

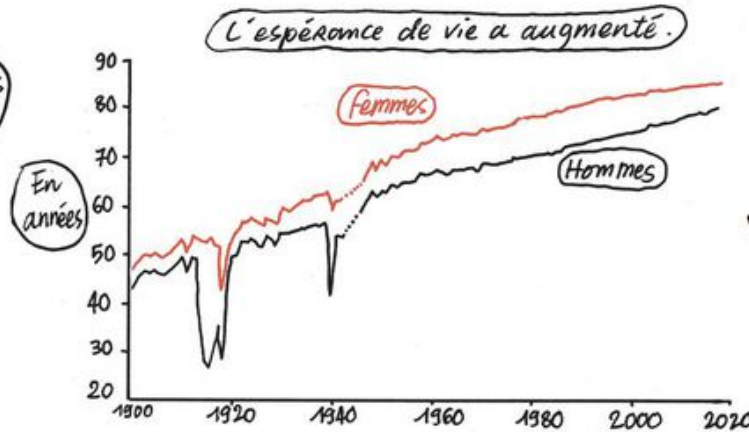


Les énergies décarbonées en Europe

Pourquoi et quelles solutions
sont possibles ?

"L'énergie abondante a changé nos vies"

L'énergie abondante a changé nos modes de vie



Le temps de travail a baissé



Il y a besoin de moins de temps pour produire beaucoup plus

Les machines ont permis d'augmenter la productivité du travail.



Avant-propos

- L'énergie c'est la productivité
- C'est l'augmentation du pouvoir d'achat et de l'espérance de vie
- L'énergie mondiale est à 80% carbonée
- Les énergies fossiles ont commencé à détraquer le climat
- L'Europe gros importateur d'énergie fossiles a intérêt à choisir la voie de la décarbonation et à réduire sa dépendance (relocalisation)

Les marchés de l'énergie et les progrès vers la transition énergétique

- Flambée des prix résultant d'une rupture de offre – demande
- La planète énergie a vécu une double révolution
- Depuis 2015 le monde a changé
- Un sentiment d'urgence à la COP 26
- Il s'agit de remplacer les équipements thermiques par des équipements électriques, de produire de l'électricité décarbonée, de produire des bioénergies et l'H₂ vert là où on ne peut pas décarboner et de capturer le CO₂ ou le réutiliser → incontournables pour atteindre la neutralité carbone
- Ou en est on? Passer au crible l'efficacité des solutions

Flambée des prix du pétrole : du jamais vu depuis 2014

Evolution du prix du baril de Brent
De 2012 jusqu'au 18 janvier 2022
en dollars



108 \$/b aujourd'hui

Les Prix ont explosé

GAZ

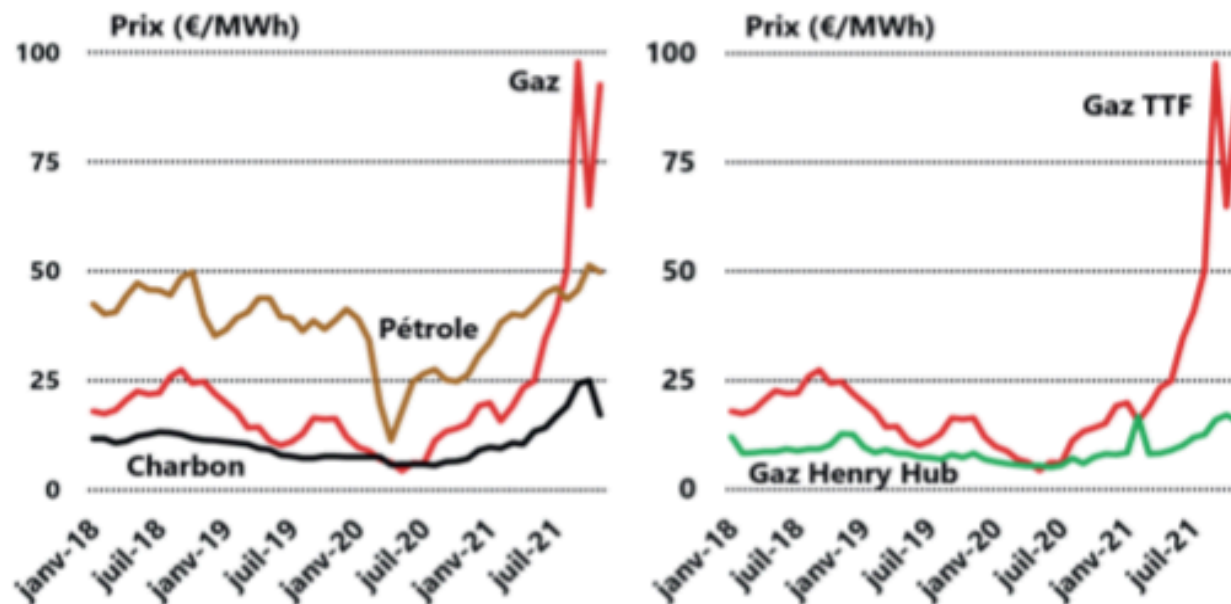
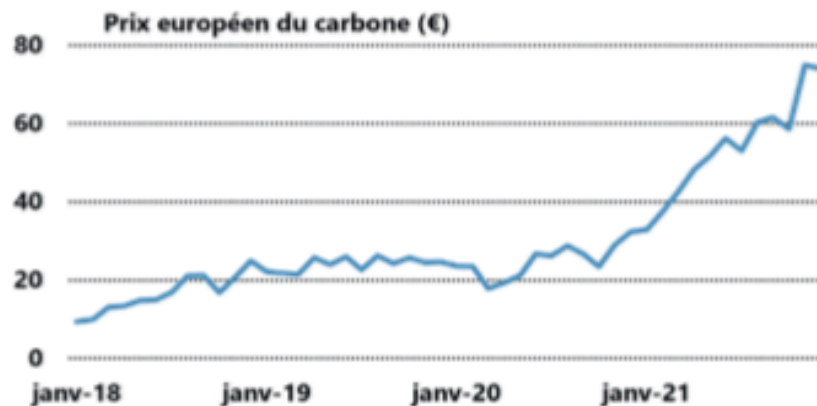


Figure 1. Historiques des prix depuis 2018

Source des données : investing.com, tradingeconomics, EIA



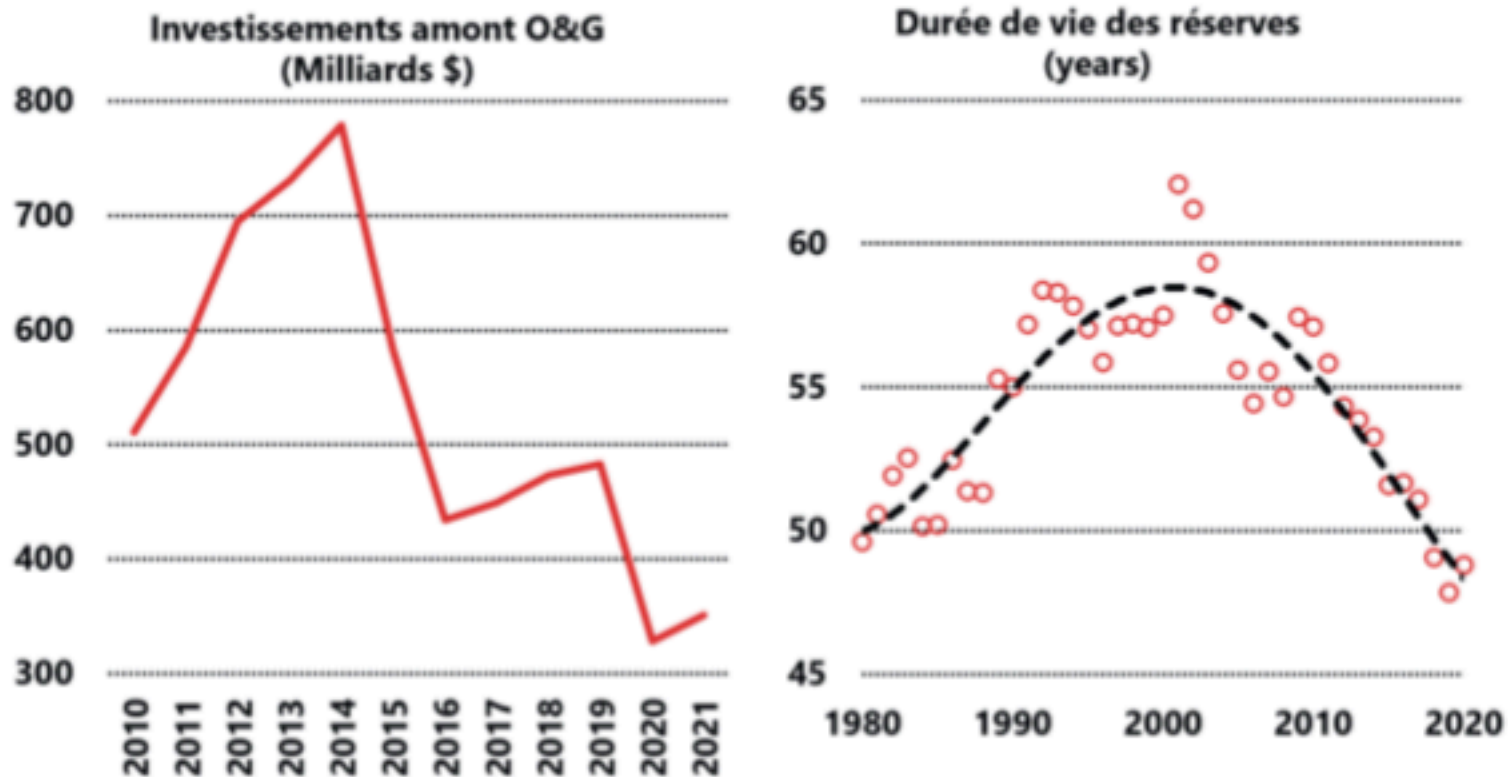


Figure 3. Investissements amont pétrolier et gazier
Durée de vie des réserves gazières

Source des données : IEA et BP Statistical Review 2021

Les investissements et la durée de vie des réserves ont chuté

Prix de l'énergie : digression conjoncturelle ou crise structurelle ?

