaire si stabilisation des réseaux électriques sans black-out (production=consommation)

**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**

**Figure 2.15 ▶ Annual capacity additions of solar PV and wind by scenario, 2010-2050**

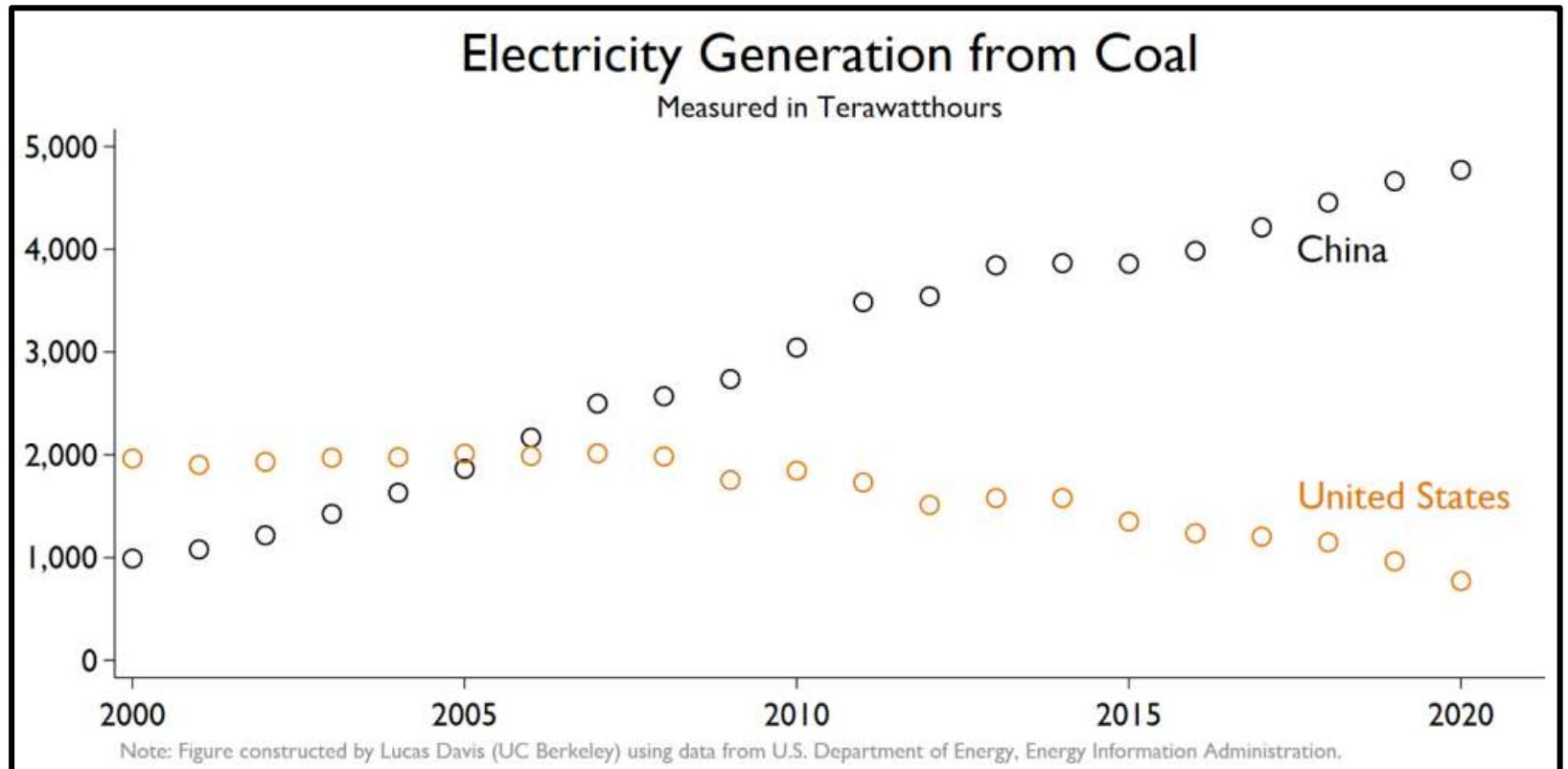


IEA, CC BY 4.0.

*Solar PV and wind capacity additions more than double to 2030 in the APS to replace unabated coal and meet rising electricity demand*

