

# CGEA: « Matinées de Formation et de Veille Scientifique et Technologique »

**Emmanuelle Galichet**

**Enseignante-chercheure Sciences et Technologies Nucléaires**

**Le Cnam**



# Sommaire

- ❑ Séminaire n°1 : Introduction à la Physique Nucléaire
- ❑ Séminaire n°2 : Réacteurs Nucléaires
- ❑ Séminaire n°3 : Cycle du Combustible
- ❑ Séminaire n°4 : Nouveaux Types de Réacteurs
- ❑ **Séminaire n°5 : MIX Énergétique dans le Contexte du Réchauffement Climatique**

# MIX Énergétique dans le Contexte du Réchauffement Climatique

- L'effet de serre et le dérèglement climatique
- L'analyse du cycle de vie et indicateurs de réchauffement climatique
- Situation énergétique mondiale
- La transition énergétique : définition et stratégie
- Electrification
- L'énergie nucléaire: solution pour produire électricité et chaleur
- Conclusion

# Message de John Kerry COP28



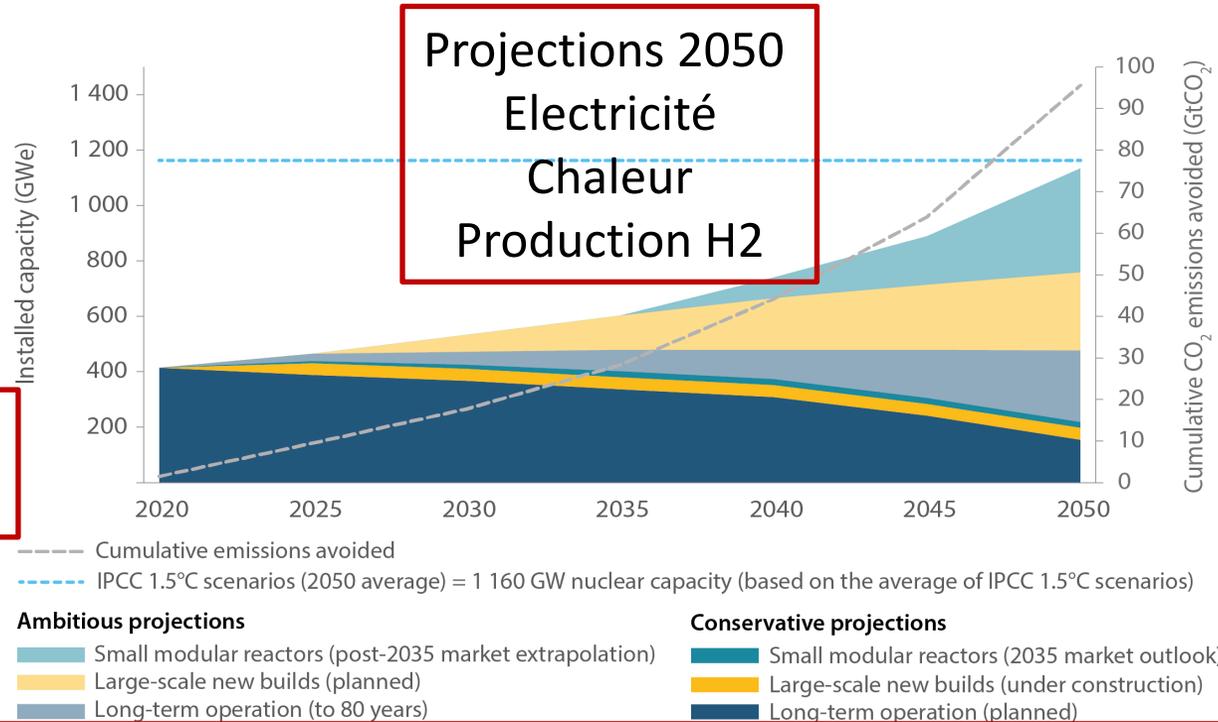
Déclaration signée par :

UK, Bulgaria, Canada, the Czech Republic, Finland, France, Hungary, South Korea, Moldova, Mongolia, Morocco, the Netherlands, Poland, Romania, Slovakia, Slovenia, Sweden, Ukraine and the United Arab Emirates.

« We are not making the argument to anybody that this is absolutely going to be a sweeping alternative to every other energy source. But we know because the science and the reality of facts and evidence tell us that you can't get to net zero 2050 without some nuclear. »

COP28, 2 décembre 2023, Dubai.

# Potentiel de l'énergie nucléaire dans le monde



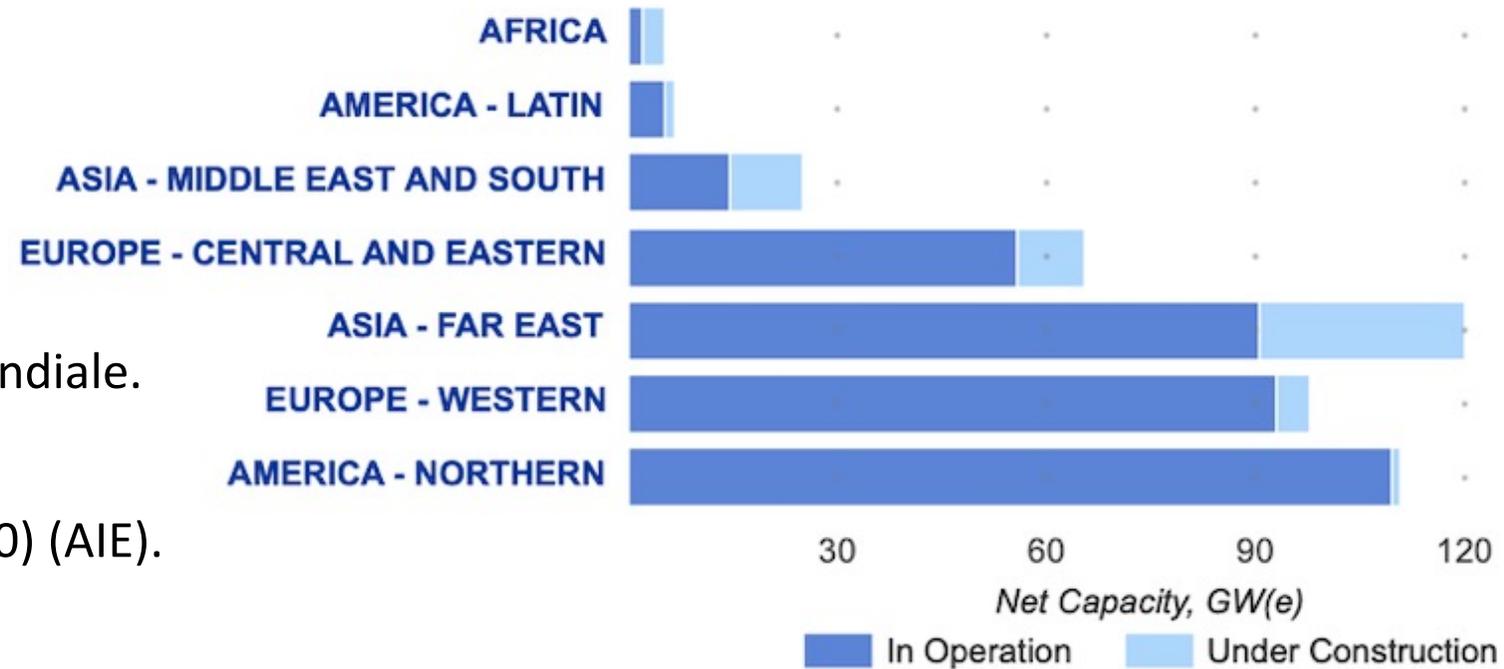
(Source OCDE/NEA 2021)

## Points de vigilance :

- Vision politique de long terme et décisions pérennes pour le système industriel complet,
- Transparence et responsabilité des exploitants,
- Démontrer la capacité à construire et déployer les innovations rapidement,
- Rôle fort de l'Etat dans la formation, l'information et la financement.

# Le parc mondial

- ❑ En 2023, 412 réacteurs dans 32 pays pour une puissance installée de 370,17 GWe.
- ❑ Production de 2486,8 TWh en 2022.
- ❑ Environ 10% de la production électrique mondiale.
- ❑ 66 Gt d'émissions de CO<sub>2</sub> évitées (1971-2020) (AIE).
- ❑ 58 réacteurs en construction dans le monde en 2023.

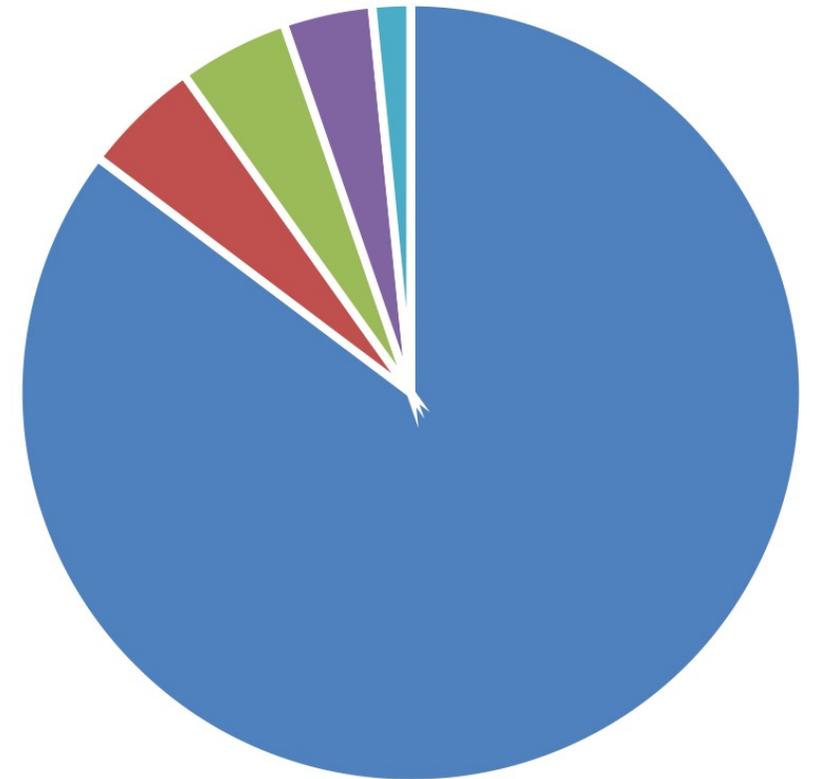
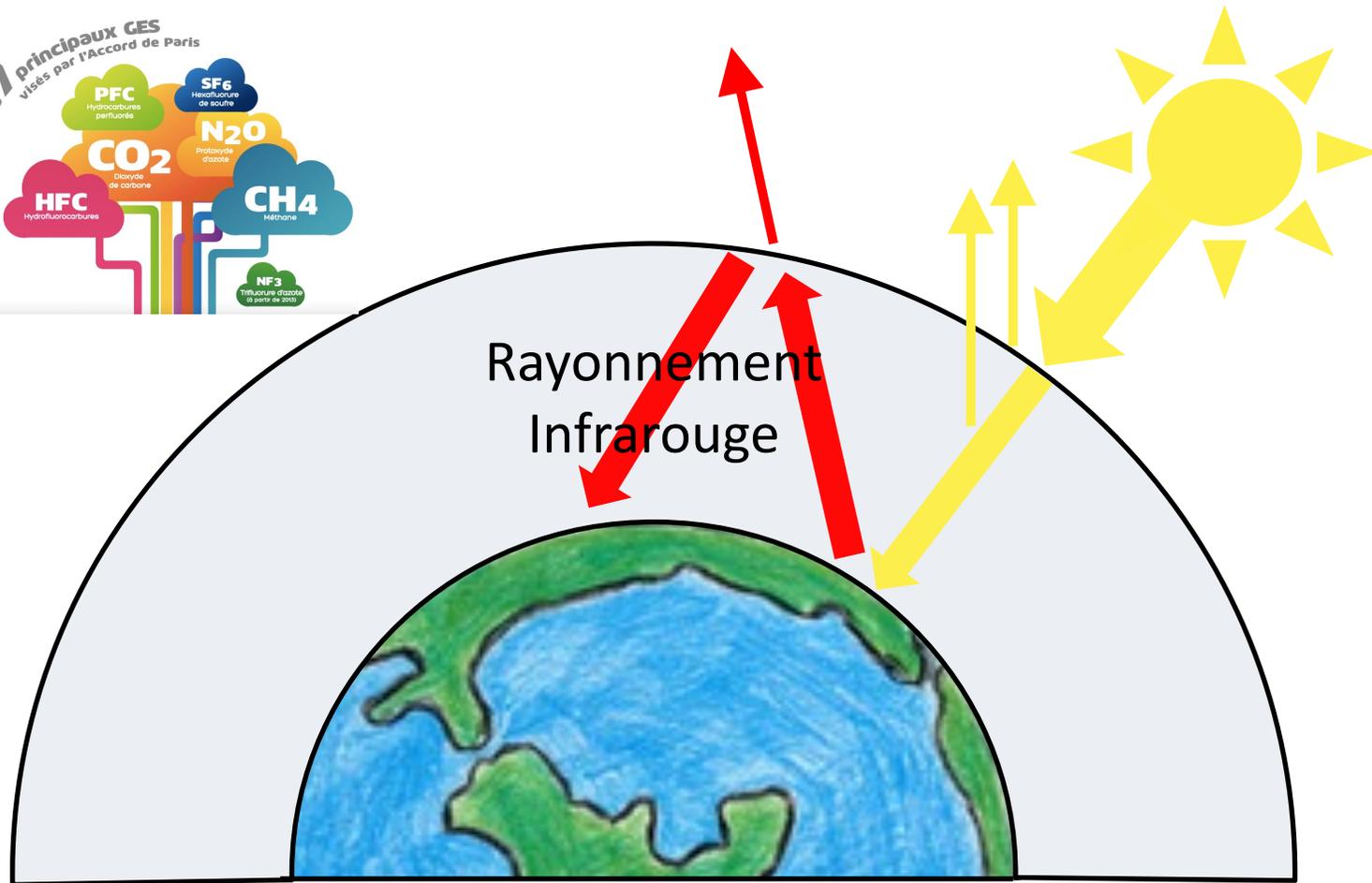