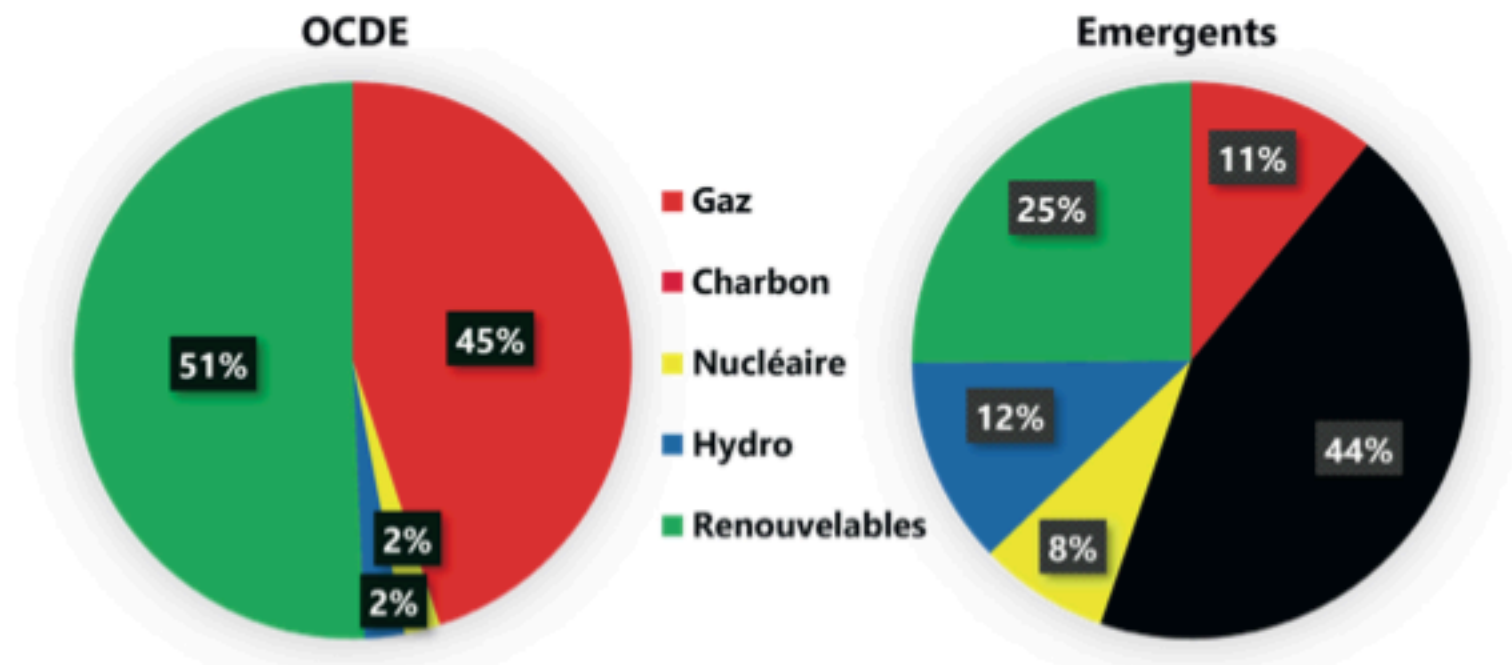


Figure 4. Accroissement de consommation électrique entre 2015 et 2019

Source des données : BP Statistical Review 2021

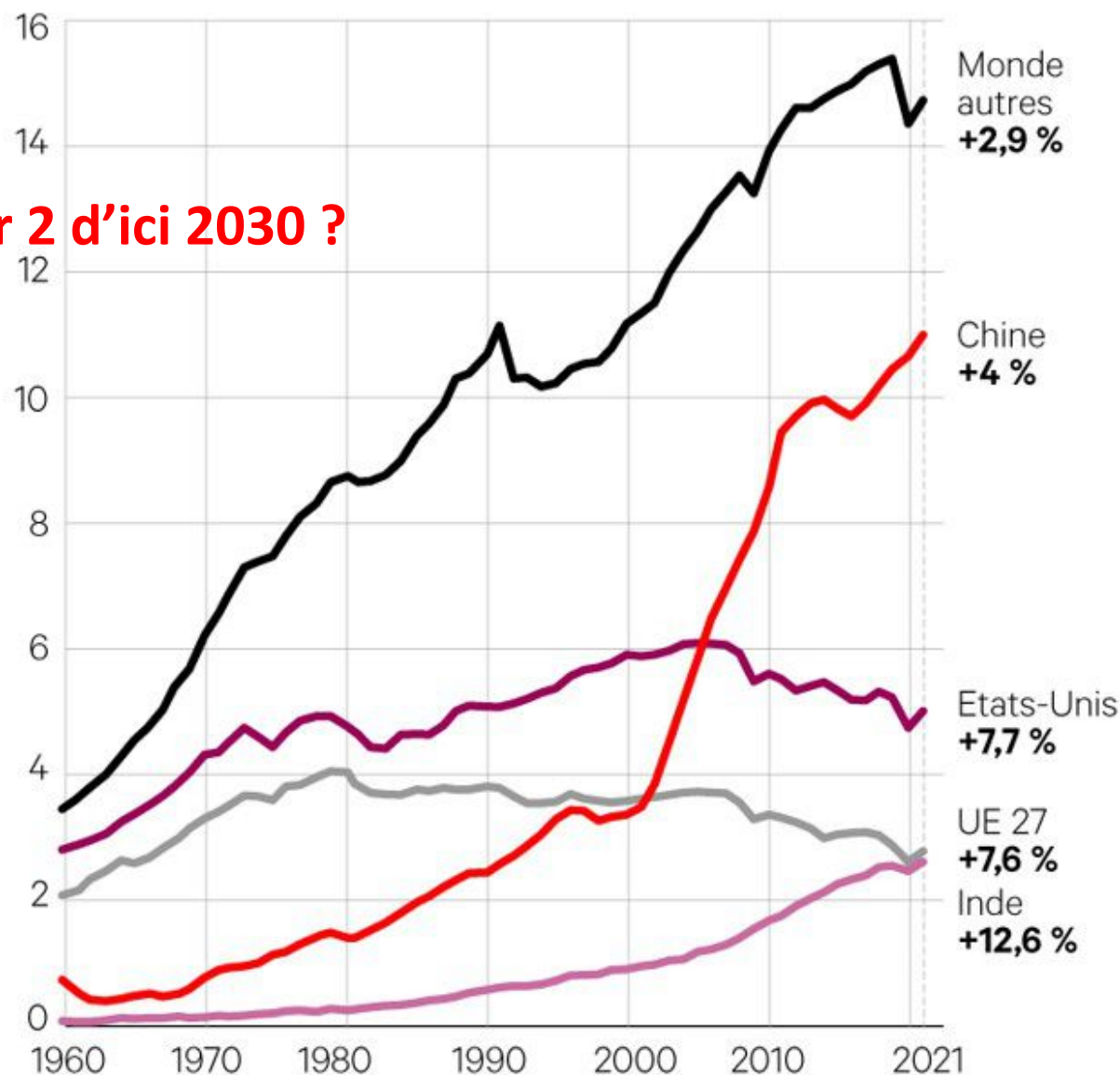
Prix de l'électricité explose et accroissement de la demande + 11%

Les prévisions d'émissions de CO₂ en 2021

En gigatonnes,
par grand émetteur

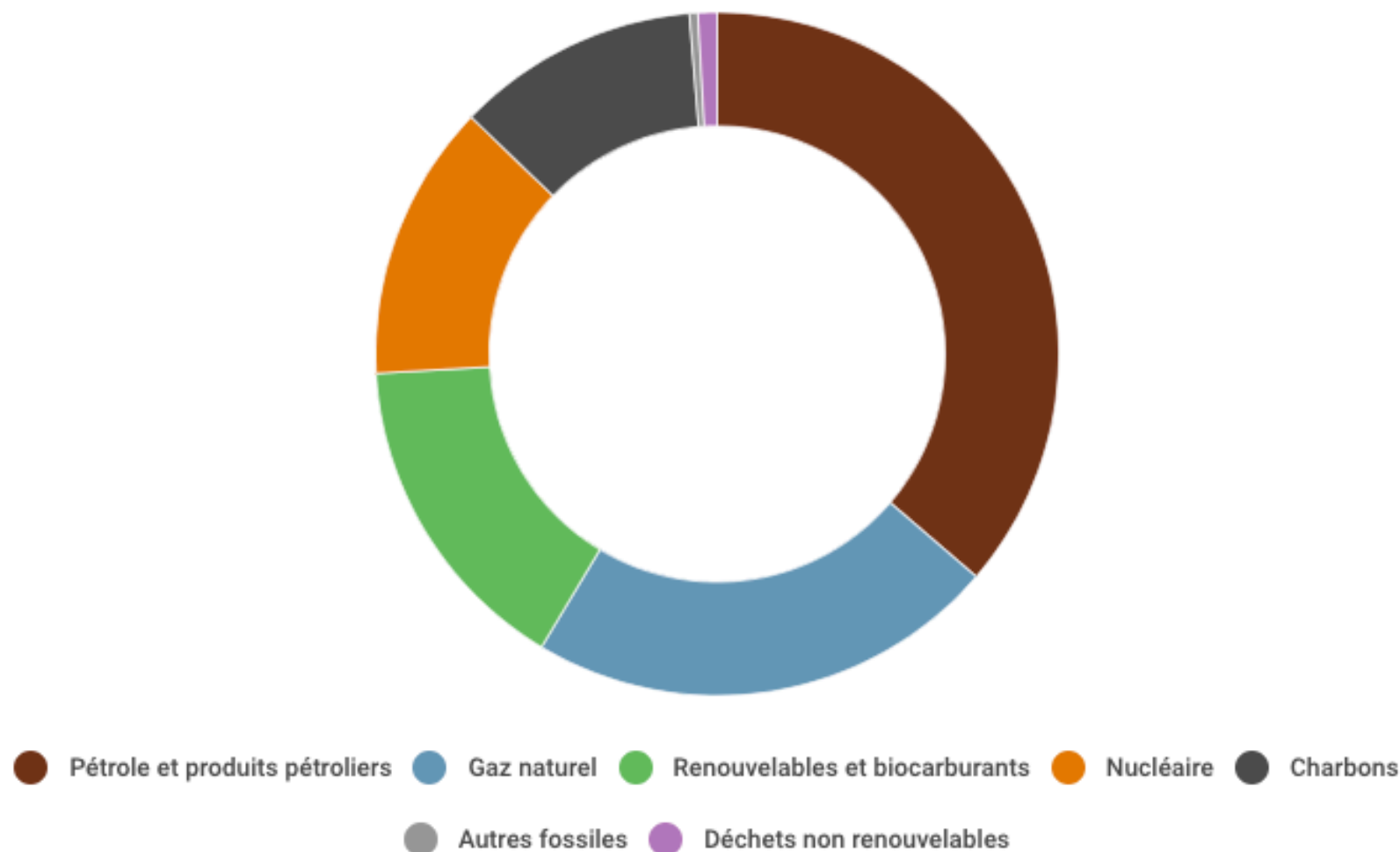
Evolution
2021/2020

Diviser par 2 d'ici 2030 ?