# 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 600T 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

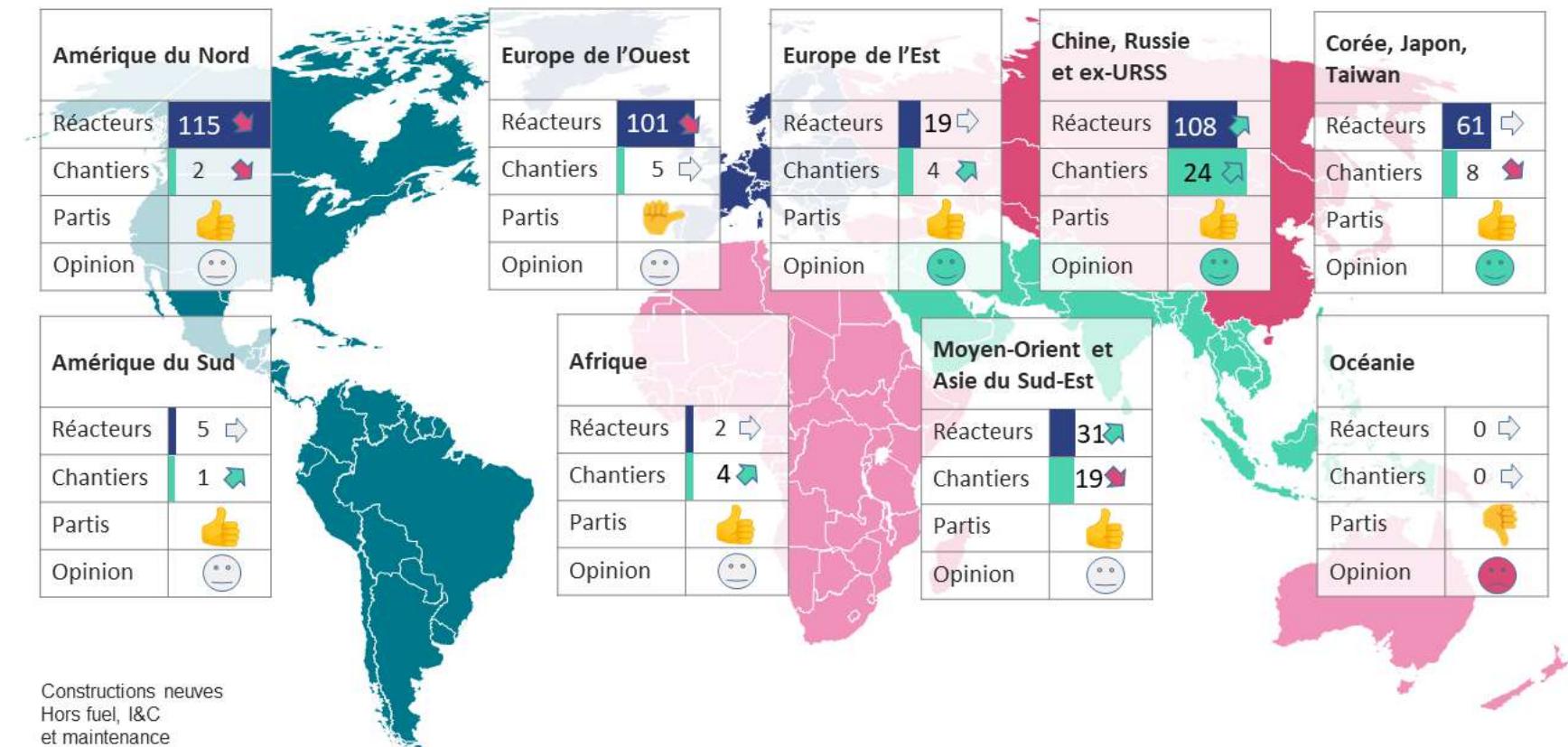
Comment arbitrer /optimiser ?  
Augmenter la puissance et l'efficacité mais  
**Utiliser les friches industrielles et les toits**  
Favoriser l'offshore pour l'éolien ?