(Source AIEA, PRIS, Oct 23)



□ L'effet de serre et le dérèglement climatique

# L'effet de serre et les GES

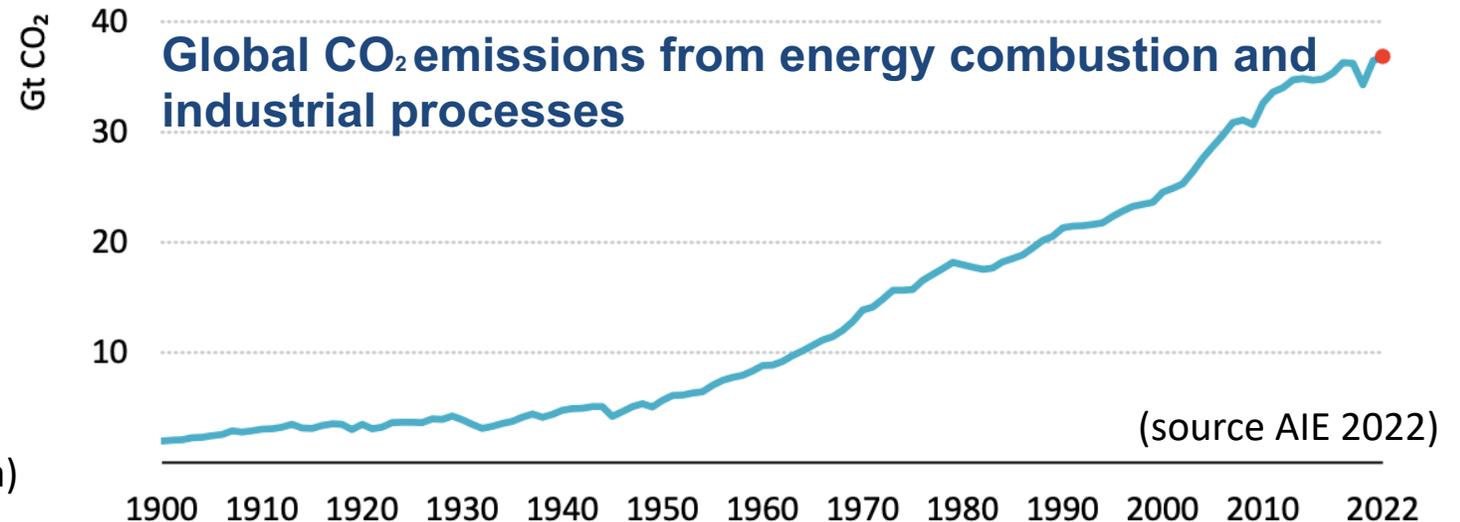
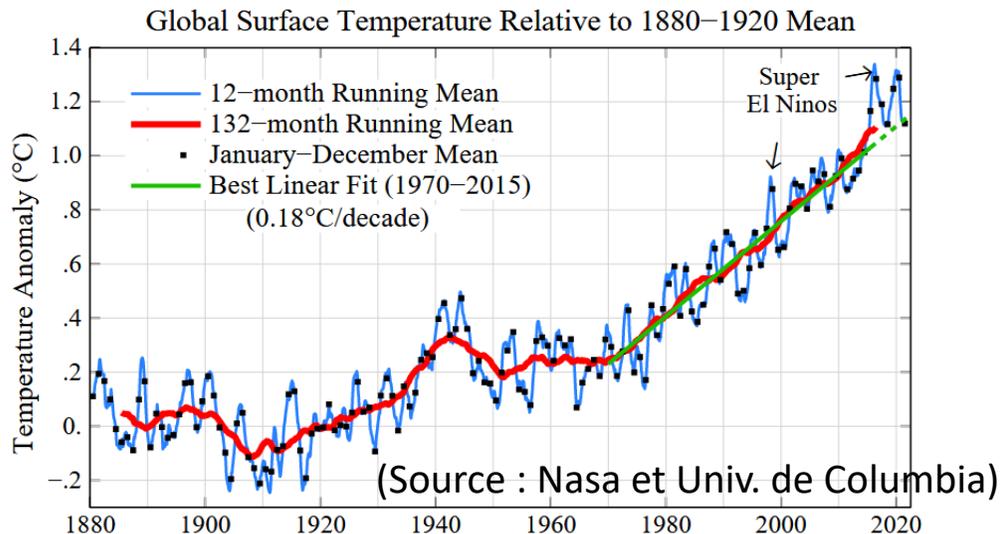


(Source EDF)

■ CO2 ■ CH4 ■ N2O ■ SF6 ■ Autres

# Conclusion Rapport du GIEC 2022

« The scientific evidence is unequivocal: climate change is a threat to human well-being and the health of the planet. Any further delay in concerted global action will miss the brief, rapidly closing window to secure a liveable future. This report offers solutions to the world. » GIEC 2022

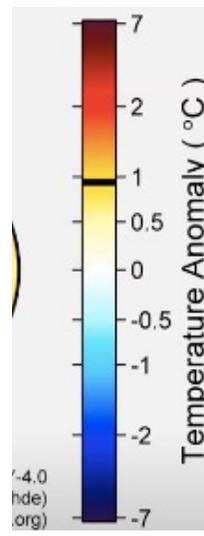
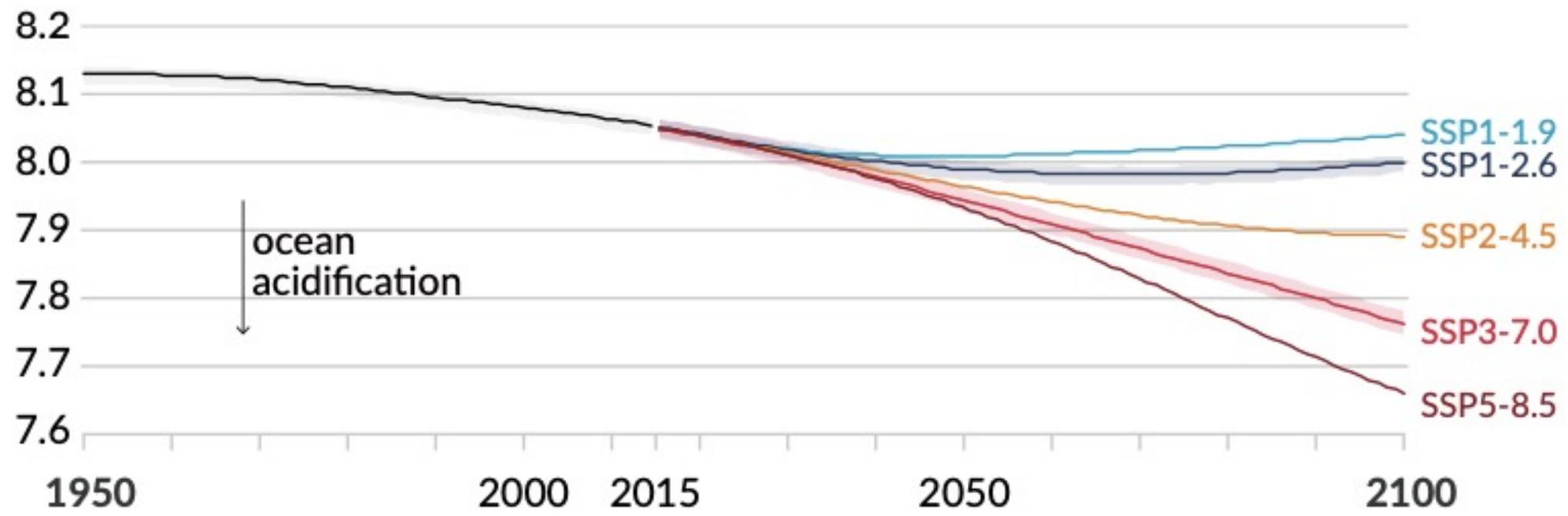


# Les conséquences du réchauffement climatique

- La temp
- La temp
- Les calo
- 1850
- 
- 
- 
- 
- 



(c) Global ocean surface pH (a measure of acidity)



Note : les phénomènes atmosphériques rassemblent les ouragans, cyclones et tempêtes