Le pétrole dominant

Energie brute disponible dans l'Union européenne (UE27, 2019)



Energie brute disponible dans l'Union européenne en 2019, en mégatonnes équivalent pétrole (Mtoe).

Données : Eurostat

Objectif décarbonner !

The Kaya Equation The Challenge to reach 2°C/1,5°C

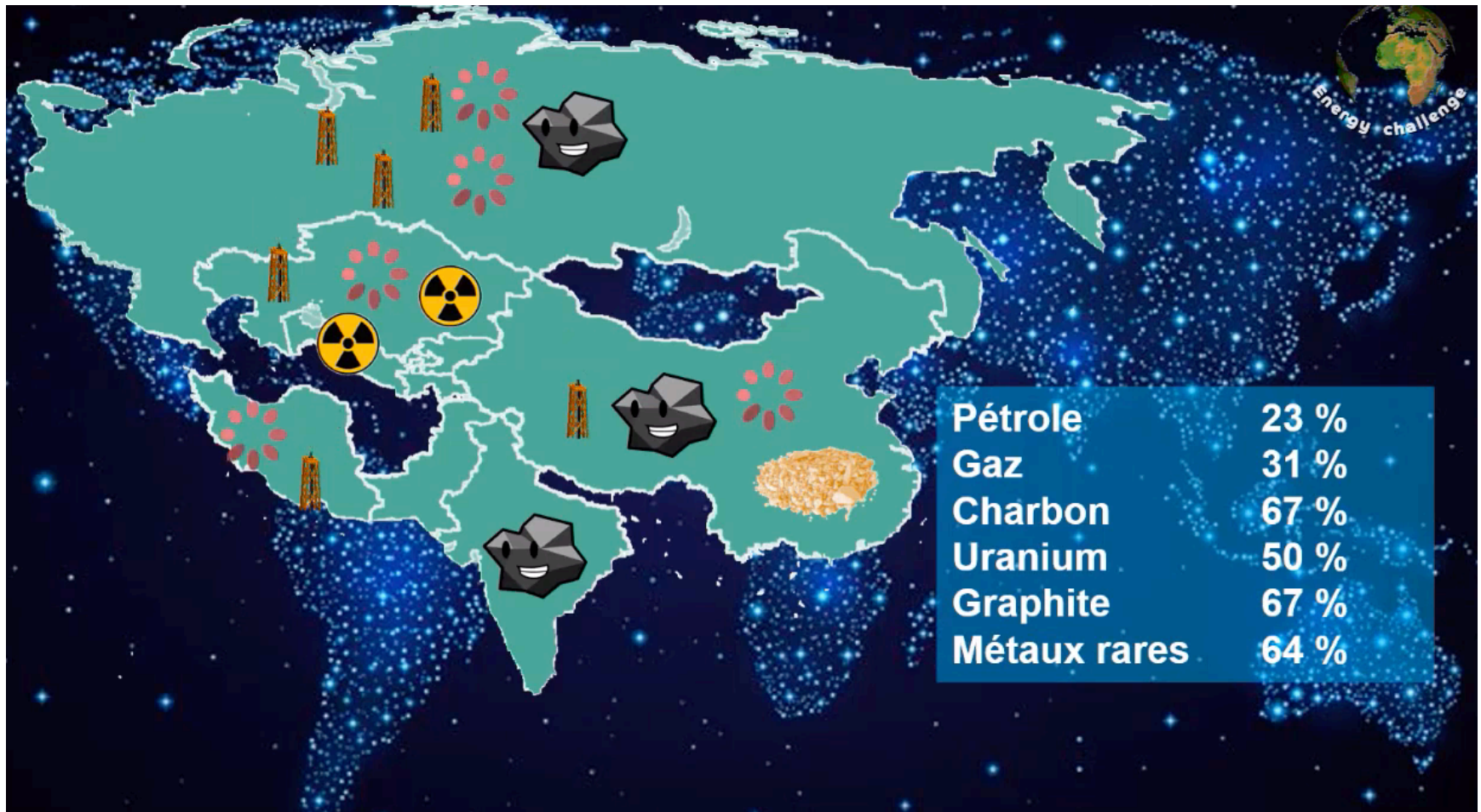
$$CO_2 = \frac{tCO_2}{toe} * \frac{toe}{k\$} * \frac{k\$}{Pop} * Pop$$



From now on to 2050, with the perspectives of Population Growth and World Economy Growth, the 2°C/1,5°C objective i.e. reducing CO2 emissions by a **factor 3** means **drastic** efforts to reduce both Carbon Intensity and Energy Intensity.

La terrifiante OCS

Le glissement vers l'Orient (60 % de la croissance mondiale)



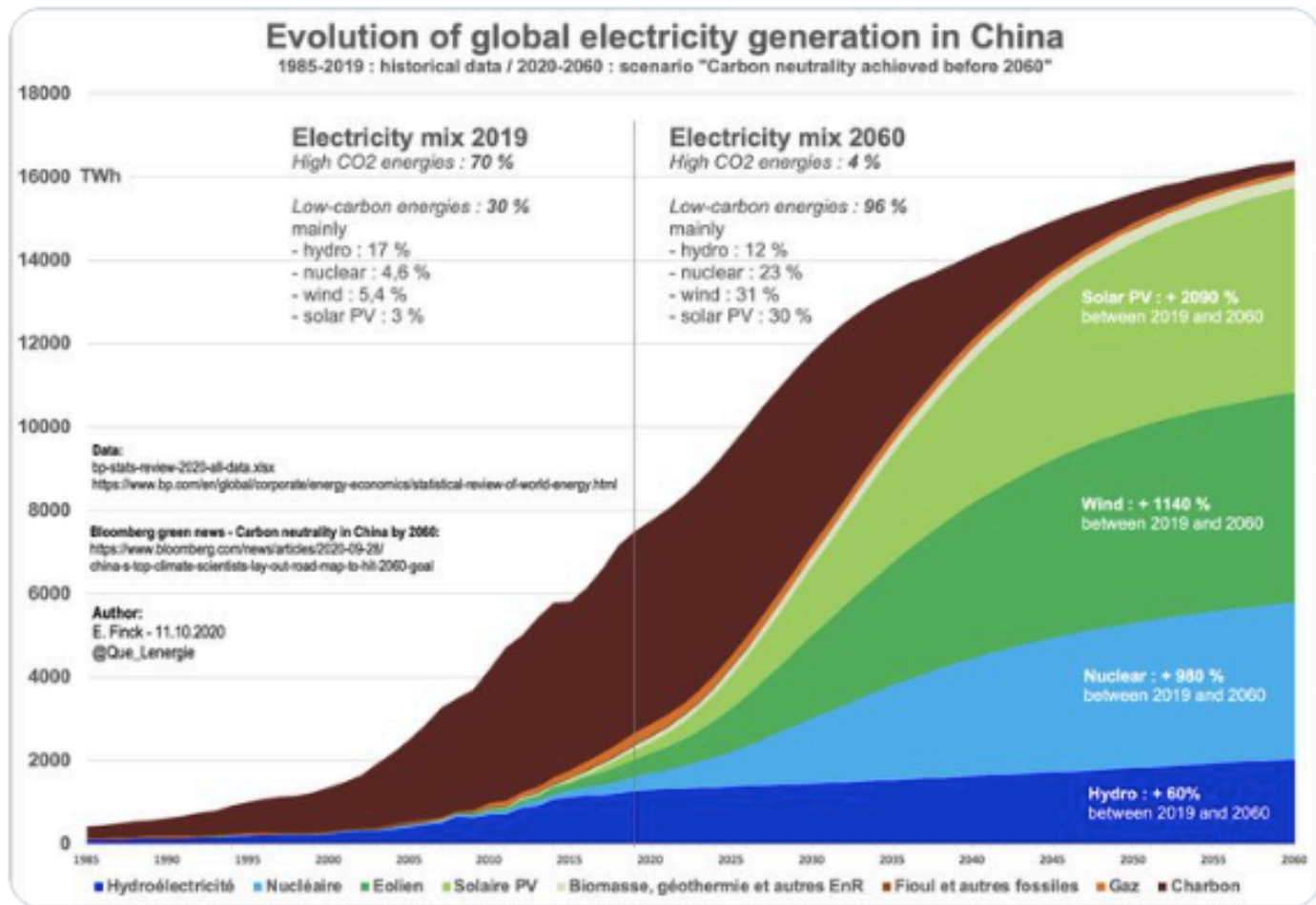
Détient tous les leviers énergétiques pour imposer sa vision du monde

Nouvelle dépendance pour l'UE



Les nouvelles sources d'énergie et nouveaux modes de consommation impliquent un recours accru à différents métaux.