# 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)

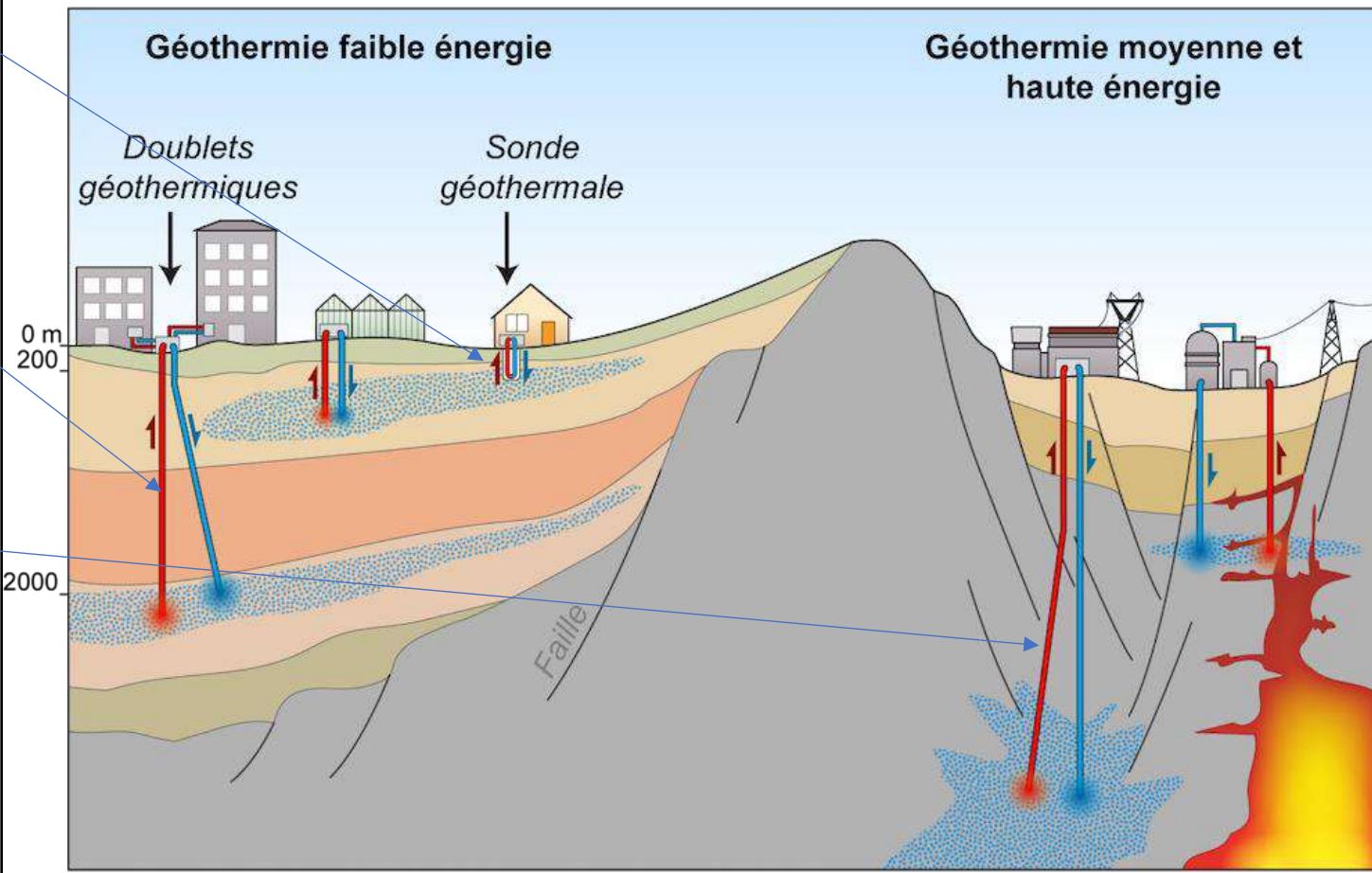
## 3-Haute ou TH température

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 Vernes 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 CO<sub>2</sub> ! C'est 95 % de la production mondiale

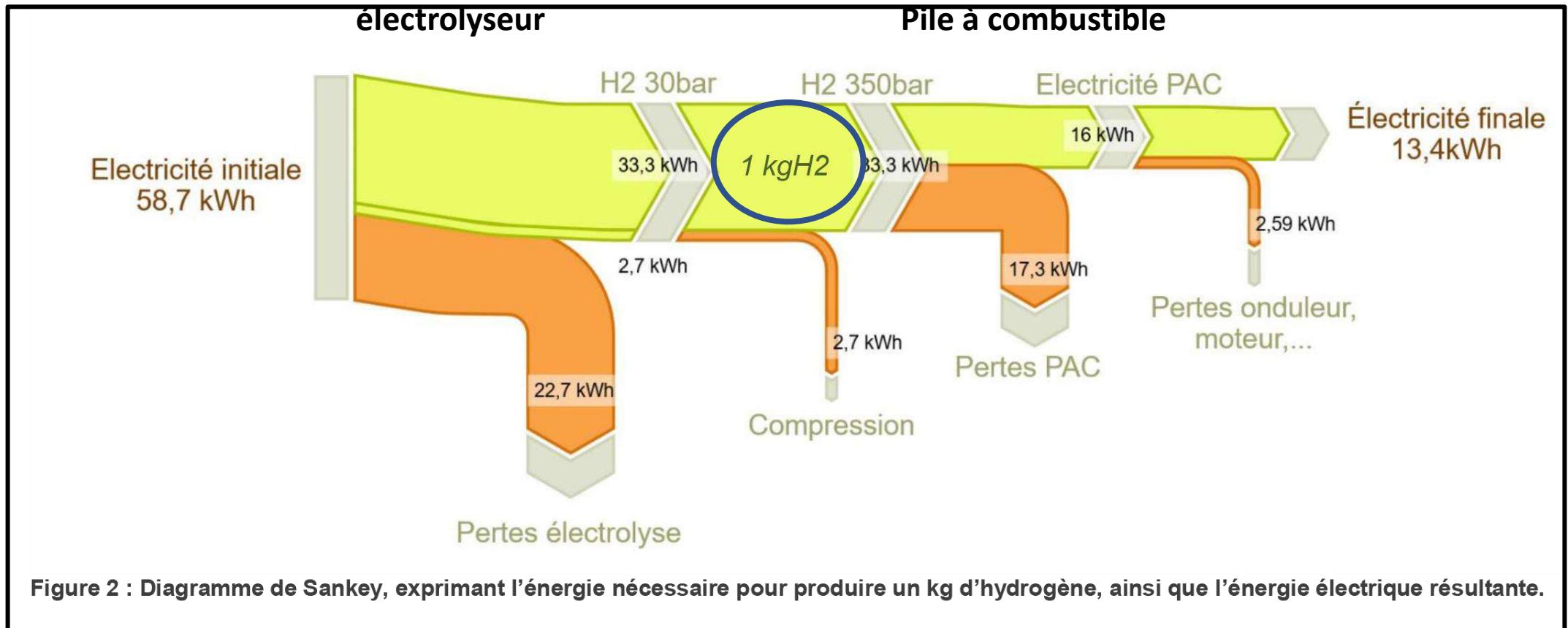
**Demain: l'hydrogène vert l'électrolyse de l'eau ?**

$\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2$  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'H<sub>2</sub> en ...électricité ;

H<sub>2</sub> 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...