Haute

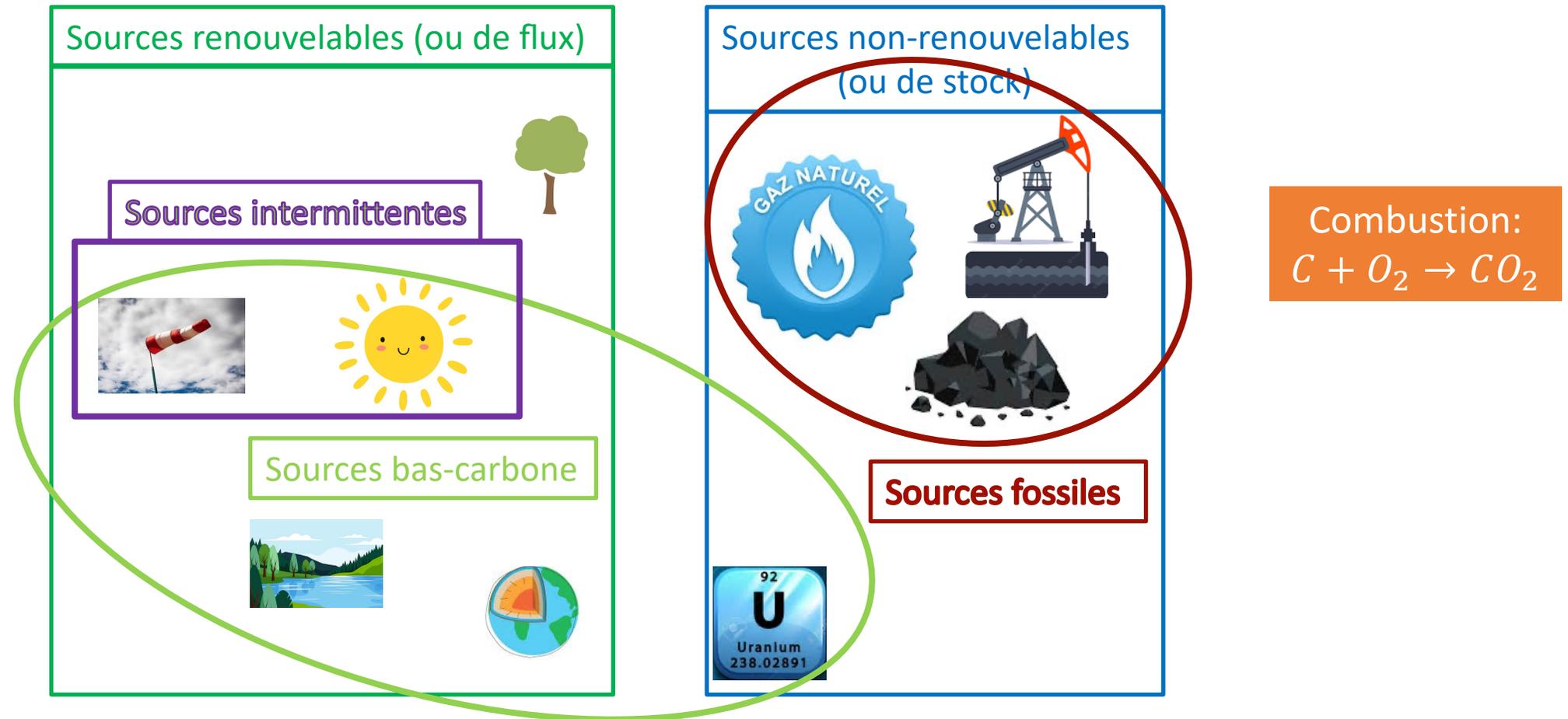
0

-8

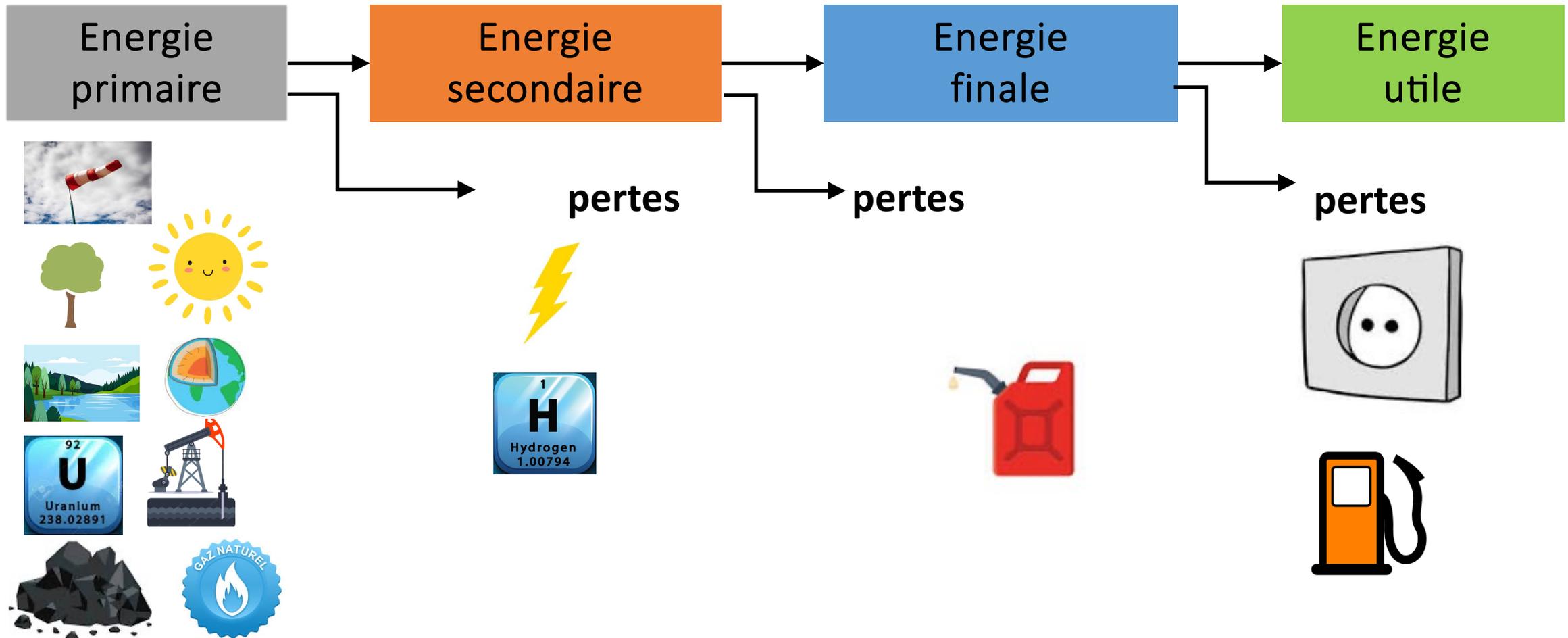
## □ Quelques définitions

# Les différentes sources d'énergies

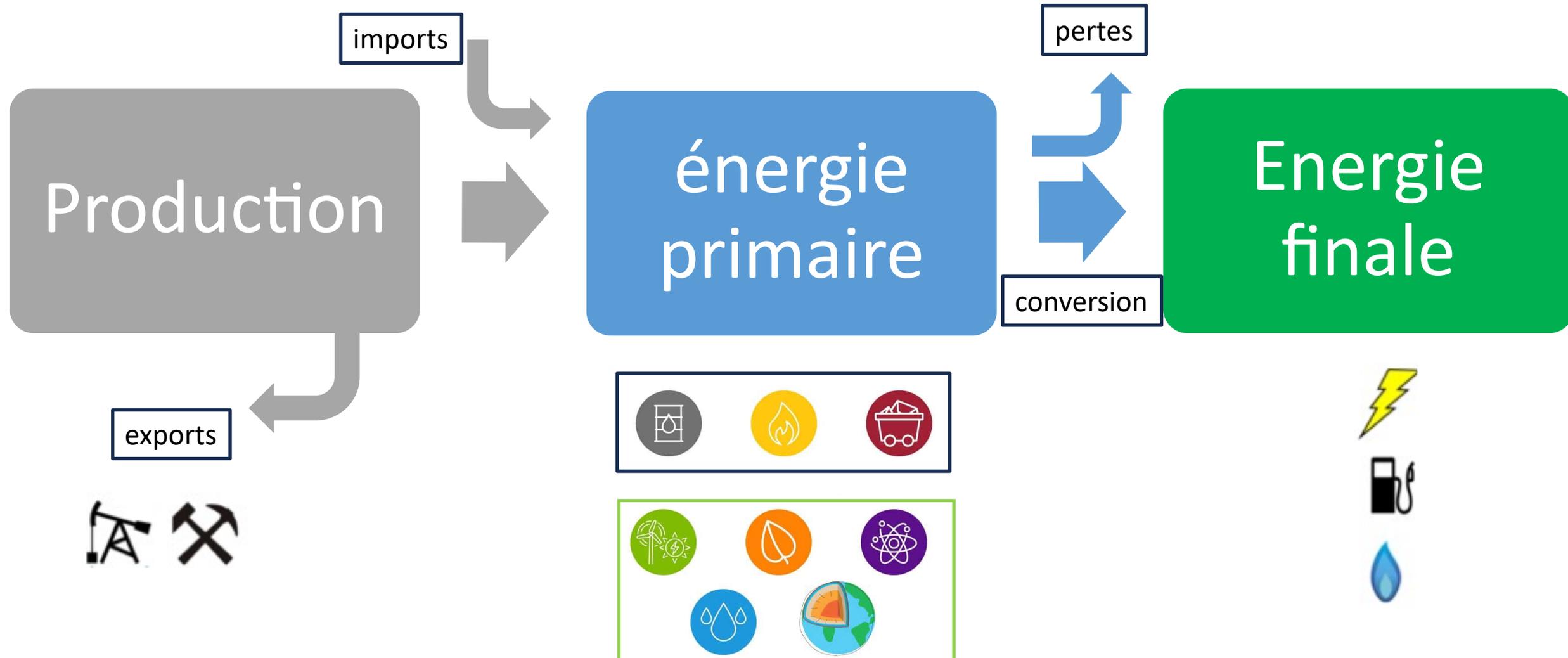
Énergie = grandeur qui mesure la capacité d'un système à effectuer une transformation.



# Quelques définitions

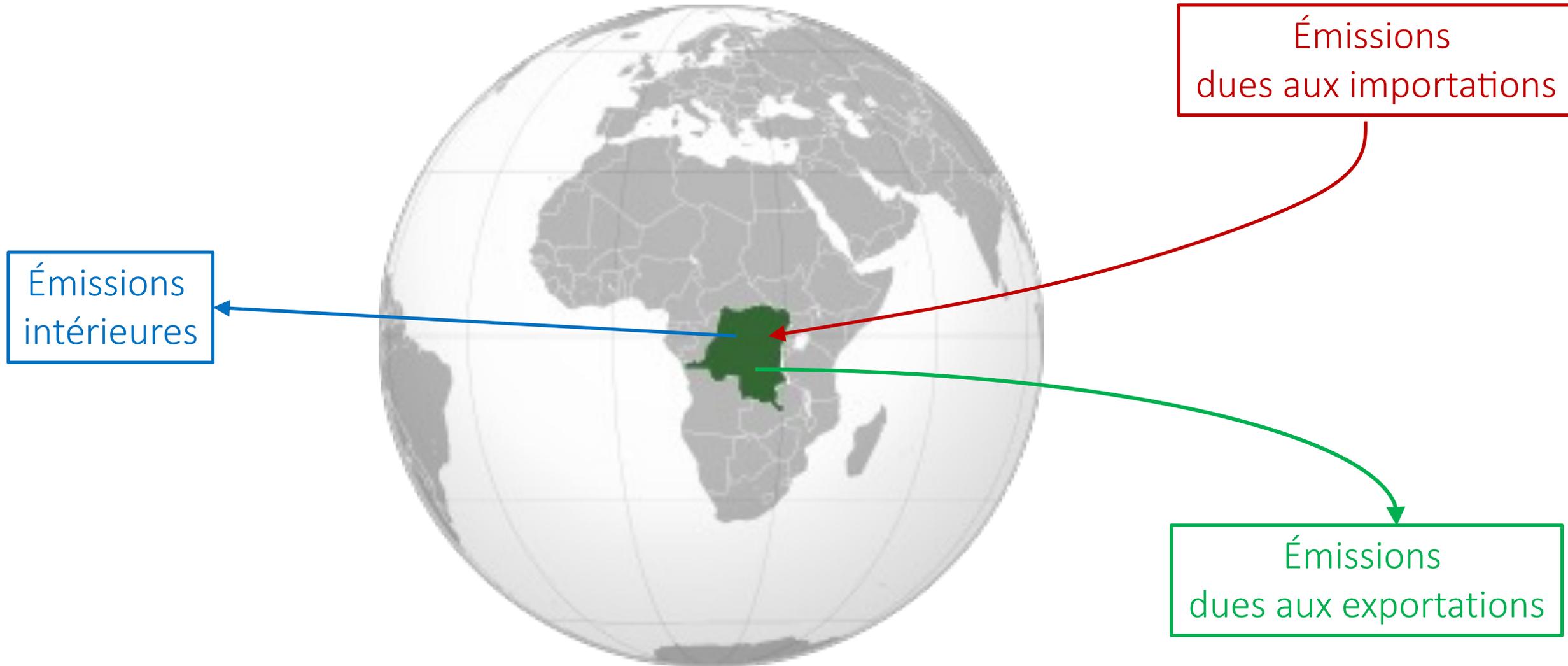


# Les flux énergétiques pour un pays



□ L'analyse du cycle de vie et indicateurs de réchauffement climatique

# Compter les Émissions de GES



# Cas de la France : Empreinte et inventaire

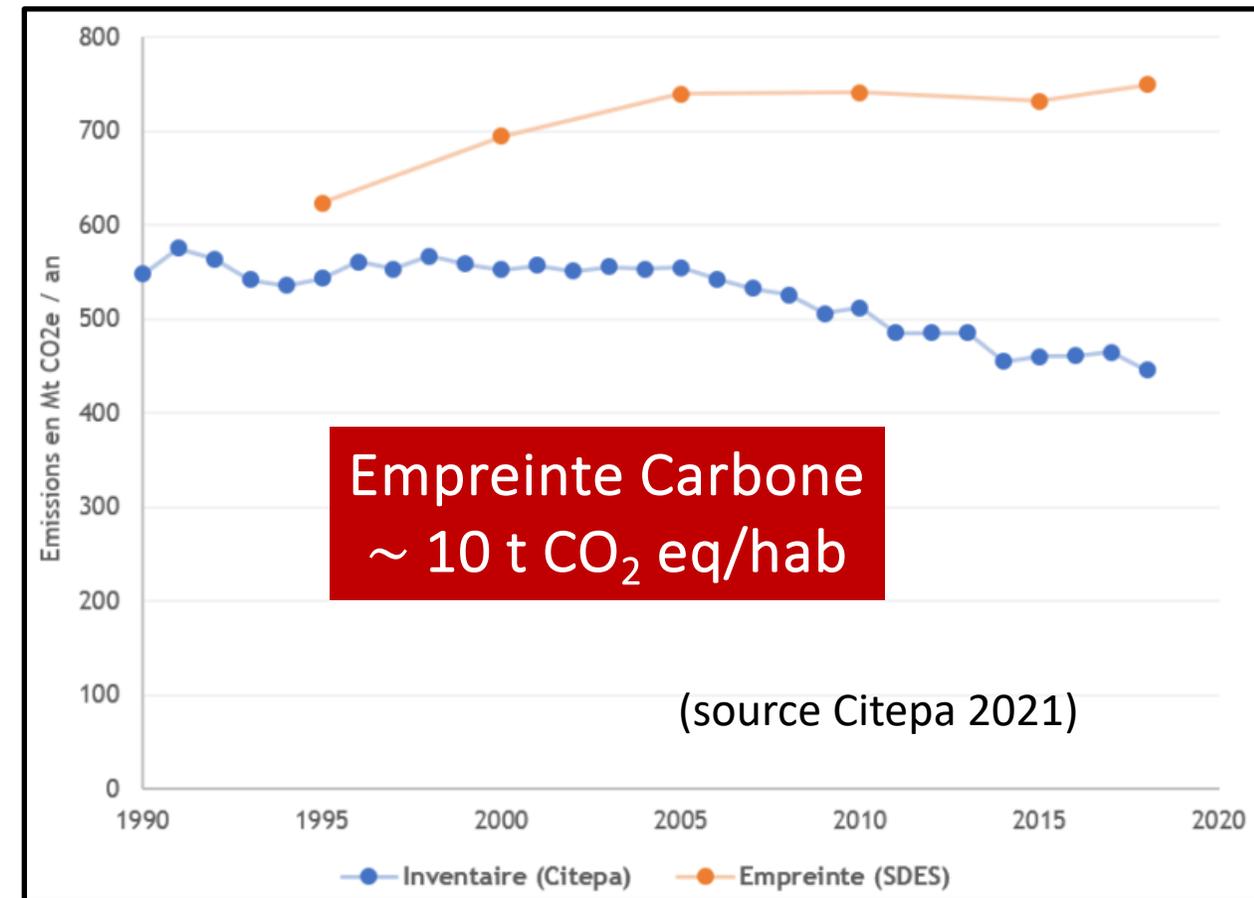
☐ Deux grandeurs importantes pour un pays :