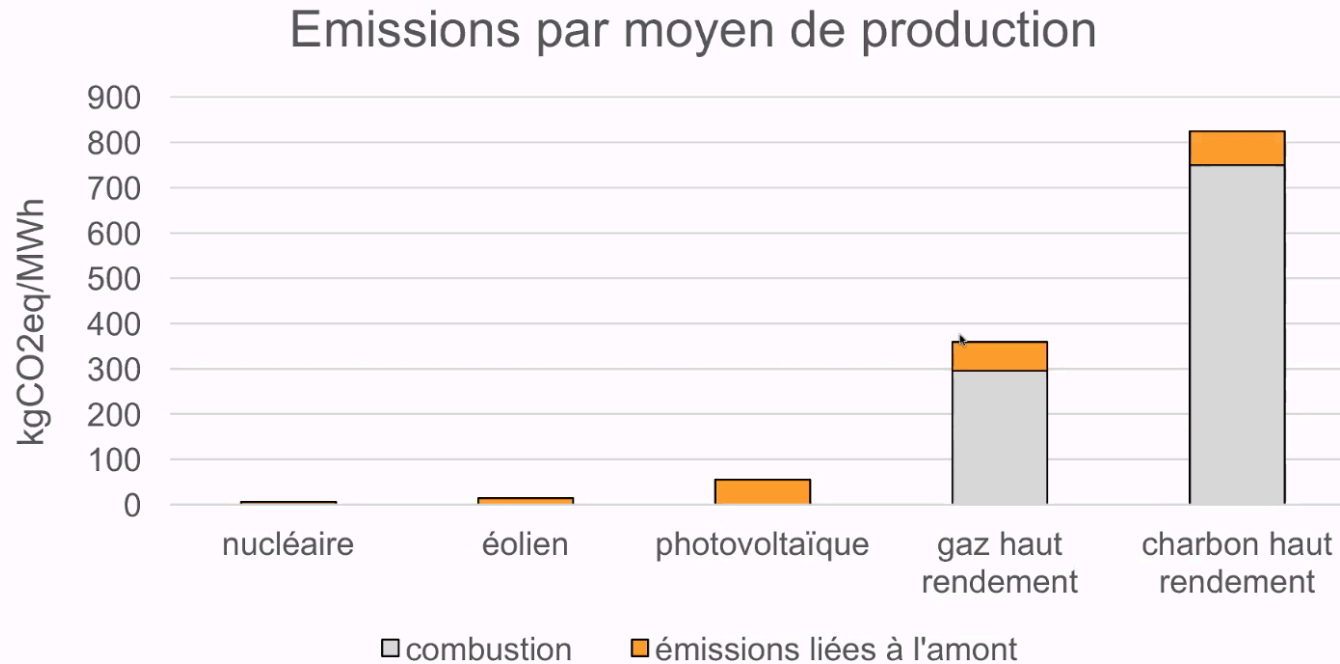
Xi Jinping, 22.09.2020:



Six observations

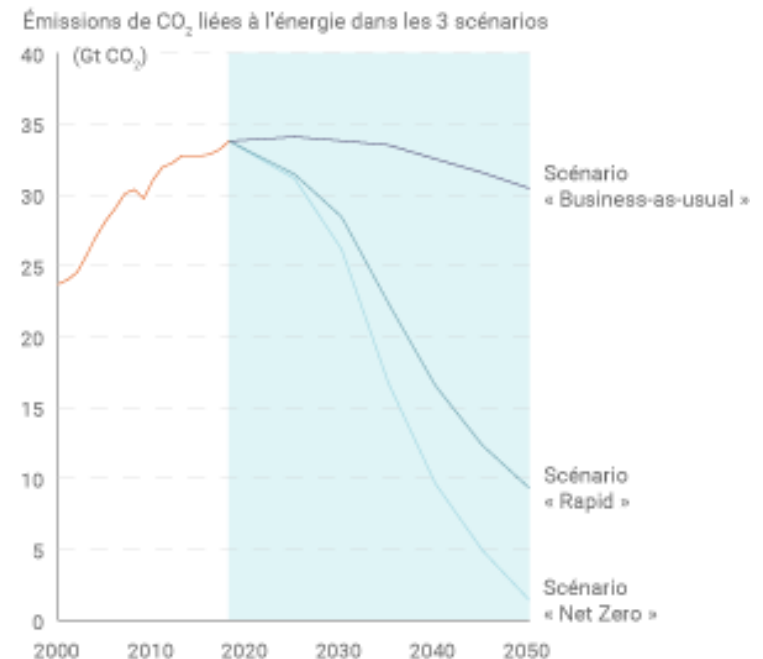
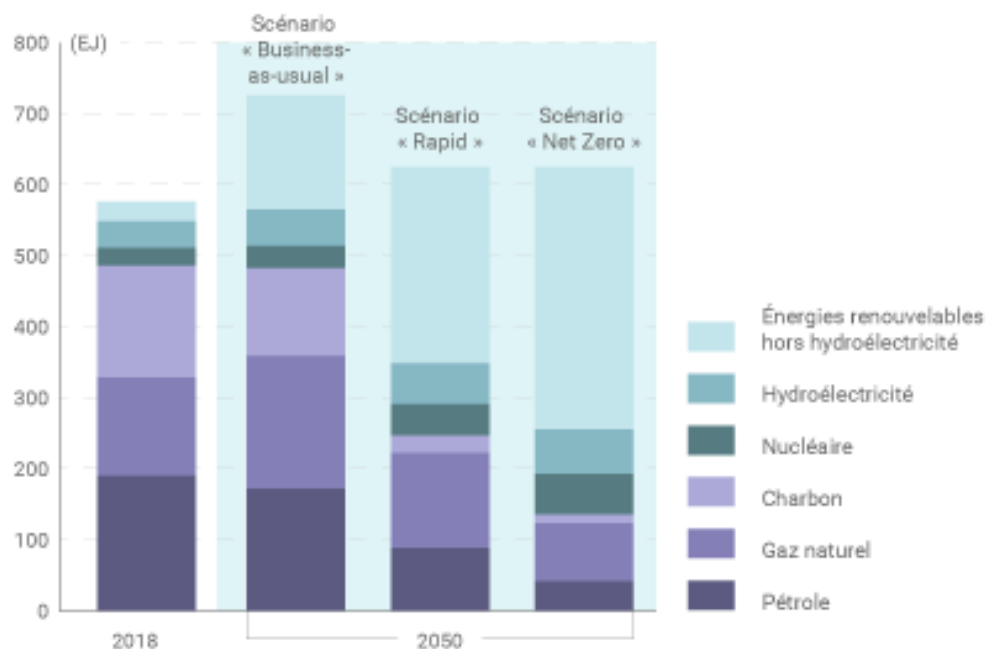
- CO2 emissions have increased by 60% since 1992
- L'urgence: il faut décarboner en 30 ans
- Une approche globale
- Les coûts seront importants
- Adopter des mesures efficaces
- Le frein : le prix de l'électricité qui augmente plus vite que celui des énergies fossiles

Quelles sont les émissions de CO₂ par technologie ?



Un recul majeur des énergies fossiles au profil des filières décarbonées selon BP

Monde Consommation d'énergie primaire en 2018 et prévisions de BP d'ici à 2050



Scénario « Business-as-usual » dans la lignée des politiques récentes et actuelles.

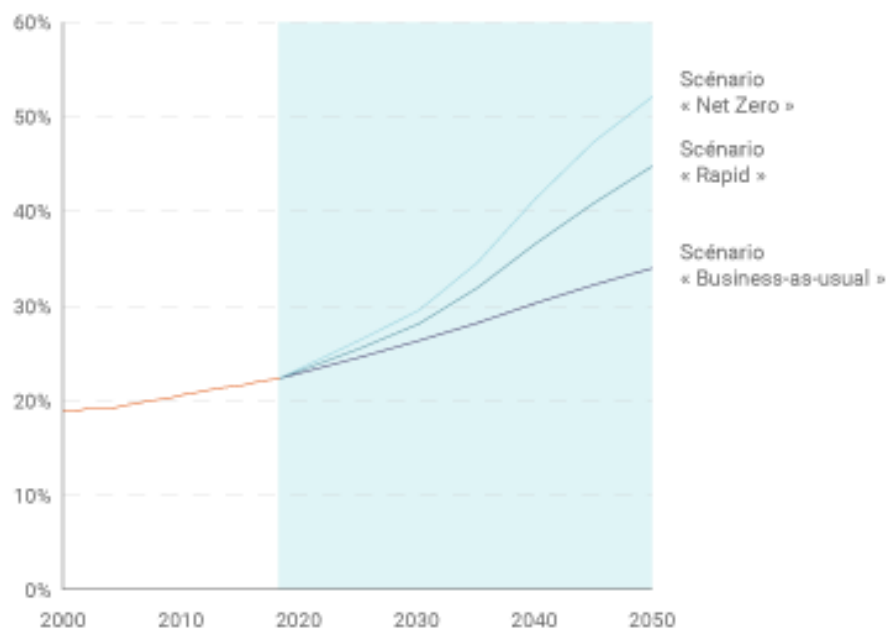
Scénario « Rapid » compatible avec l'accord de Paris sur le climat (objectif de limiter le réchauffement climatique bien en dessous de 2°C d'ici 2100 par rapport aux températures de l'ère préindustrielle), forte augmentation du prix du CO₂.

Scénario « Net Zero » compatible avec un réchauffement limité à 1,5°C, changements majeurs de comportements.

Source : BP Energy Outlook 2020.

Électricité et hydrogène, deux vecteurs moteurs de la transition

Monde L'électricité dans la consommation finale d'énergie d'ici 2050 selon les scénarios de BP

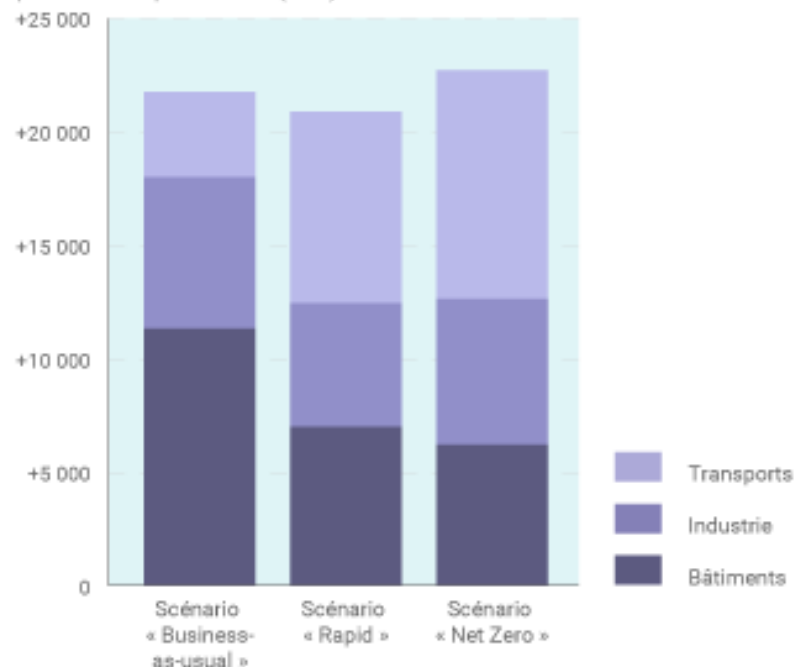


Scénario « Business-as-usual » dans la lignée des politiques récentes et actuelles.