# Plan de la présentation

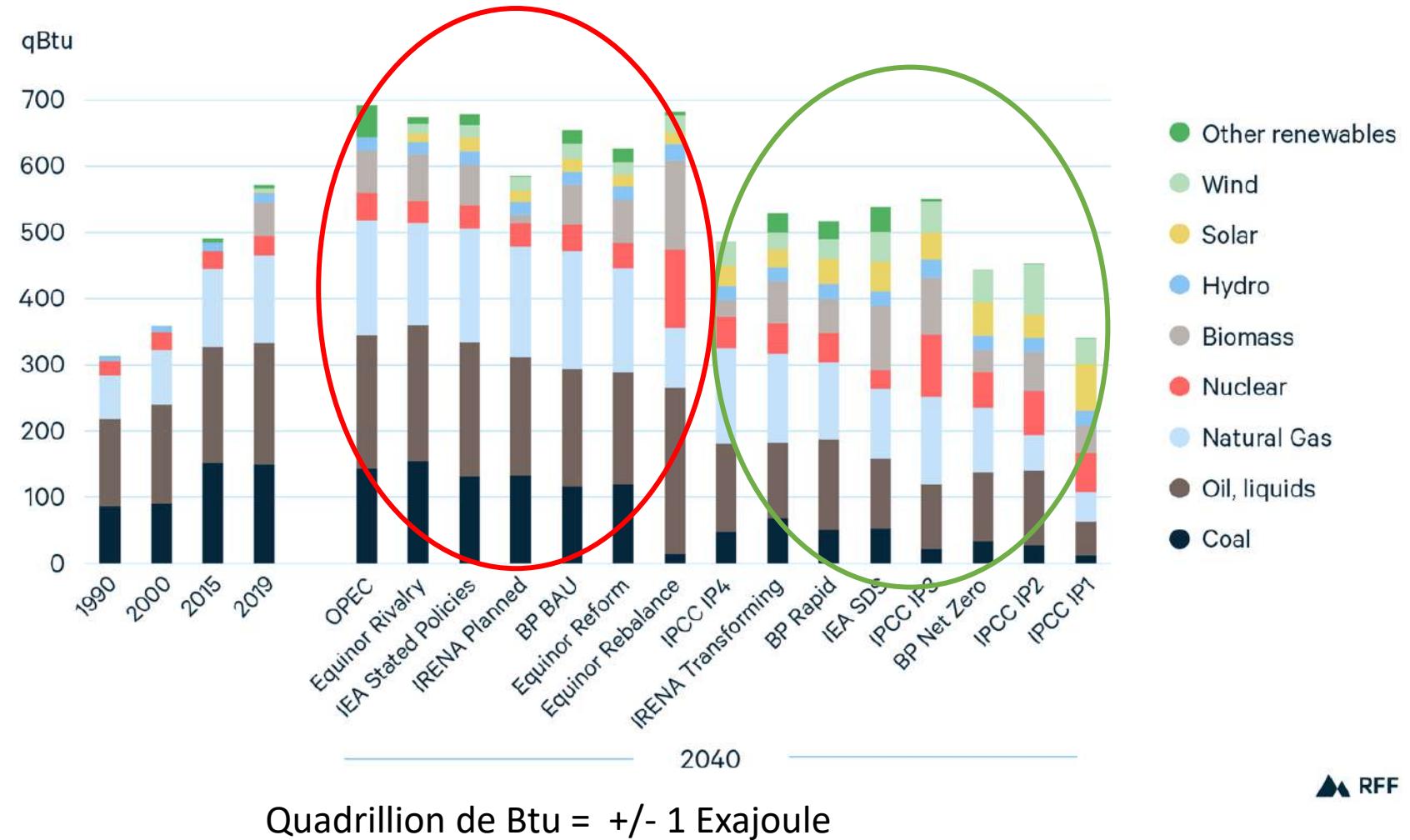
- 1- Les énergies et leur évolution au XXI ème siècle
- 2 - L'emprise du pétrole sur l'économie globale et comment évolue l'industrie pétrolière ?
- 3- Comment aller vers le monde énergétique d'après , sans pétrole ?
- 4- Conclusions : quels chemins pour la TE : est-ce possible ?

# Le monde énergétique de demain

De très nombreux scenarios !