1. L'inventaire national des émissions de GES :

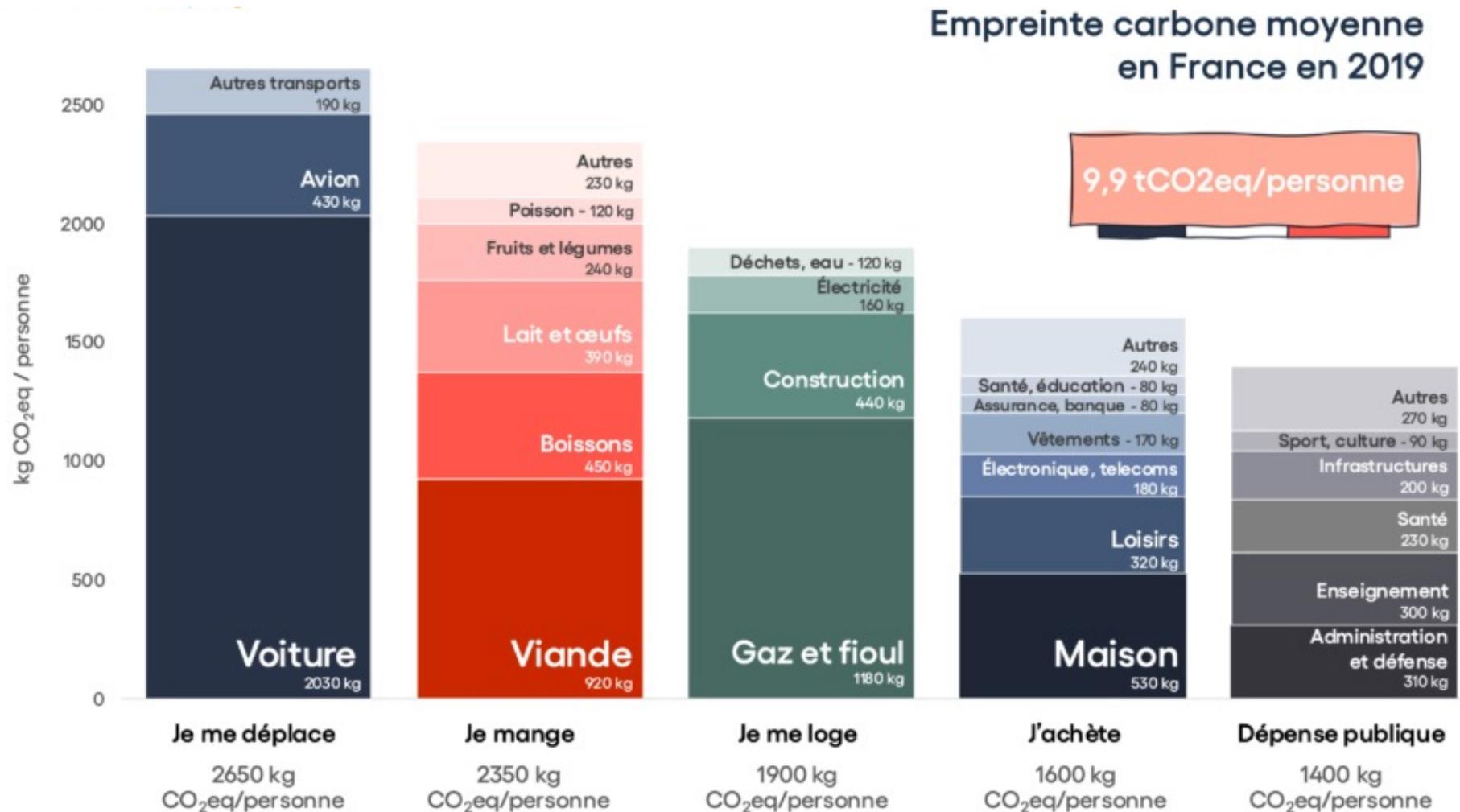
→ comptabilise les GES émis par le pays  
(ménages et activités économiques)

2. L'empreinte carbone de la France :

→ estime des GES induits par la demande  
finale intérieure du pays  
(activités pays + importations)



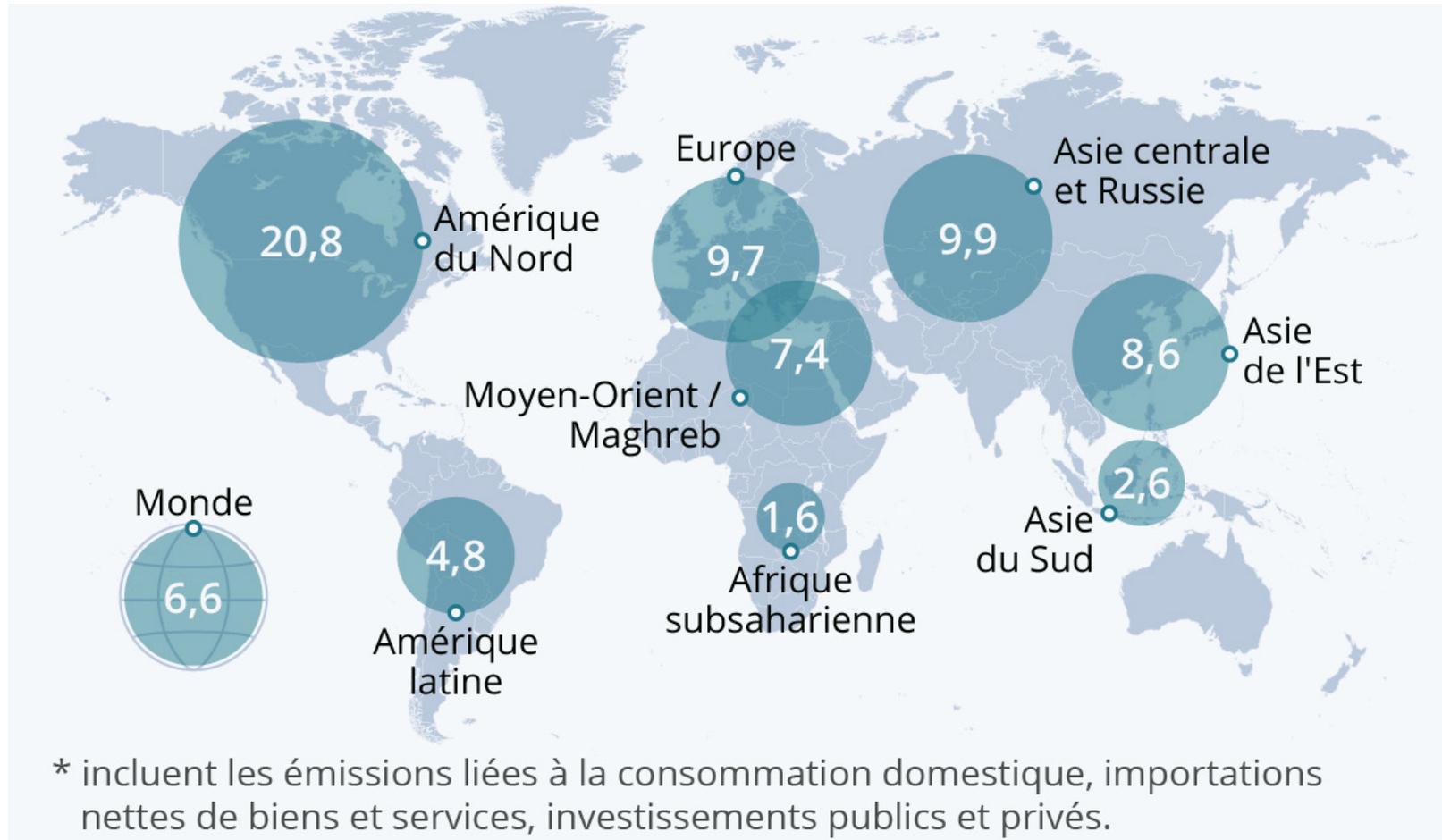
# Empreinte carbone d'un français en 2019



(Source Carbone4)

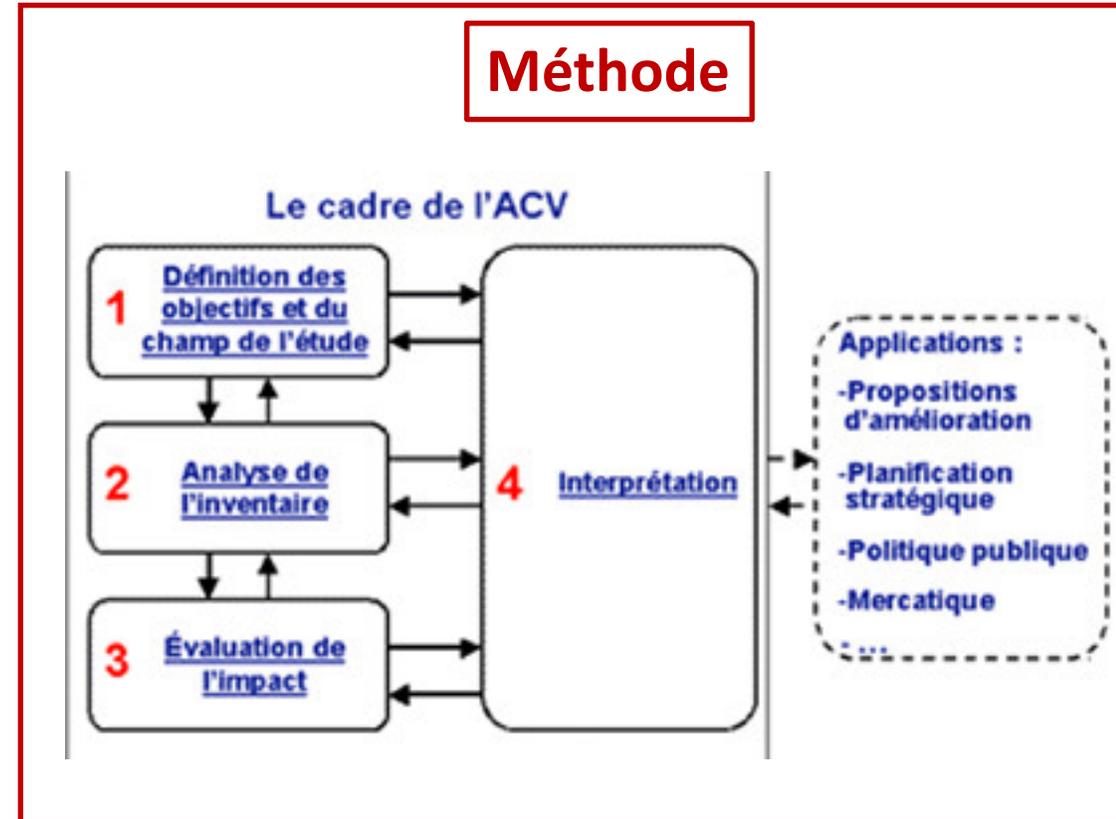
# Empreinte carbone dans le monde (t eqCO<sub>2</sub>)

- Emissions moyennes de CO<sub>2</sub> par habitant dans les régions sélectionnées en 2019 en tonnes eqCO<sub>2</sub>.



# L'analyse du cycle de vie

- ❑ Méthode d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux d'un service ou produit industriel.
- ❑ C'est la méthode la plus aboutie et faisant l'objet d'un consensus scientifique international.
- ❑ Elle repose sur l'inventaire des flux de matière et de besoins en énergie pour les différentes étapes du cycle de vie d'un produit : approches multi-étapes dite « du berceau à la tombe ».
- ❑ Cette méthode est développée depuis la fin des années 1960 :
  - 1969 Coca-Cola
  - 1974, choc pétrolier => bilan énergie
  - 1992, Rio, changement climatique => bilans carbone/GES
- ❑ Aujourd'hui elle est régie par les normes ISO 14040-44.
- ❑ La normalisation a fourni le cadre pour une ACV produite de façon scientifique, objective et fiable.
- ❑ La SETAC (Society of Environmental Toxicology And Chemistry) et le programme des Nations Unies pour l'Environnement UNEP à travers la Life Cycle Initiative travaille à son développement.