Scénario « Rapid » compatible avec l'accord de Paris sur le climat (objectif de limiter le réchauffement climatique bien en dessous de 2°C d'ici 2100 par rapport aux températures de l'ère préindustrielle), forte augmentation du prix du CO₂.

Scénario « Net Zero » compatible avec un réchauffement limité à 1,5°C, changements majeurs de comportements.

Hausse de la consommation annuelle d'électricité entre 2018 et 2050, par secteur et par scénario (TWh)

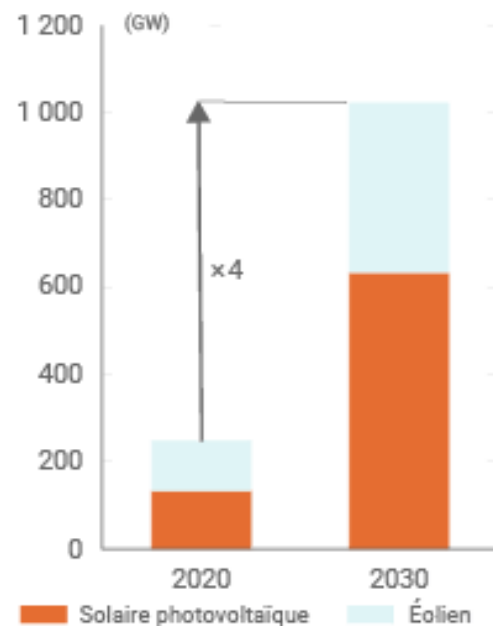


Source : BP Energy Outlook 2020.

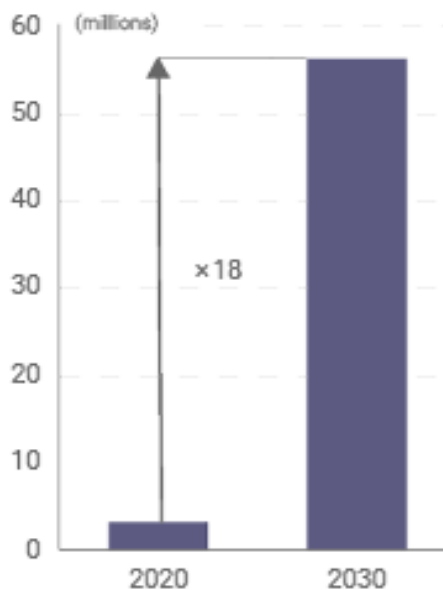
les implications d'un scénario de neutralité carbone à l'horizon 2030

Scénario Net Zero de l'AIE Montée en puissance de technologies bas carbone envisagée d'ici 2030

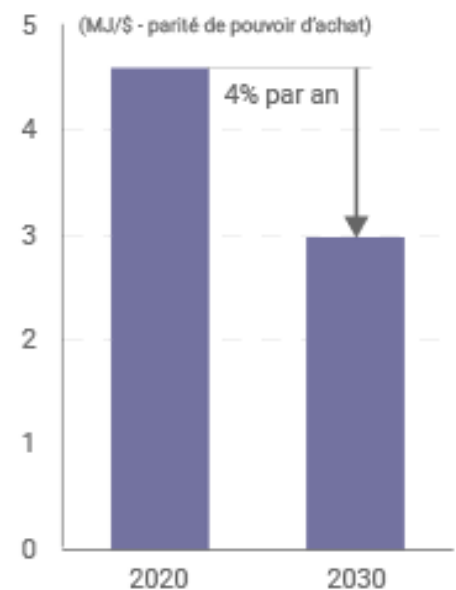
Ajouts de capacités électriques



Ventes de voitures électriques



Intensité énergétique du PIB



L'électrification réduit le besoin d'énergie grâce au meilleur rendement des systèmes électriques



Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO₂ avec transfert vers la **pompe à chaleur**



Réduction de la consommation finale

-78%

Réduction des émissions de CO₂

-76%

Efficacité énergétique et réduction des émissions de CO₂ avec transfert vers la **voiture électrique**



-70%

-70%



En utilisant une technologie électrique, même sans décarbonation supplémentaire du mix électrique, des améliorations significatives peuvent être obtenues !

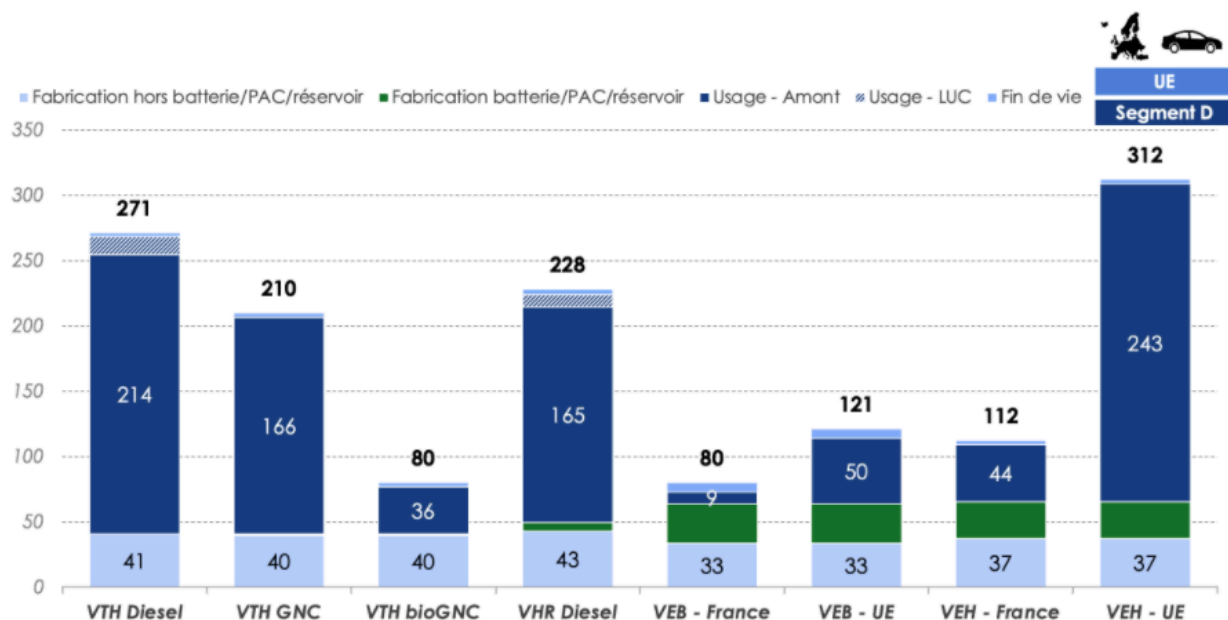
L'énergie verte aussi sera une bataille géopolitique

- La transition sera dépendante des ressources minières (X par 7 d'ici 2030)
- Le système électrique sera fondé sur le gaz, solaire, l'éolien et les centrales nucléaires
- Sept métaux cruciaux pour l'électrification de l'économie(batteries, composants d'éoliennes et PV et électrolyseurs)
- La manne des matières premières de la TE devrait représenter 1000 milliards de \$ par an dès 2040

La Palme revient au VE à Batterie

2020 : VEB et VTH-bioGNC ont des empreintes carbone similaires, bien meilleures que les VTH

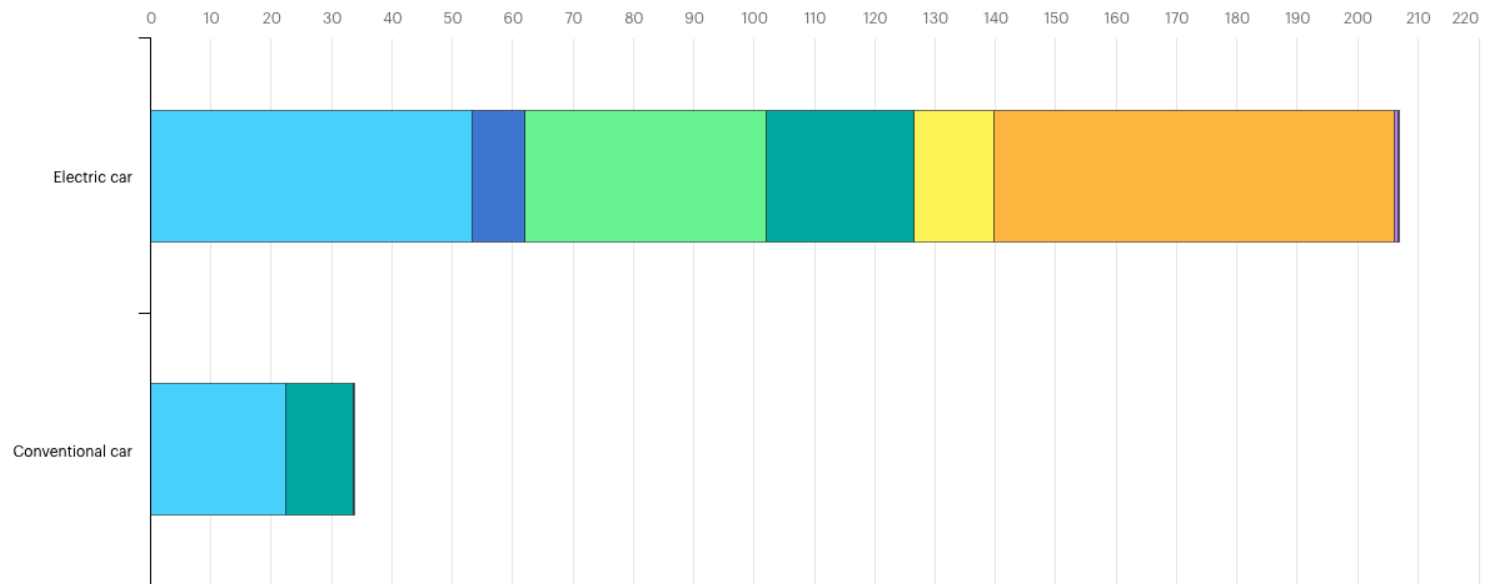
Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'une voiture de segment D vendue en 2020
France et UE | gCO₂e/km