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



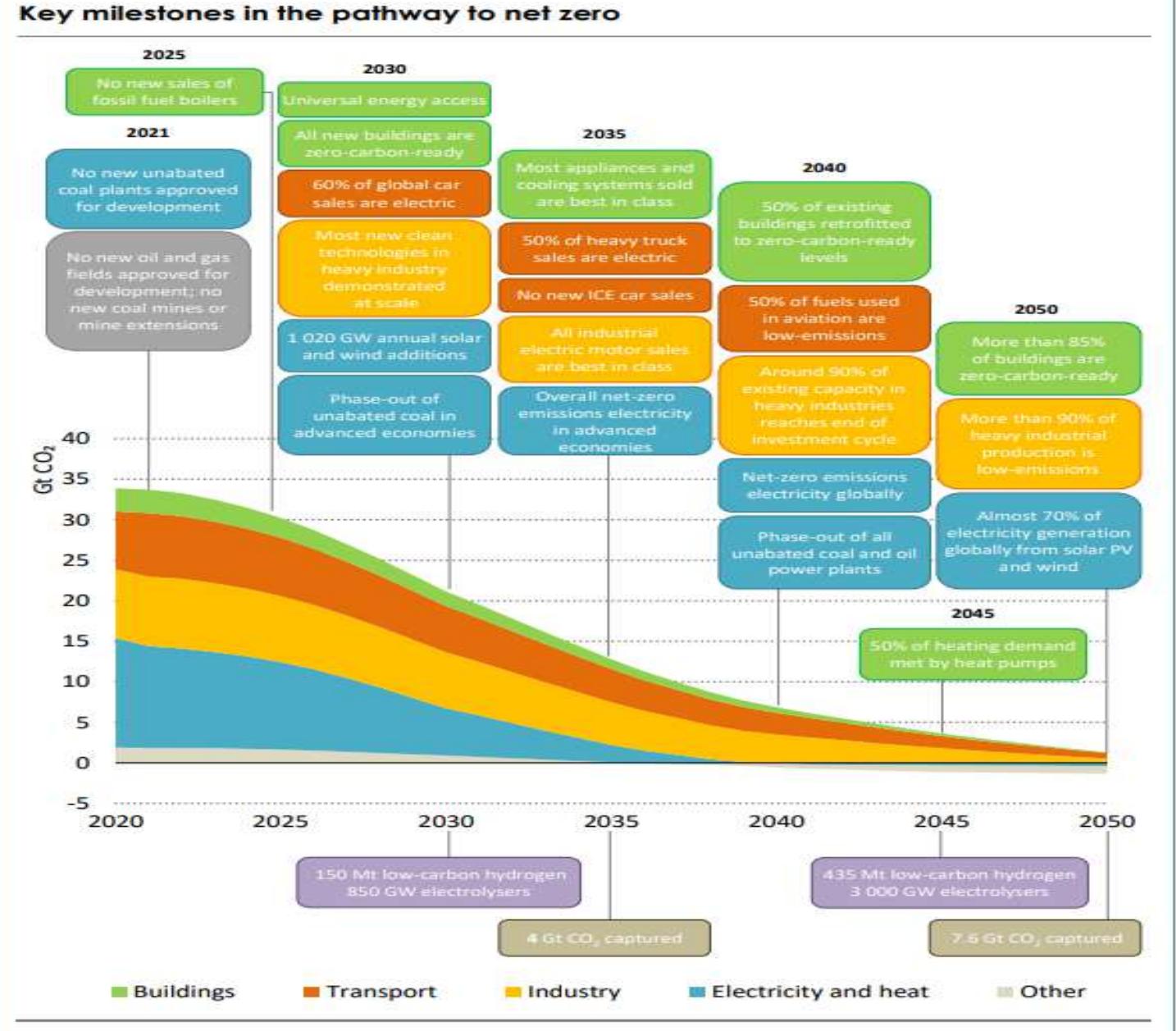
# Le chemin vers le Net Zero

**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 ?



# 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 MARCHE 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 (100aines de Milliards) pour la transition vers le NZE