(Source Adème)

# Equivalent en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub> eq)

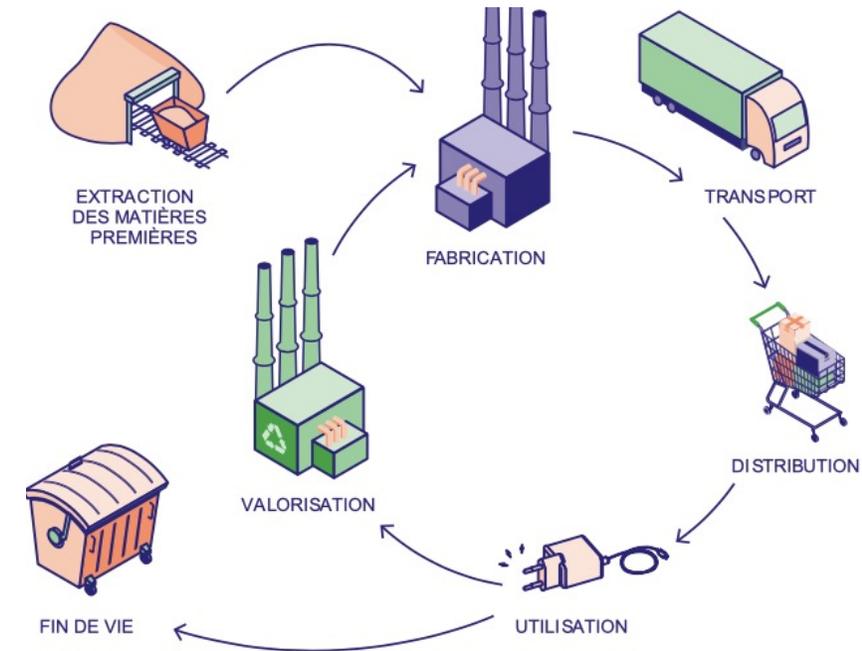
- ❑ Définition = masse de CO<sub>2</sub> qui aurait le même potentiel de réchauffement global (PRG) qu'une quantité donnée d'un autre gaz à effet de serre pour l'horizon temporel considéré.
- ❑ Exemple : le PRG à 100 ans du méthane est de 25.

$$\text{Tonne d'Équivalent CO}_2 \text{ d'un gaz} = \text{masse du gaz} \times \text{PRG}$$

Nouvelle unité

- ❑ La méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV) :

- méthode la plus aboutie et faisant l'objet d'un consensus scientifique international,
- évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux d'un service ou produit industriel.



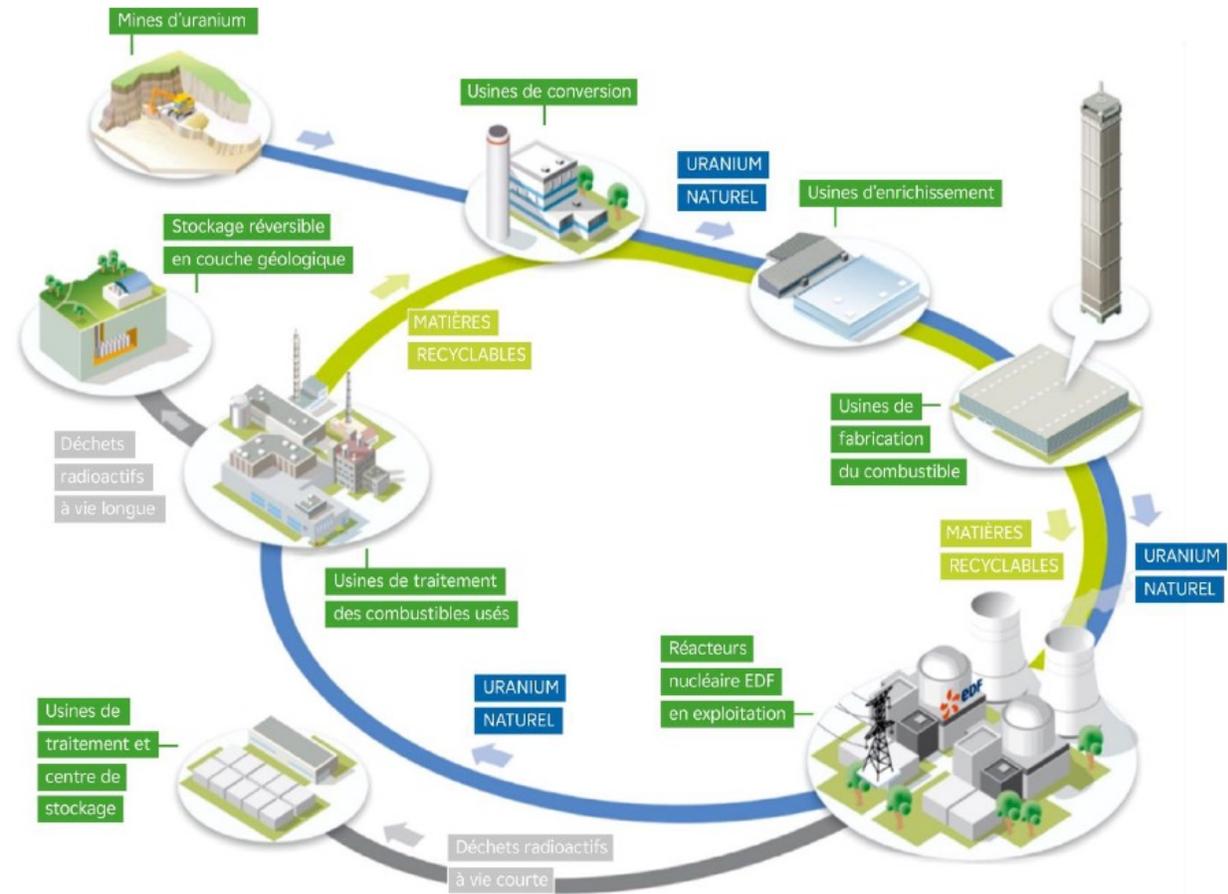
# Le Facteur d'émission pour l'électricité

☐ FE = rapport des émissions de CO<sub>2</sub> (calculées avec ACV) par la quantité d'électricité produite.

- Centrale nucléaire : 4 g CO<sub>2</sub> eq/ kWh
- Centrale à gaz : ~ 400-500 g CO<sub>2</sub> eq/ kWh
- Centrale à charbon : ~ 1000 g CO<sub>2</sub> eq/ kWh
- Solaire PV : ~ 20-50 g CO<sub>2</sub> eq/ kWh
- Hydroélectricité : ~ 10-20 g CO<sub>2</sub> eq/ kWh
- Eolien : ~ 10-15 g CO<sub>2</sub> eq/ kWh

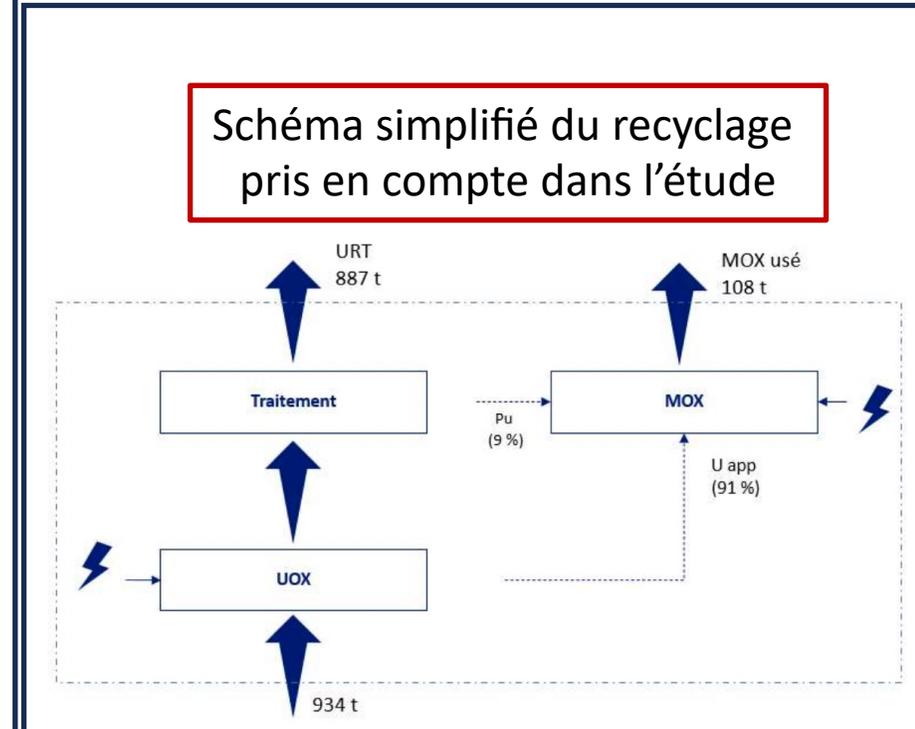
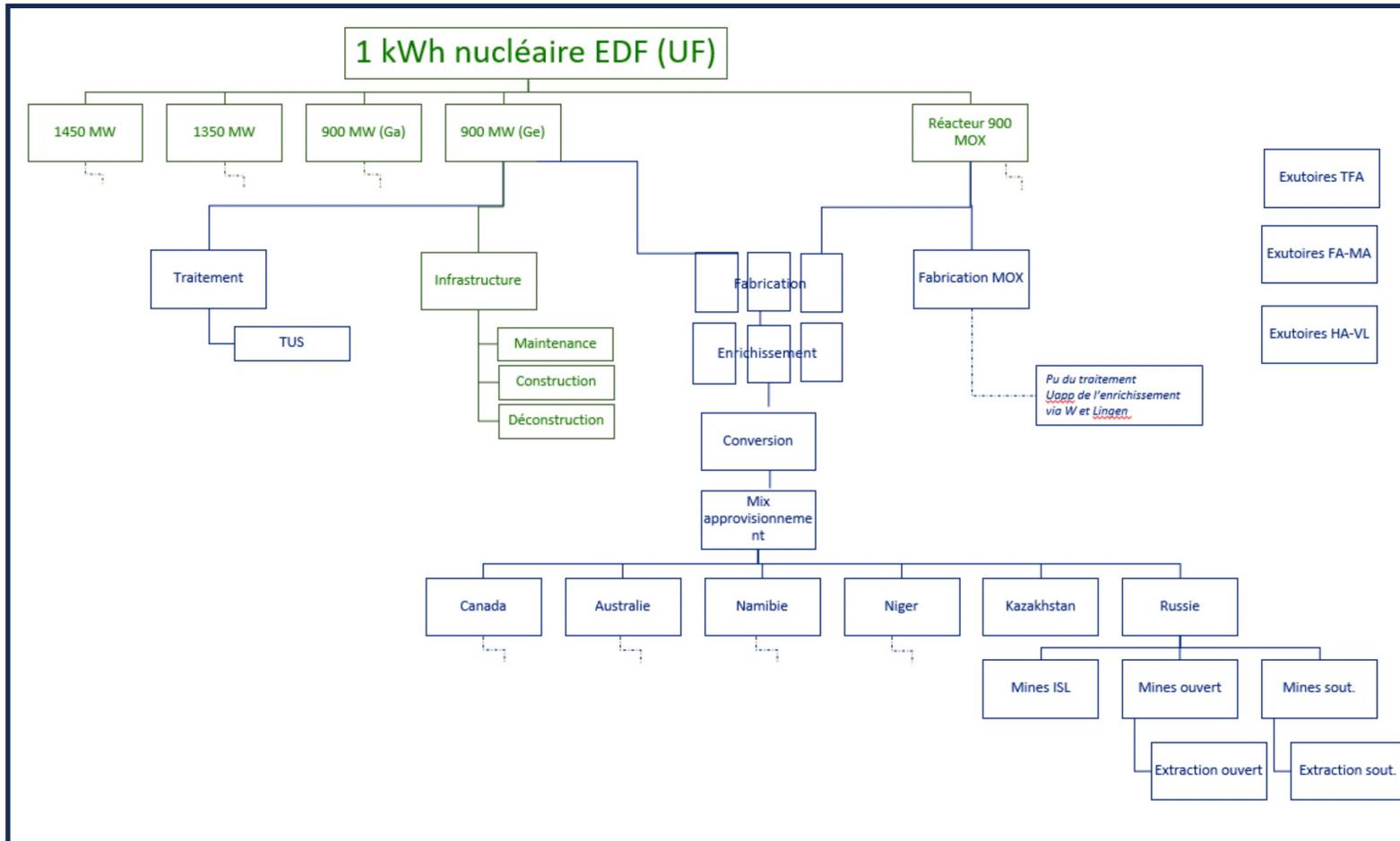
☐ Etude EDF pour le parc électronucléaire français :

- importance de l'amont du cycle,
- poids négligeable de la maintenance, la déconstruction, et le stockage des déchets.
- Etude de sensibilité menées: FE diminue avec la durée d'exploitation.