VTH = Thermique ; VHR = Hybride Rechargeable ; VEB = Batteries ; VEH = Hydrogène (électrolyse)

Minerals used in electric cars compared to conventional cars

kg/vehicle



IEA. All Rights Reserved

● Copper ● Lithium ● Nickel ● Manganese ● Cobalt ● Graphite ● Zinc ● Rare earths ● Others

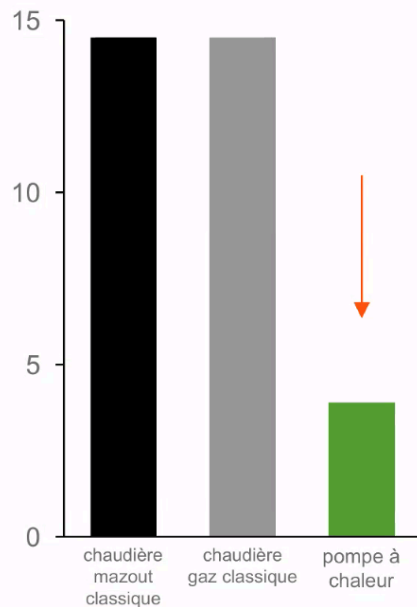
Comparaison technique des différentes motorisations

Moteur	Stock	Conso	Prix	Autonomie	Prix / km	CO2
	l	l/100km	€/l			
	kg	Kg/100km	€/kg	km	€/100km	g/km
	kwh	Kwh/100km	€/kwh			
Essence	50	5,8	1,35	862	7,8	146
Diesel	50	4,5	1,3	1111	5,8	135
GNV	21	4,4	1,06	477	4,7	117
Electricité	28	20	0,25	140	5,0	0

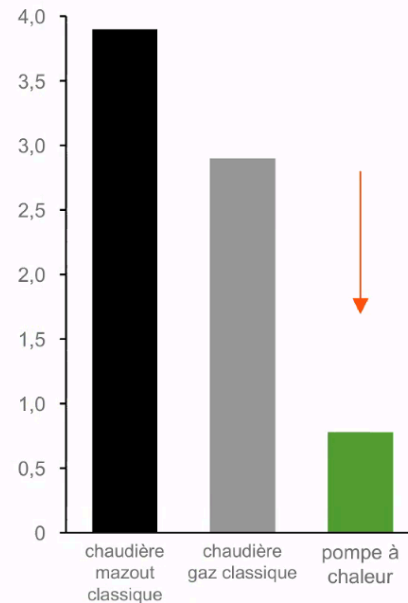
Coût de la batterie = 7000 € ou 1000 €/a

La facture de chauffage avec pompe à chaleur reste élevée malgré une baisse importante de consommation et une réduction des émissions

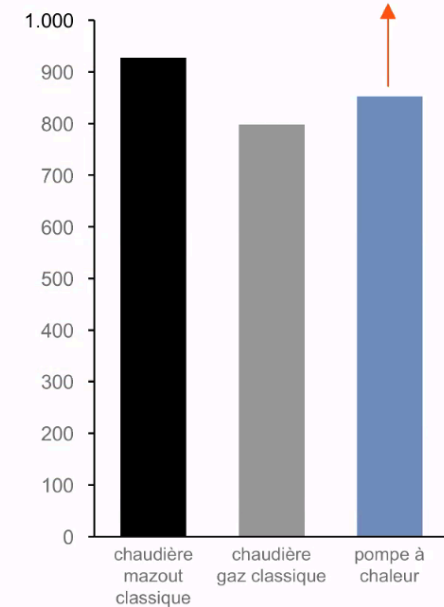
MWh/an



tCO2/an



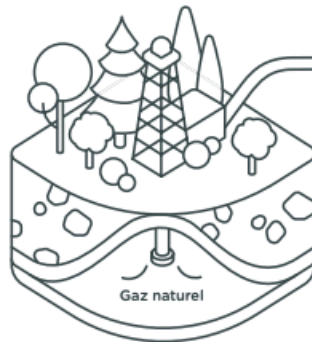
Facture €/an



Exemple d'un consommateur moyen à Bruxelles

L'hydrogène, vecteur d'énergie d'avenir

2 procédés de production et 3 couleurs à retenir



①
À PARTIR
D'ÉNERGIES FOSSILES



Hydrogène gris

Le gaz naturel est exposé à de la vapeur d'eau très chaude et libère l'hydrogène qu'il contient. C'est le procédé le plus courant mais il présente l'inconvénient de rejeter du CO_2 .

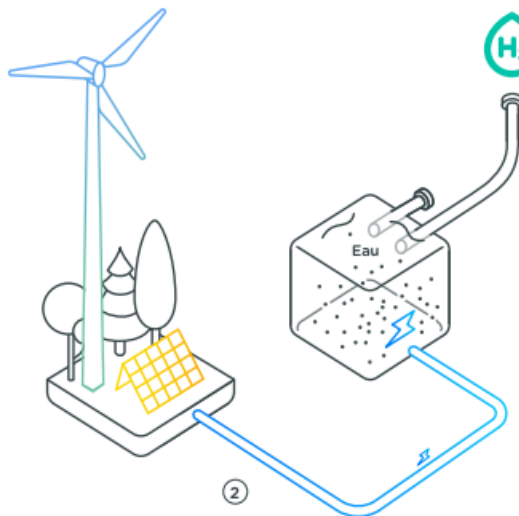
1,5 €/Kg



Hydrogène bleu

Pour décarboner l'hydrogène gris, il est possible de capter et stocker le CO_2 émis lors de la libération de l'hydrogène qui prend alors le nom d'hydrogène bleu.

3,5 €/Kg



②
À PARTIR
D'ÉNERGIES RENOUVELABLES



Hydrogène vert

Il est produit par électrolyse de l'eau à partir d'énergies renouvelables. C'est l'hydrogène au potentiel le plus intéressant pour le futur.

5-8 €/Kg

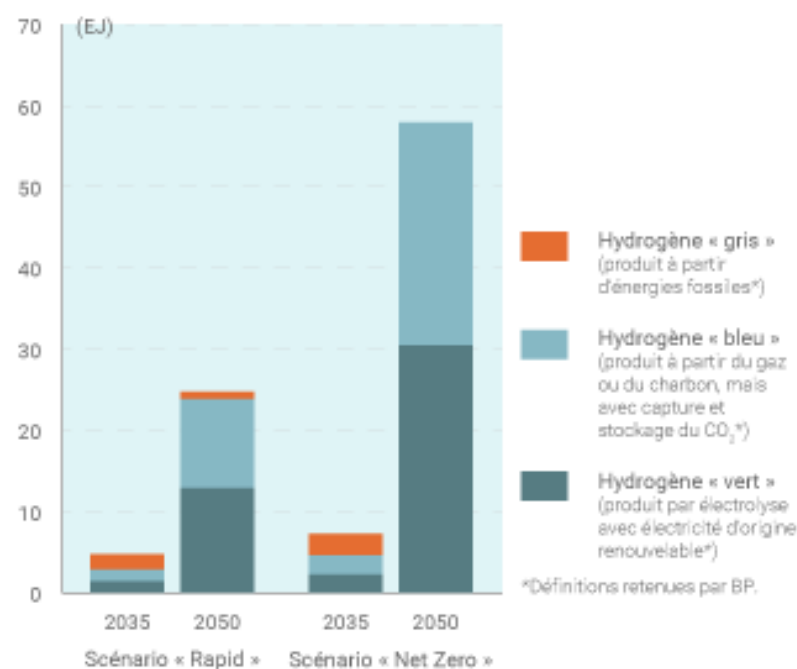
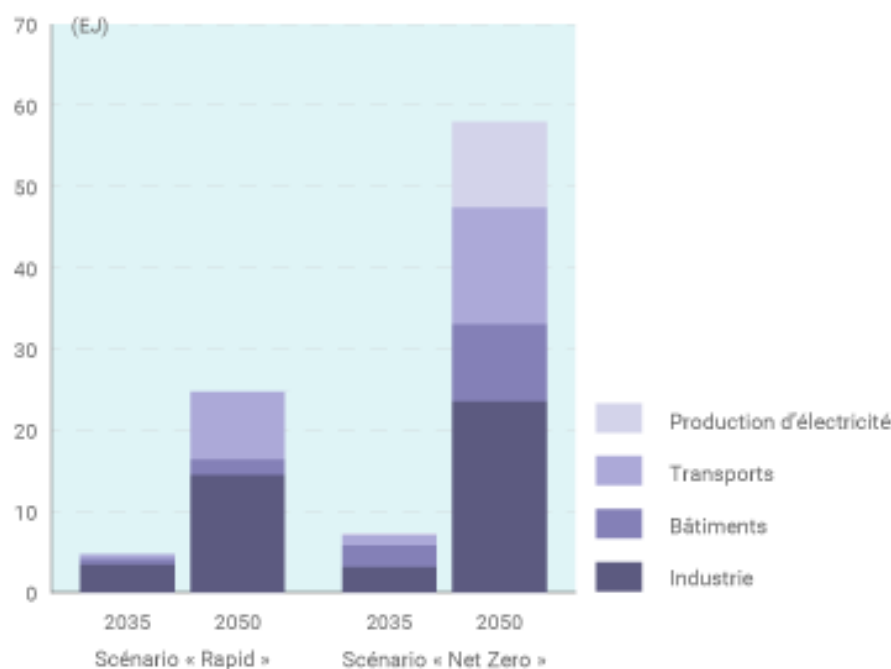
4 DOMAINES D'APPLICATION DE L'HYDROGÈNE VERT

- Il peut être injecté dans les réseaux de gaz naturel et contribuer à sa décarbonation.
- En offrant une solution de stockage des énergies renouvelables, il permet de pallier leur intermittence.
- Associé à une pile à combustible, il permet de développer la mobilité électrique.
- Il permet de décarboner les procédés industriels.

Futur Hub

H2

Hydrogène Mode de production et consommation par secteur en 2035 et 2050



Scénario « Rapid » compatible avec l'accord de Paris sur le climat (objectif de limiter le réchauffement climatique bien en dessous de 2°C d'ici 2100 par rapport aux températures de l'ère préindustrielle), forte augmentation du prix du CO₂.