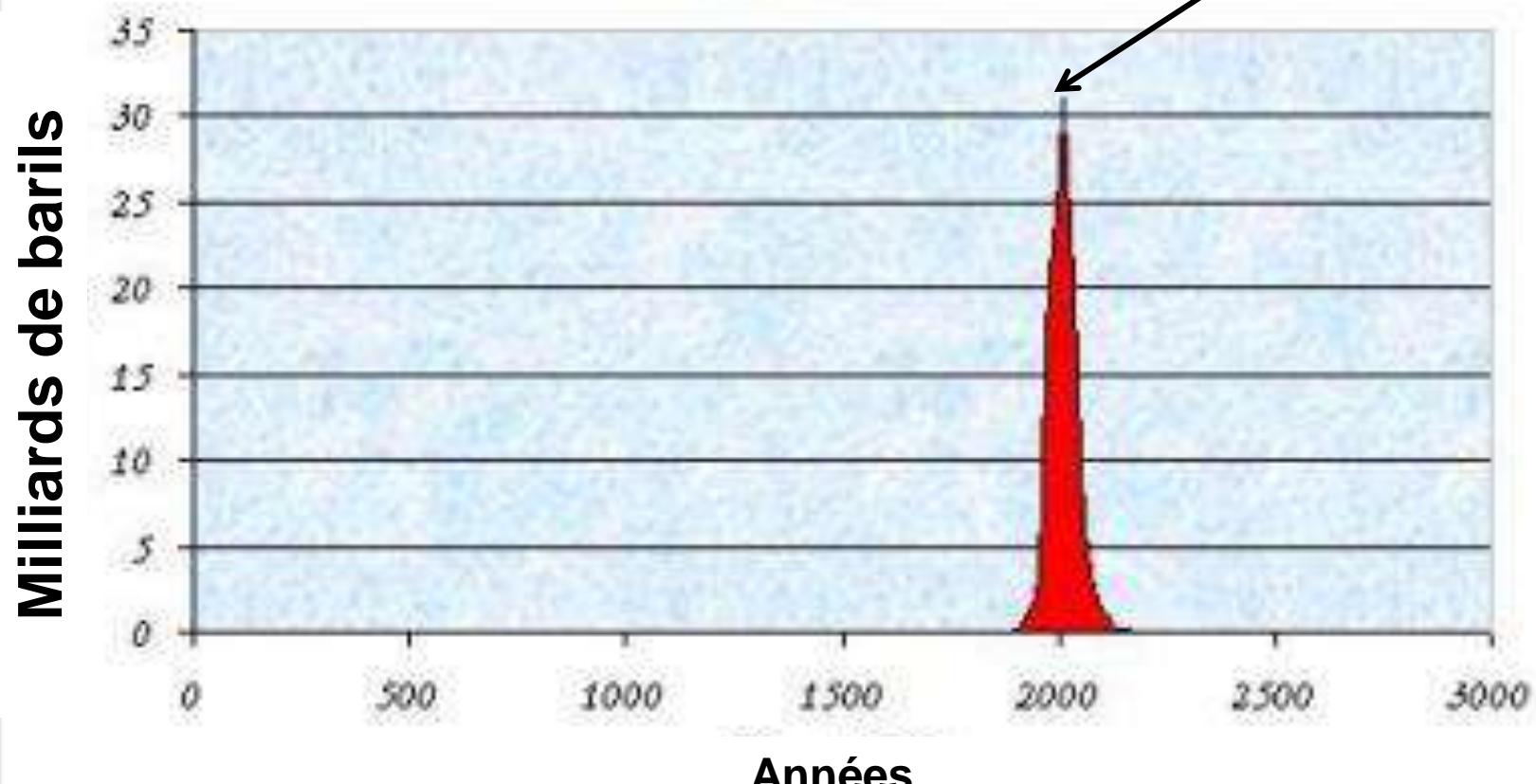
**Développement accéléré du ... solaire :** 320 GW installés en 2023 (+30 %par / 2022) grâce aux technologie nouvelles : couches minces Si, antireflets/Solar trackers/miniaturation électronique = - de Si, Ag, Ga, Cu