(Source EDF, ADEME)

# Synthèse du cycle de vie de la filière électronucléaire

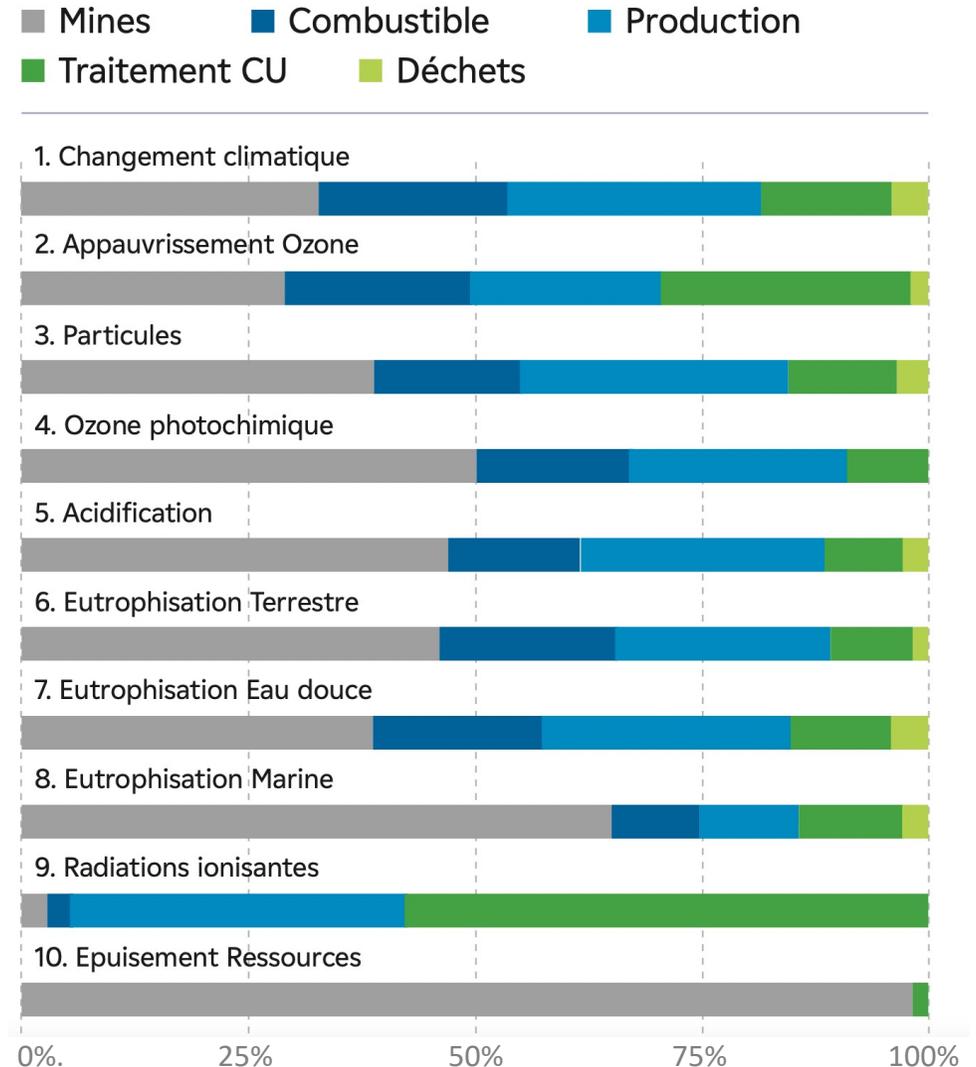


(Source EDF, Sfen)

# Les indicateurs du changement climatique

	Indicateur	Unité
	Climate change	kg éq. CO <sub>2</sub>
Niveau 1	Ozone depletion	kg CFC-11 éq.
	Particule matter/respiratory inorganics	kg PM2.5 éq.
	Ionising radiation, human health	kg U235 éq.
	Photochemical ozone formation	kg NMVOC éq.
	Acidification	mol H+ éq.
Niveau 2	Eutrophication, terrestrial	mol N éq.
	Eutrophication, aquatic, freshwater	kg P eq.
	Eutrophication, aquatic, marine	kg N eq.
	Resource depletion, mineral	kg Sb éq.

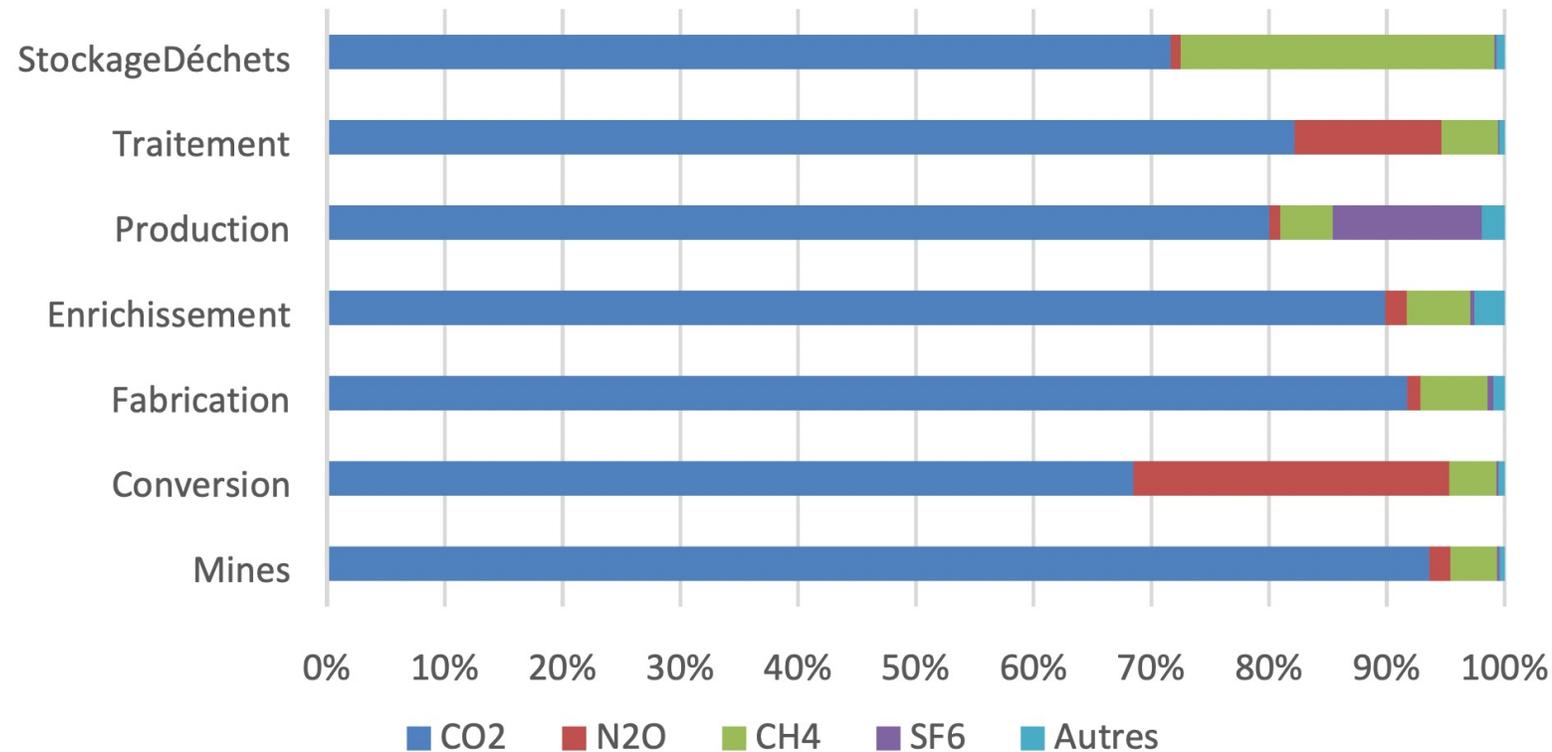
(Source EDF, Sfen)



# Résultats ACV énergie nucléaire en France

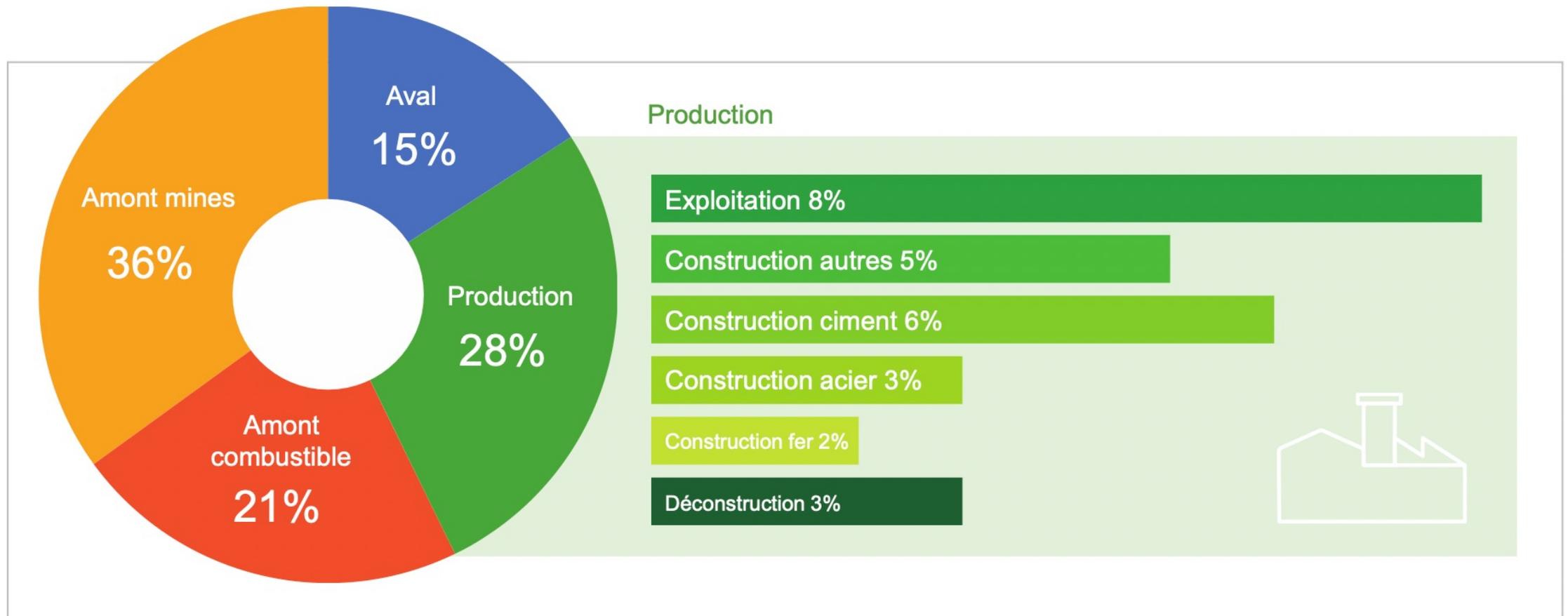
Etape	G éq CO <sub>2</sub> /kWh
Mines - traitement	1,3
Conversion	0,3
Enrichissement	0,4
Fabrication	0,1
Production - construction	0,6
Production - exploitation	0,3
Production - déconstruction	0,1
Traitement CU	0,5
Stockage déchets	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>3,7</b>