Scénario « Net Zero » compatible avec un réchauffement limité à 1,5°C, changements majeurs de comportements.

Source : BP Energy Outlook 2020.

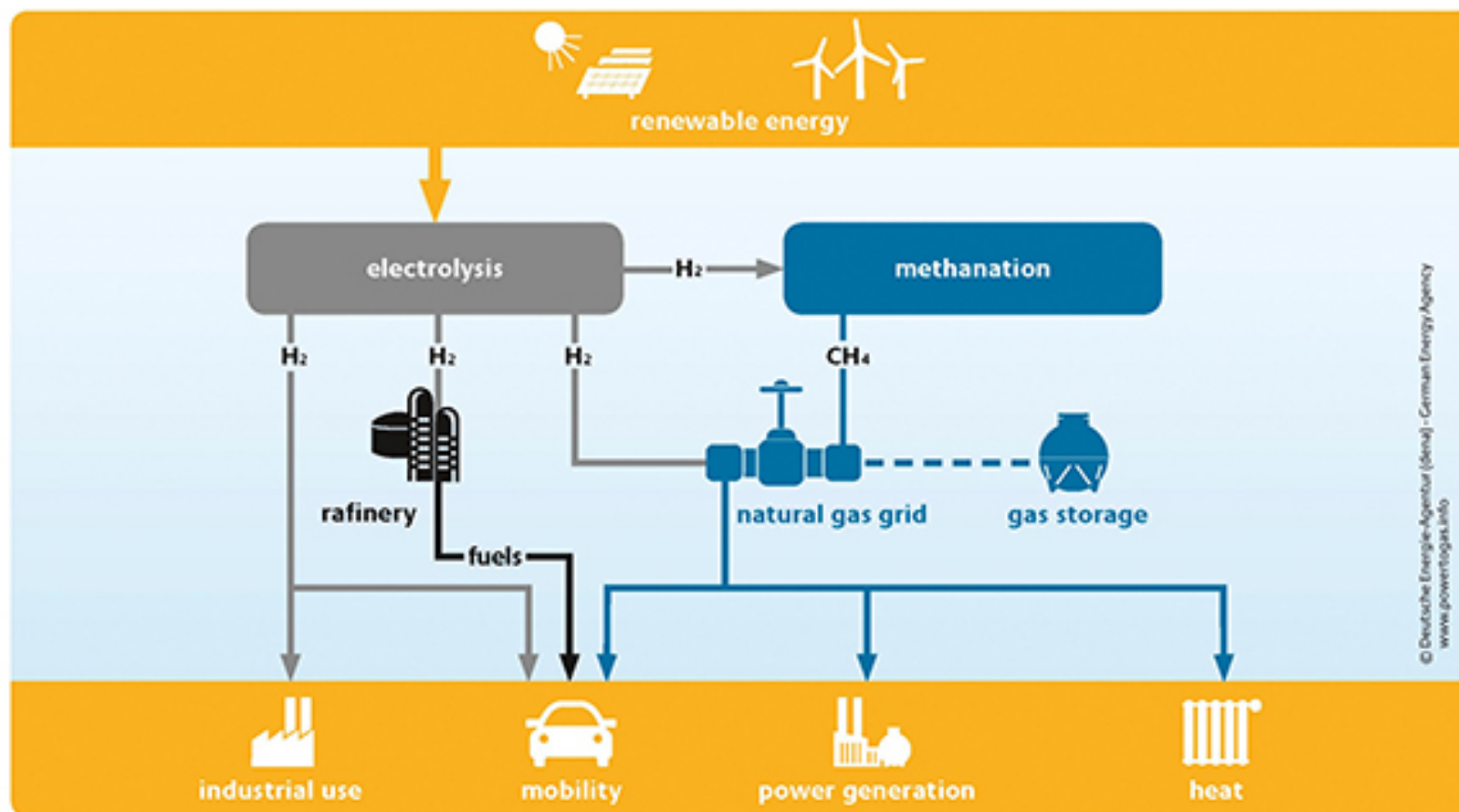
Le grand virage des gaz verts et renouvelables

- L'avenir de ces filières repose sur leur compétitivité prix. Et pour l'instant on n'y est pas. Tous les acteurs sont engagés dans une course de vitesse, alimentée par l'arrivée des gros énergéticiens, pour massifier leur production et réduire leurs coûts.
- L'objectif est de préempter le marché et d'attirer des fonds, en particulier les subventions. La CRE anticipe plus de 500 M€ d'aides à l'injection de biométhane en 2021, soit le double de 2020. Pour l'hydrogène décarboné, la stratégie nationale prévoit une enveloppe de 7 milliards d'euros d'ici 2030.
- Les marges de réduction de coûts sont réelles dans le biométhane, mais relativement étroites car la taille des installations est limitée. La marche est haute et le temps compté... avant un éventuel tour de vis.
- En revanche, pour l'hydrogène, les leviers sont bien plus importants. La fabrication d'électrolyseur n'est pas encore entrée en phase industrielle et la course aux projets de gigafactories est lancée.

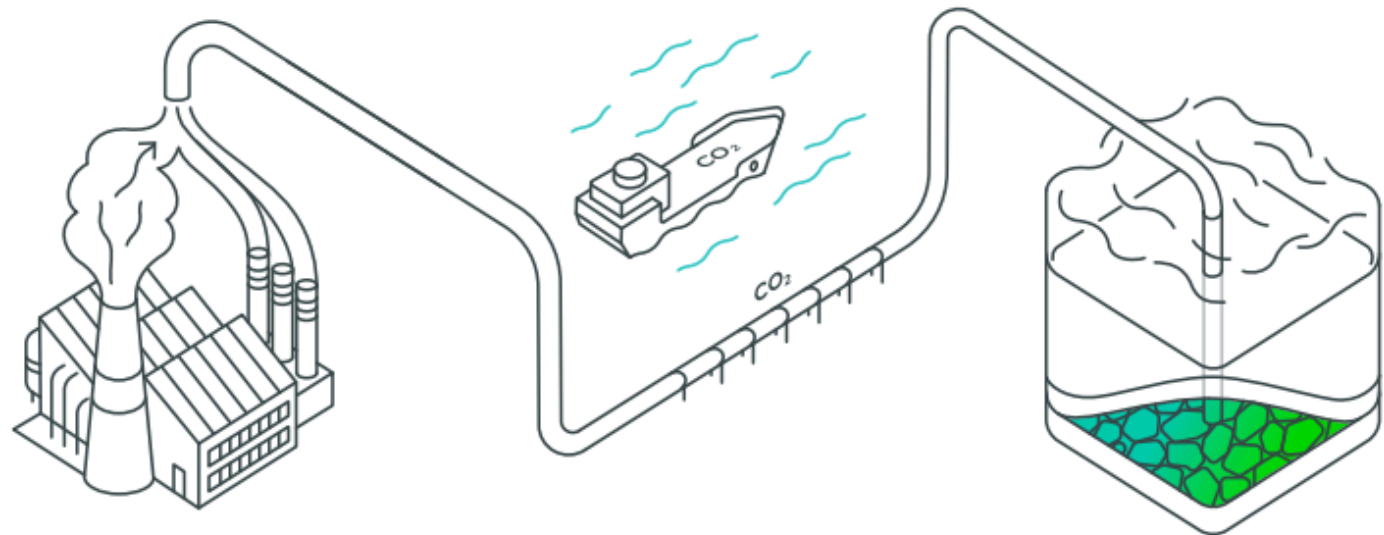
De 80 à 99 TWh d'hydrogène vert en 2050 ?

Le port d'Anvers et de Bruges

Power to Gas – technology and possible applications



Les 3 étapes du captage et stockage de CO₂



1

CAPTAGE

Le CO₂ est capté là où il est émis, à la sortie des cheminées d'usine. L'opération consiste à le séparer des autres composants des fumées industrielles.

2

TRANSPORT

Une fois comprimé ou liquéfié, le CO₂ est transporté soit par pipelines, soit par bateaux vers son lieu de stockage.

3

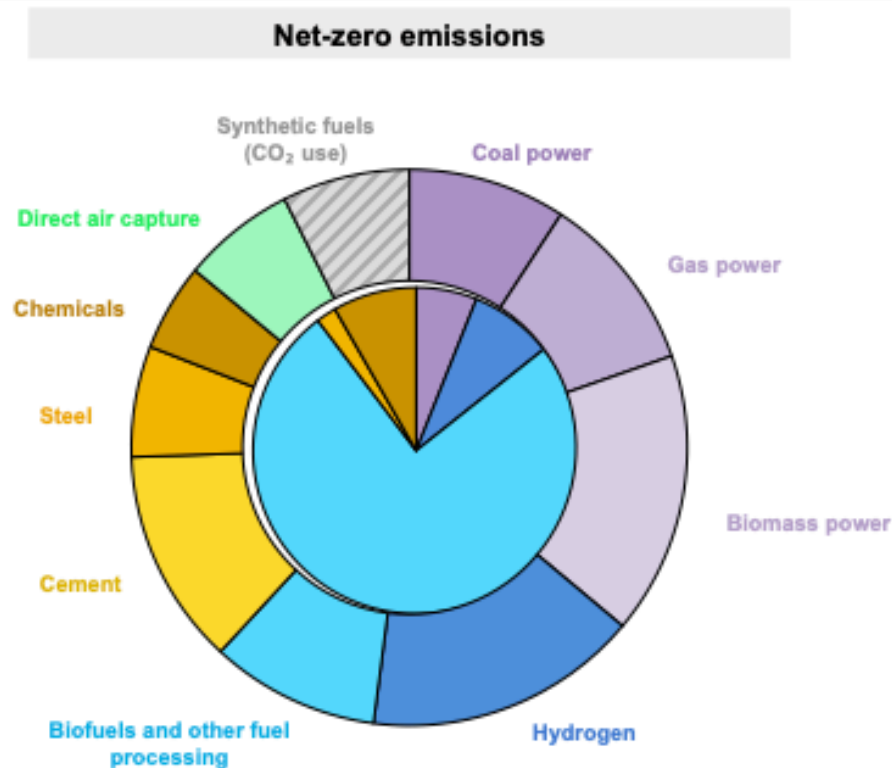
STOCKAGE

Le CO₂ est injecté de manière définitive dans le sous-sol, dans des roches étanches à plus de 1 000 mètres de profondeur. Il peut s'agir d'aquifères salins ou d'anciens réservoirs déplétés de pétrole ou de gaz.