**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 »**

# L'âge du pétrole

# 100 Mb/j



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

# Références /pour aller plus loin...

**Babusiaux Denis, Bauquis Pierre-René** – 2017-Quelles réserves, 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

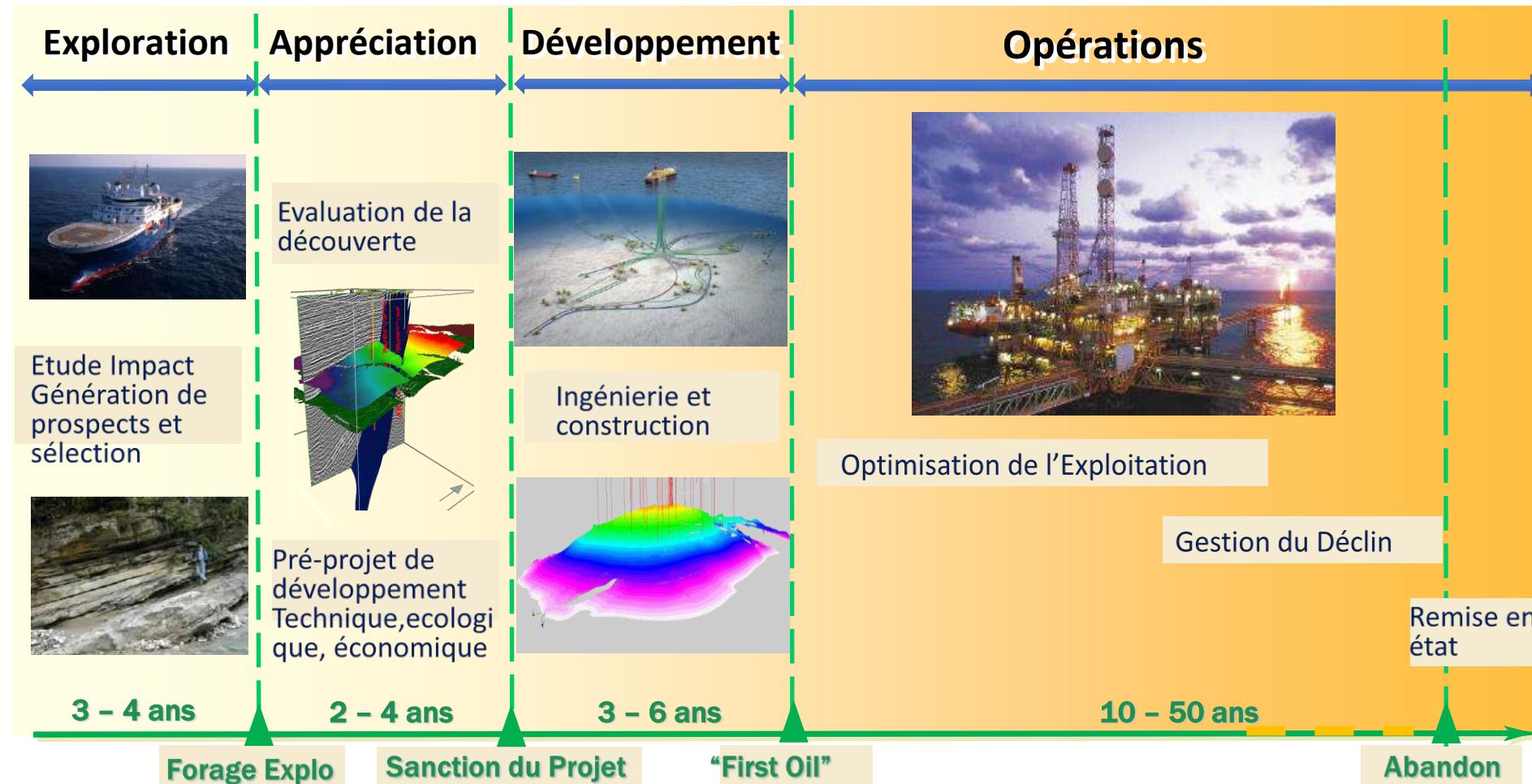
Merci beaucoup

pour votre attention



# Back-up slides

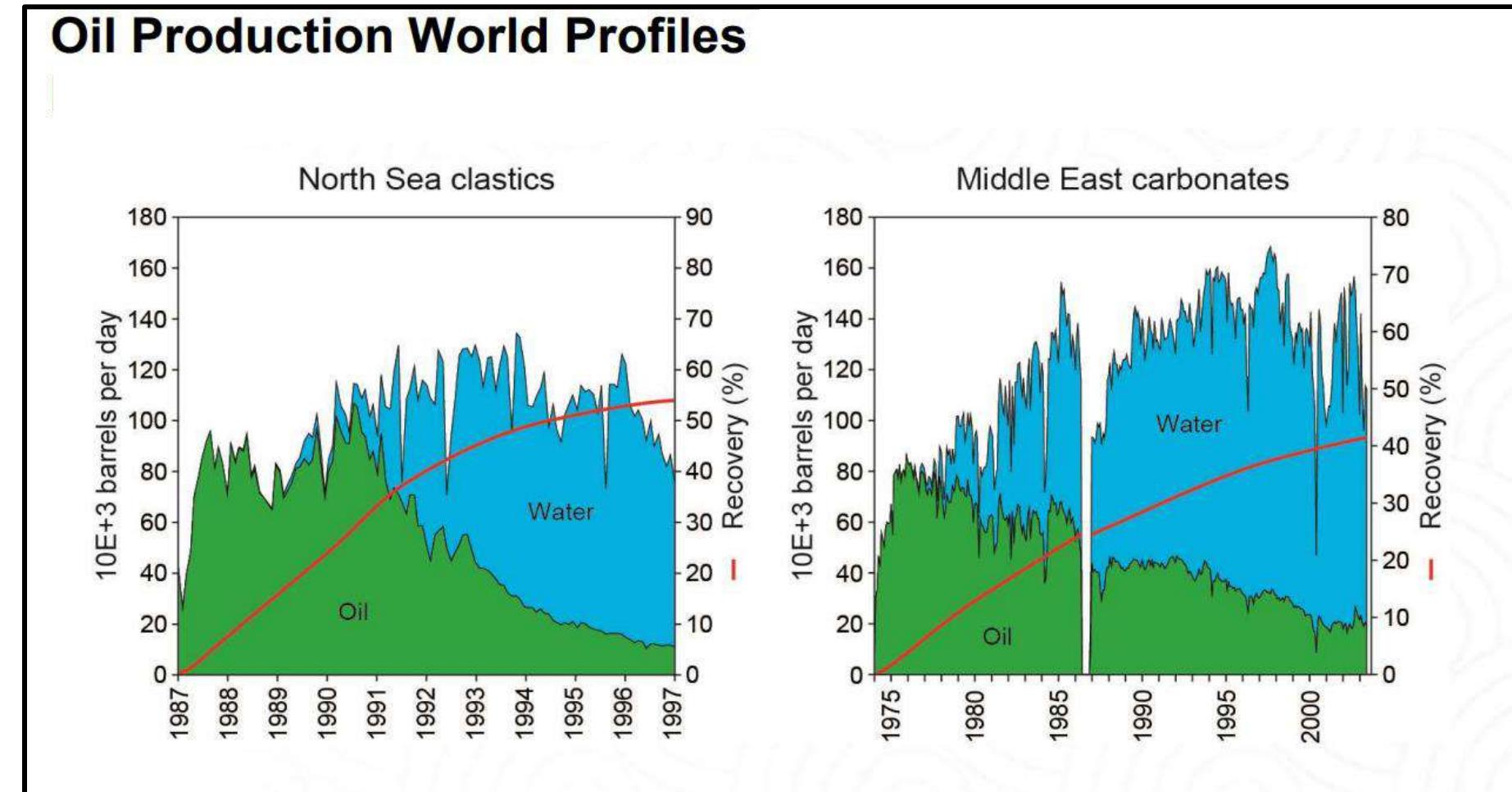
# Comment extraire du pétrole ?