## Indicateur Changement climatique



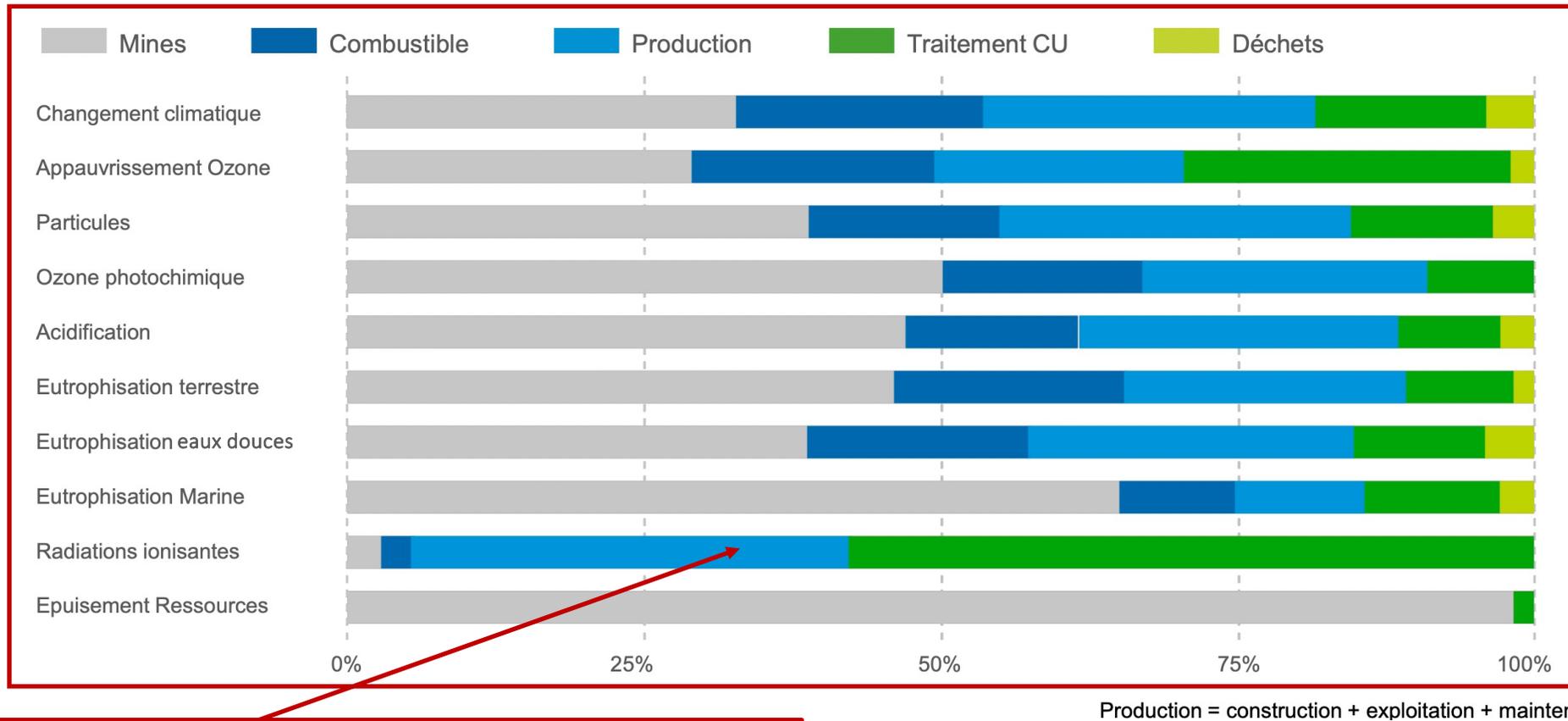
(Source EDF)

# Focus sur l'ACV pour la partie exploitation



(Source EDF)

# Les autres indicateurs

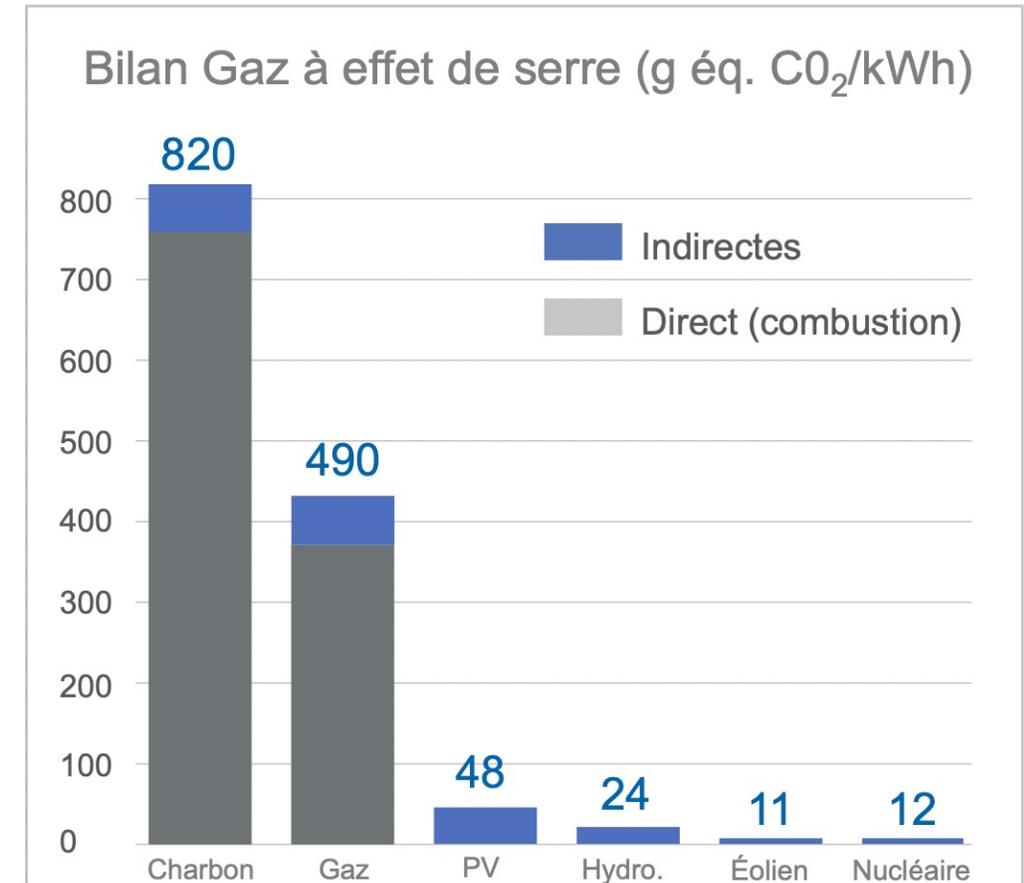


carbone-14 émis dans l'air lors des étapes « traitement du combustible utilisé » et « production d'électricité ».

(Source EDF)

## Conclusion ACV

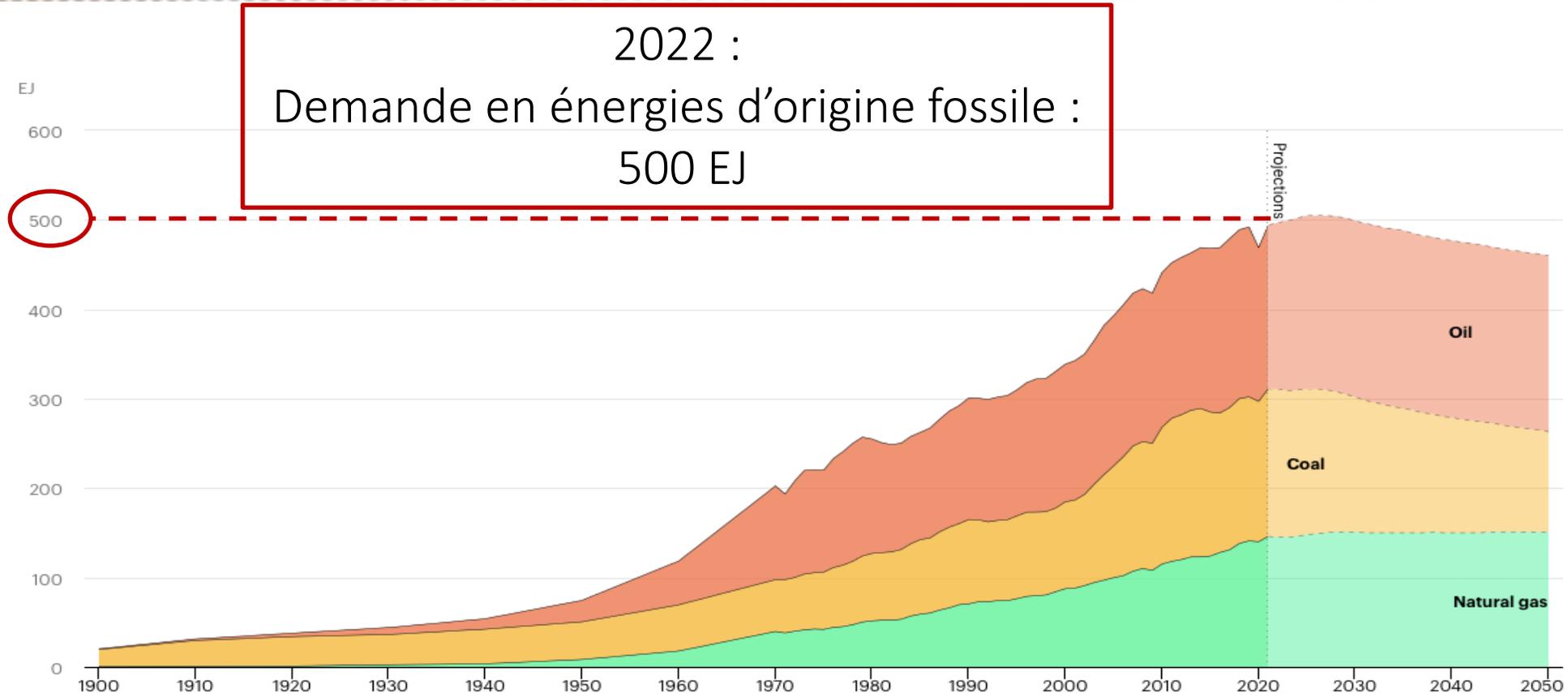
- ❑ La plupart des indicateurs sont dominés par la contribution de l'amont du cycle du combustible.
  - 57% de l'indicateur changement climatique avec 36% pour la mine (diesels et électricité peu décarbonée).
- ❑ Indicateur « épuisement des ressources » dominé par l'uranium à 91%. (environ 120 ans de réserves).
- ❑ Indicateur « radiations ionisantes » dominé par le C-14 dans l'air, dans l'amont dans la phase de traitement (60%) et en exploitation (37%) : surveillance radiologique locale mise en place.



Source : revue de littérature IPCC, 2015

## □ Situation énergétique mondiale

# Consommation d'énergie fossile



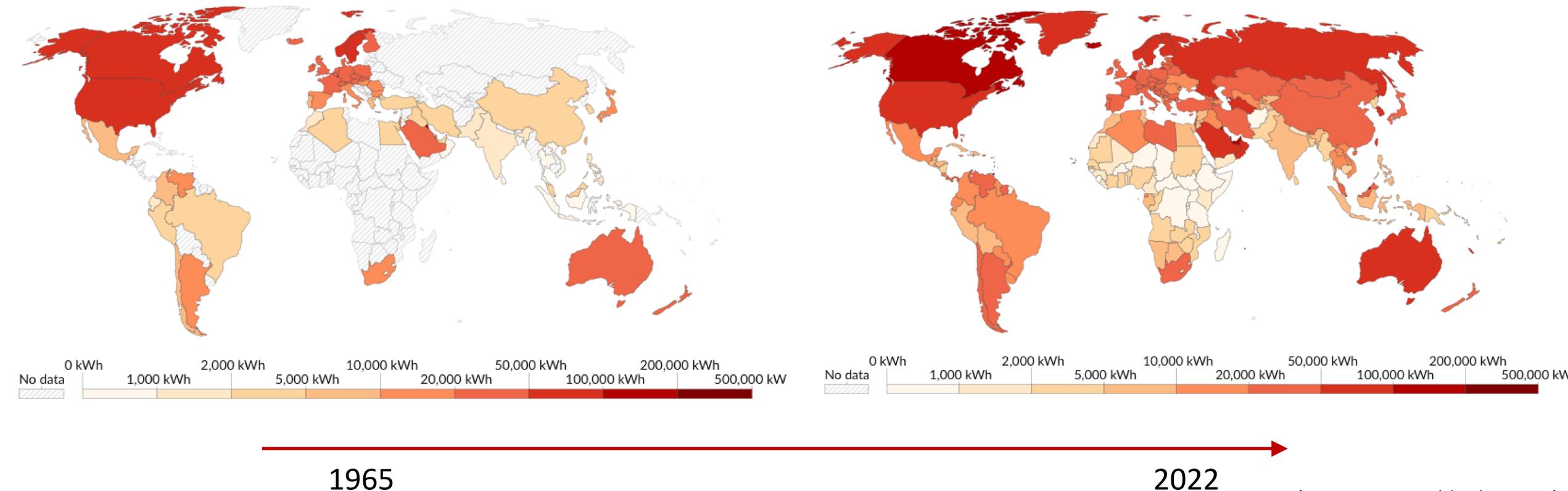
La demande en énergies d'origine fossile croit dans le monde continument depuis 1900.