Capture du CO2

- "trois ou quatre ans" le délai avant "un déploiement industriel massif".
- Nécessaire car les carburants fossiles (pétrole, gaz et charbon) seront toujours la source d'énergie majoritaire dans le monde en 2050
- Le procédé DMX, issu de plus de dix ans de recherches de l'IFPEN, doit "permettre de réduire de 30% le coût du captage du CO2, la partie la plus chère du processus,
- Le CO2 capté doit être ensuite réinjecté sous pression dans d'anciens sites pétrolifères épuisés en mer du Nord. La séquestration du CO2 revient ainsi à "une centaine d'euros la tonne tout compris" - encore loin des prix « actuels acceptés » du marché du carbone (autour de 42 euros/t)

The role of CCUS extends across the global energy system



CCUS can support emissions reductions in power generation, hydrogen production, heavy industry and transport.

Des majors pétrolières s'associent pour transporter et stocker du CO2 en mer du Nord



le nucléaire divise plus que jamais

- Dix ans après la catastrophe de Fukushima, le nucléaire fournit au monde environ **10% de son électricité**,
- Entre abandon allemand et essor chinois, coûts en hausse et transition énergétique, secteur à l'avenir difficilement prévisible.
- Des projets concentrés en Chine, EAU, Turquie, Finlande, Suède, France
- Concurrencé par les EnR
- Pour l'avenir on s'intéresse au petit réacteurs SMR (300 MW) fabriqués en série en usine
- Plusieurs pays travaillent par ailleurs à des réacteurs de quatrième génération, dont l'un des objectifs est notamment de minimiser les déchets

Les mini-réacteurs nucléaires, piste prometteuse pour verdir notre production d'énergie ?

	Eolien	µnucléaire	EPR
Puissance (MW)	2	60	1660
Production annuelle (GWh)	3,85	473	13087
Cout (MM\$)	3	250	20000
Rapport cout/puissance (MM\$/GW)	1,50	4,17	12,05
Rapport coût/production (MM\$/GWh)	0,78	0,53	1,53

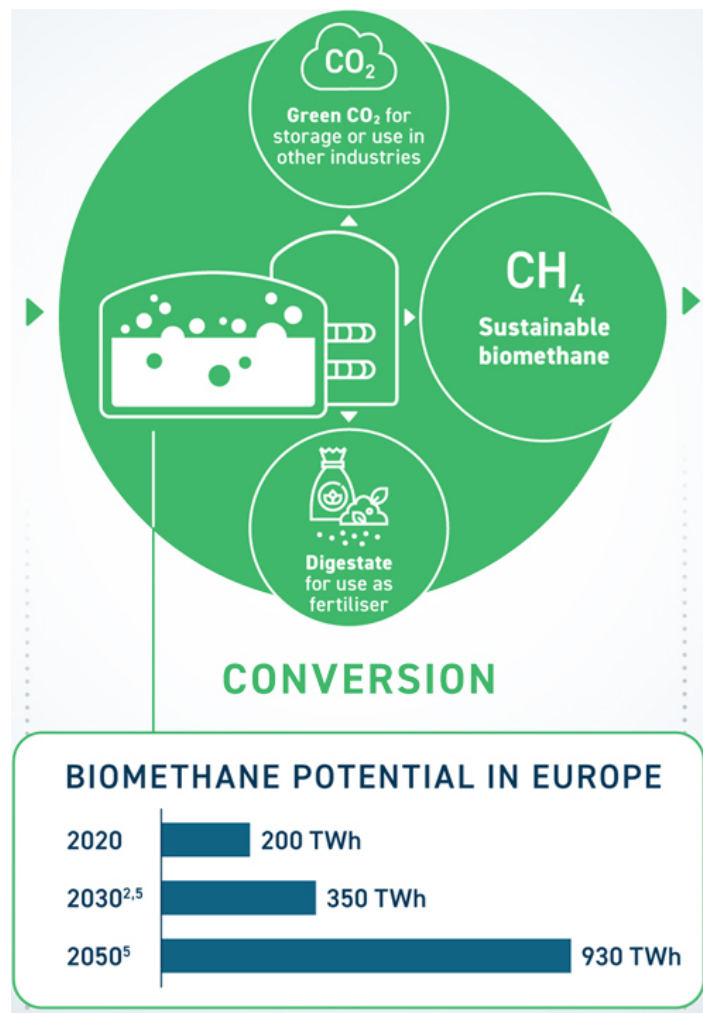
la surgénération nucléaire fission

- La France a sur son sol assez d'uranium **appauvri** pour lui fournir toute son énergie actuelle pendant plus de 2 000 ans !
- La généralisation de la surgénération nucléaire fission donnerait donc à l'humanité toute l'énergie « bas carbone » nécessaire pour bien plus que les XXI^e et XXII^e siècles.
- Les solutions hydrauliques, éolienne ou solaire ont besoin de 10 à 15 fois plus de matériaux(déchets) que l'énergie nucléaire pour produire les mêmes quantités d'énergie
- 40 millions de tonnes d'uranium et thorium, soit 400 millions de TWh (ou 64 000 Gtep), alimenteraient en énergie l'humanité pendant plus de 4 000 ans (à 15 Gtep annuels).

Imiter le soleil pour produire de l'énergie (réacteur Iter)

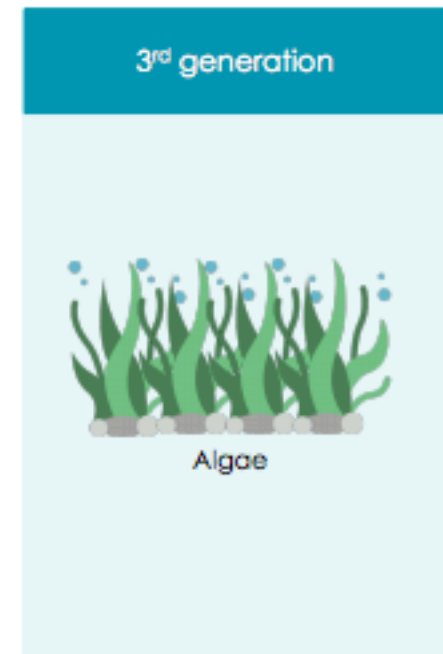
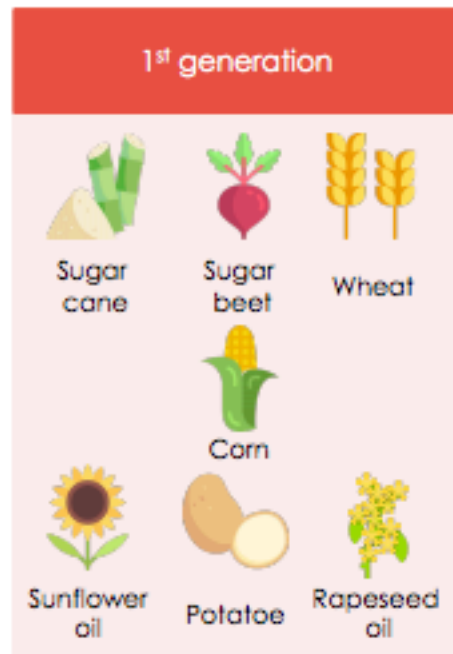
- Fusionner des noyaux de deuterium et tritium
- Des combustibles plus abondants que l'U
- Ne produit pas de déchets
- La clé c'est le confinement des noyaux, les comprimer les emprisonner avec de puissants champs magnétiques, chauffés à très haute température ils fusionnent par collisions
- Démontrer que l'on peut entretenir et contenir un plasma à 150 millions de degrés

Le biogaz peut remplacer 20% de gaz russe d'ici 2030



B-fuels and Bio-sourced chemicals

3 types of biofuels family



La taxe carbone aux frontières

- En 30 ans UE a réduit le CO2 de 24% malgré une croissance de 60%
- UE importe 3X plus de carbone qu'elle n'en exporte
- S'attaquer aux émissions importées en taxant dans les secteurs lourds (ETS) 40 % des émissions, on protège donc ces secteurs sur le marché européen(pas à l'export) il faudra donc les compenser aussi à l'export
- Quid des secteurs non protégés (automobile) ? Il vont perdre en compétitivité sur notre marché et à l'export il faut donc aussi taxer la voiture chinoise
- L'UE fera une proposition en juin

Les pièges dans la transition énergétique rapide de l'Europe

L'Europe a décidé de réaliser une transition énergétique très rapide, avec une réduction de 55 % en 2030 et de 100 % en 2050 des émissions nettes de CO₂ (par rapport à celles de 1990).

Quels seront les pièges à éviter dans cette transition énergétique rapide ?

- Une destruction importante de capital et de compétences faisant reculer le PIB potentiel, et malheureusement impossible à éviter ; de manière liée, une modification brutale de la structure des emplois, faisant apparaître à la fois du chômage structurel et des difficultés d'embauche ;
- l'importation depuis le reste du Monde, et non la fabrication locale, des matériels pour les énergies renouvelables, ce qui ferait disparaître l'effet de relocalisation lié à l'arrêt des importations d'énergies fossiles ;
- la dégradation de la compétitivité-coût de l'Europe, si les ajustements aux frontières de l'Europe ne sont pas suffisants pour l'empêcher ;
- l'ouverture des inégalités de revenu due à la hausse des prix de l'énergie si elle n'est pas évitée par des transferts publics ciblés.

Si ces pièges ne sont pas évités, le risque de rejet de la transition énergétique rapide par les opinions sera grand.

Solutions à court termes

- Sécuriser les approvisionnements gaziers
- Diversifier et mutualiser les achats de gaz notamment sous forme de GNL.
- Réévaluer le dossier des gaz de schiste
- Réviser la stratégie énergétique européenne concernant le choix des sources pilotables (gaz, nucléaire ou les deux)
- L'atome dans la taxonomie verte européenne

Les remèdes pour le « sursaut » européen

- Prolonger le Nucléaire existant
- Accroître nos infrastructures d'import de GNL
- Ré-ouvrir le dossier des gaz de schiste
- Accélérer l'efficacité énergétique (transport et habitat)
- Encourager la sobriété
- Développer l'énergie renouvelable
- Encourager la production pétrolière et gazière