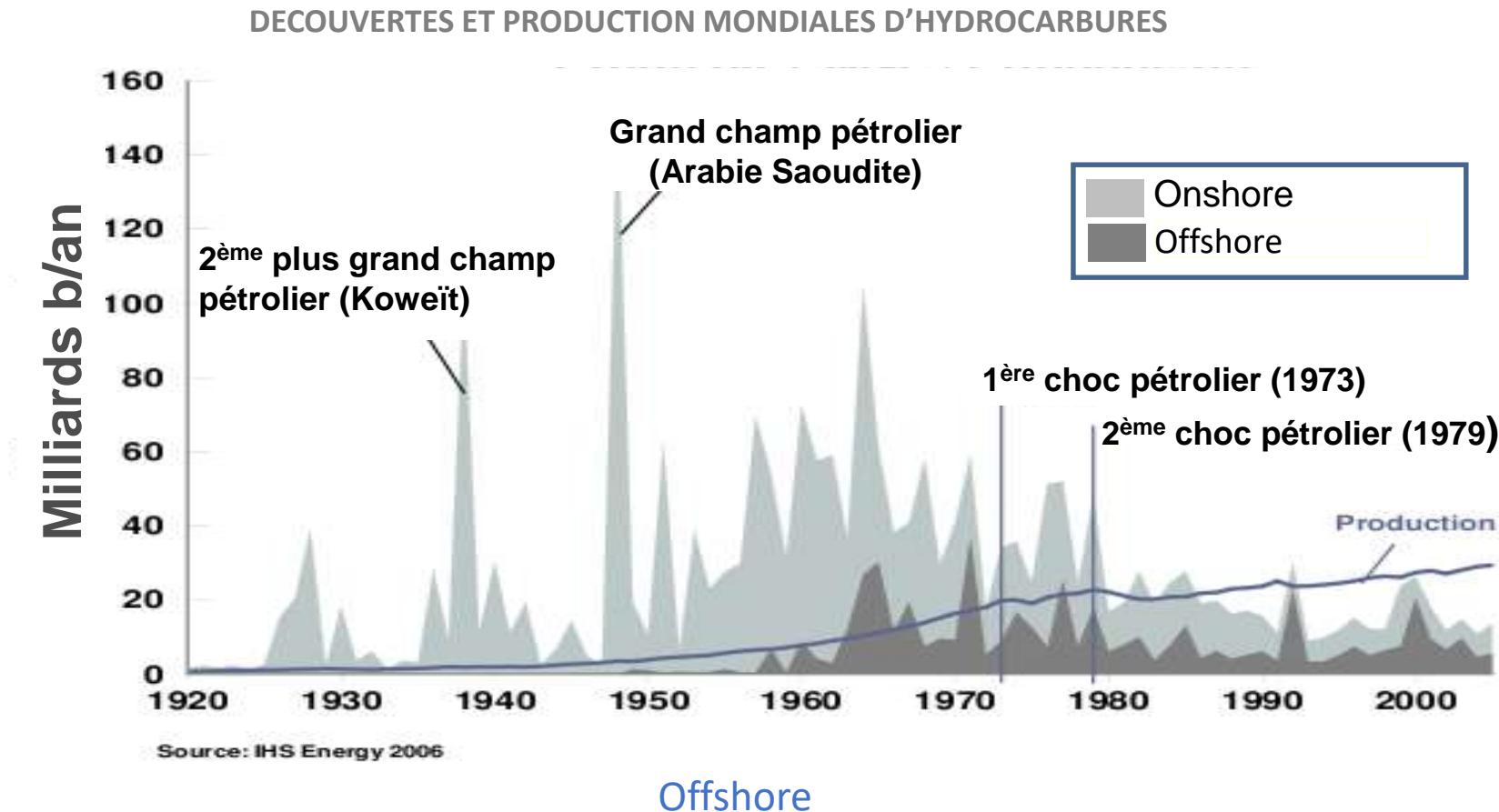


◀ La longue chaîne intégrée de l'Exploration-Production ▶

# 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





◀ Historique des découvertes d'hydrocarbures ▶

# 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**