(Source AIE 2022)

# Consommation d'énergie totale par personne dans le monde (1965-2022)

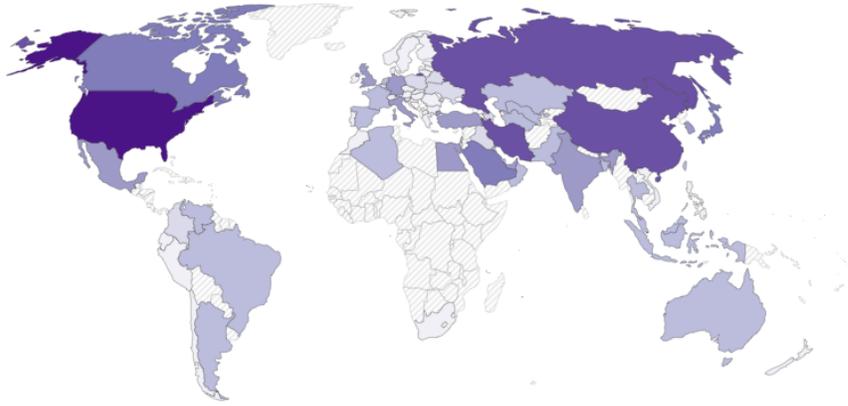
Energy use not only includes electricity, but also other areas of consumption including transport, heating and cooking.

Energy use not only includes electricity, but also other areas of consumption including transport, heating and cooking.



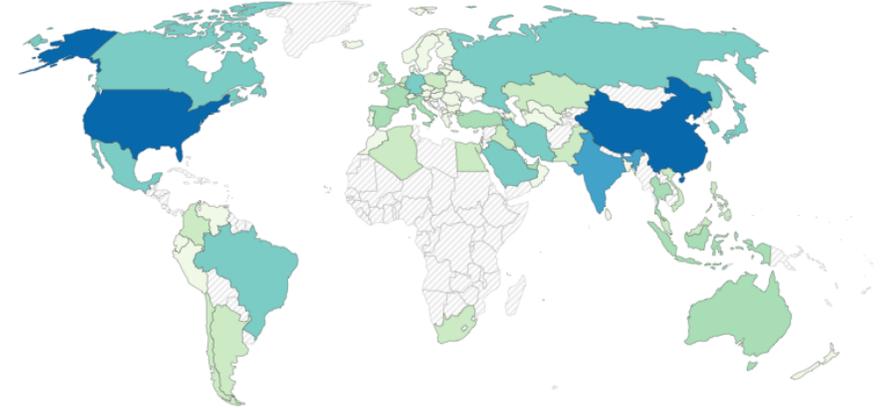
(Source ourworldindata.org)

# Consommation hydrocarbures dans le monde



0 TWh 100 TWh 200 TWh 500 TWh 1,000 TWh 2,000 TWh 5,000 TWh 10,000 TWh

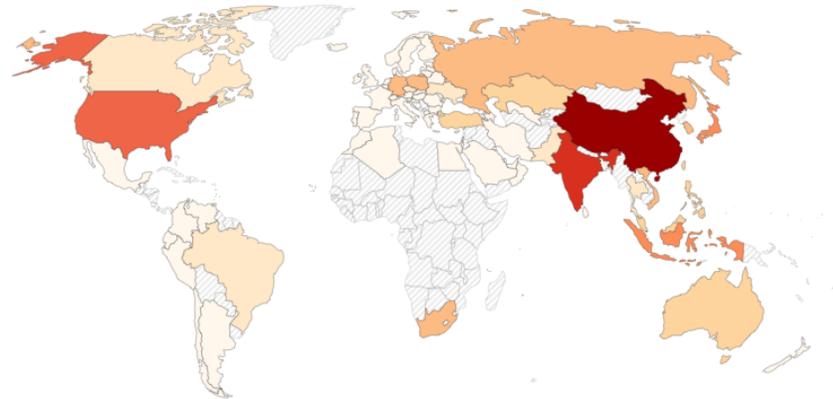
Gaz



0 TWh 200 TWh 500 TWh 1,000 TWh 2,000 TWh 5,000 TWh

Charbon

Pétrole

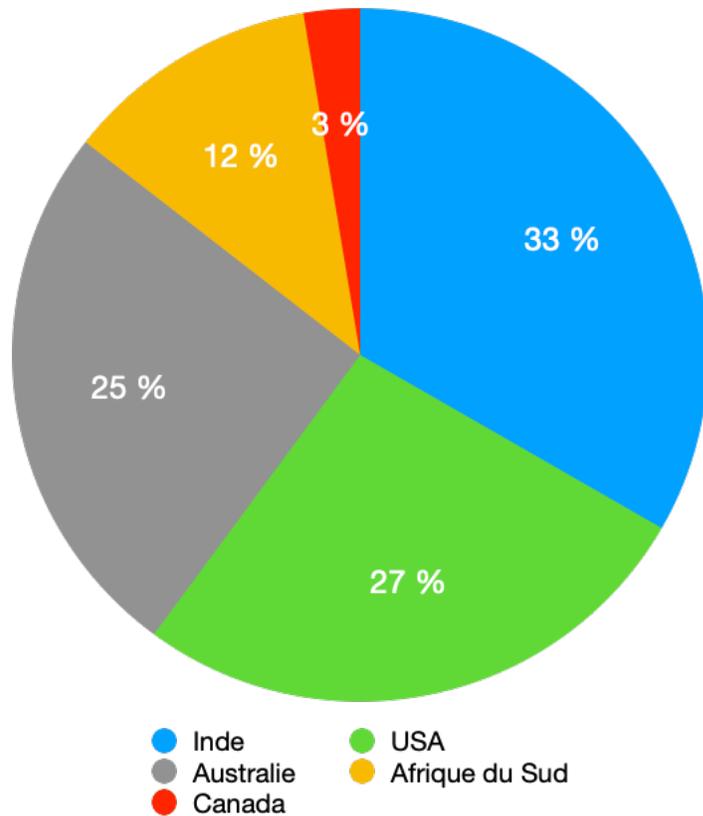


0 TWh 100 TWh 200 TWh 500 TWh 1,000 TWh 2,000 TWh 5,000 TWh 10,000 TWh

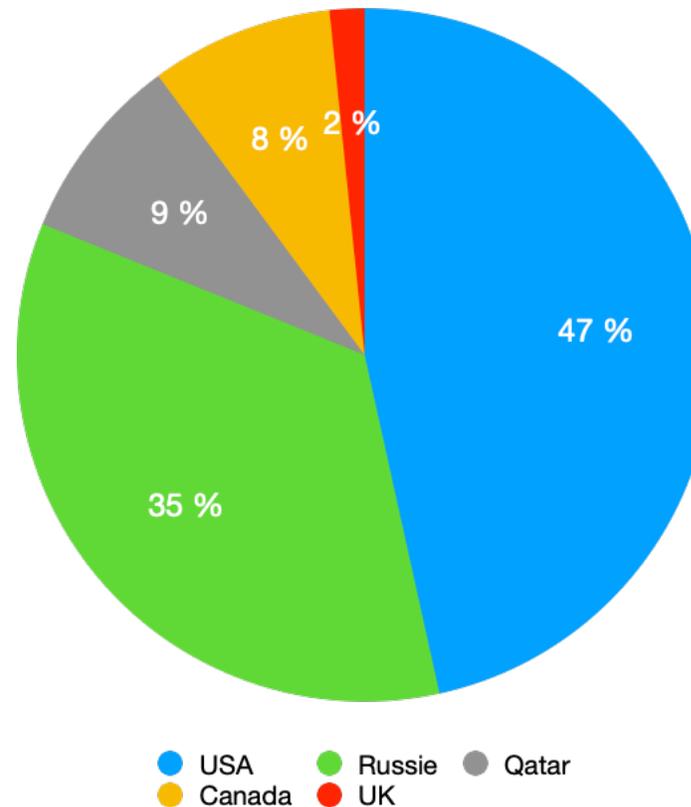
(Source ourworldindata.org)

# Pays producteurs d'hydrocarbures (2022)

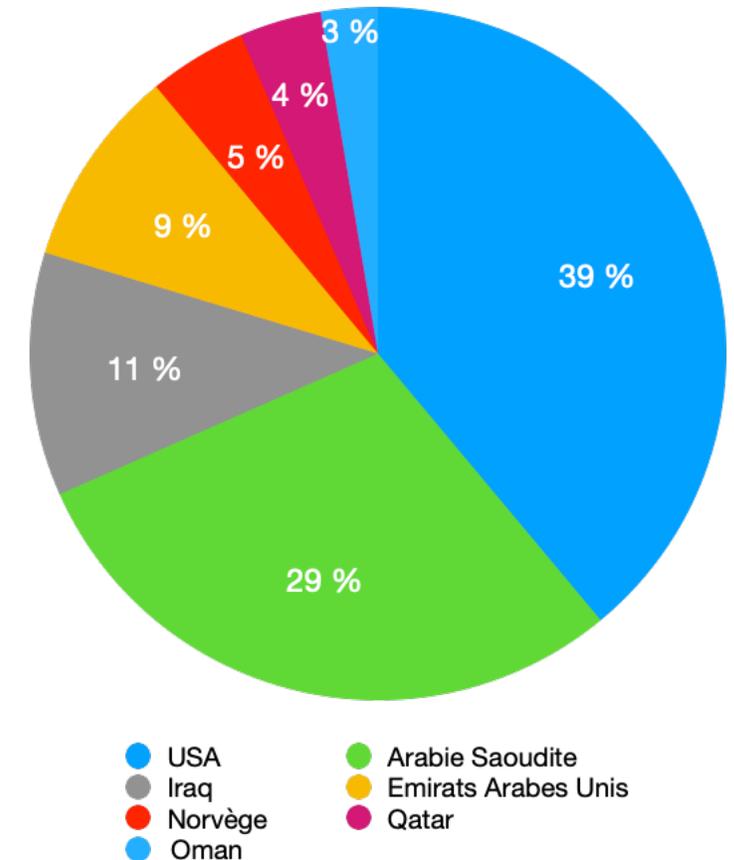
Pays producteurs de charbon en 2022



Pays producteurs de gaz 2022



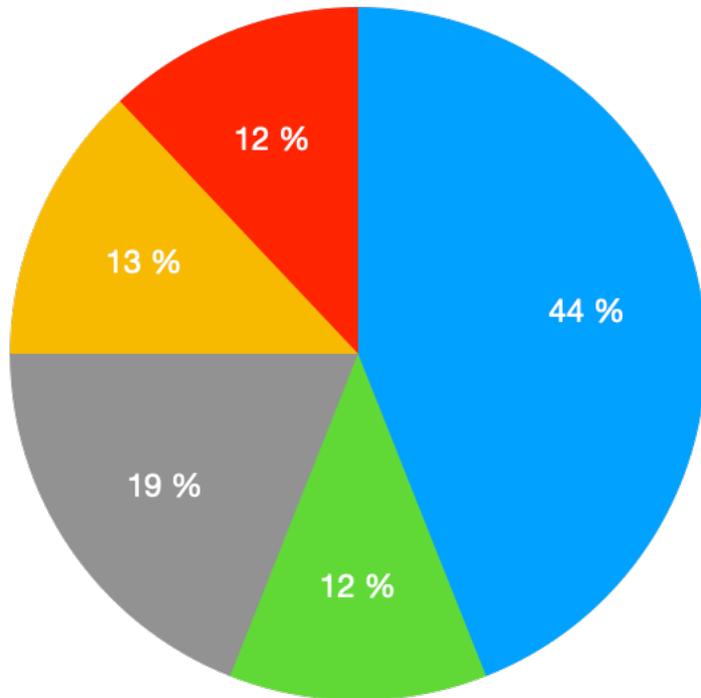
Pays producteurs de pétrole 2022



(Source Ourworldindata et IEA)

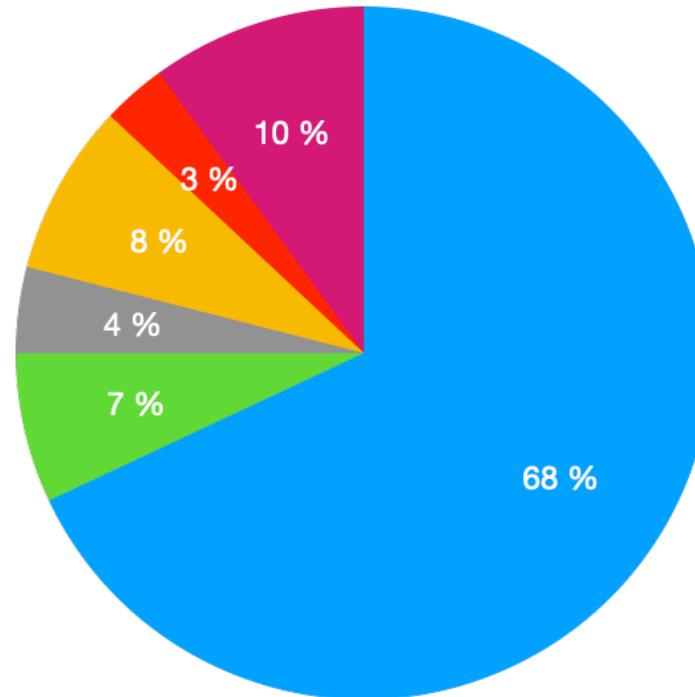
# Usages hydrocarbures

Usages du pétrole



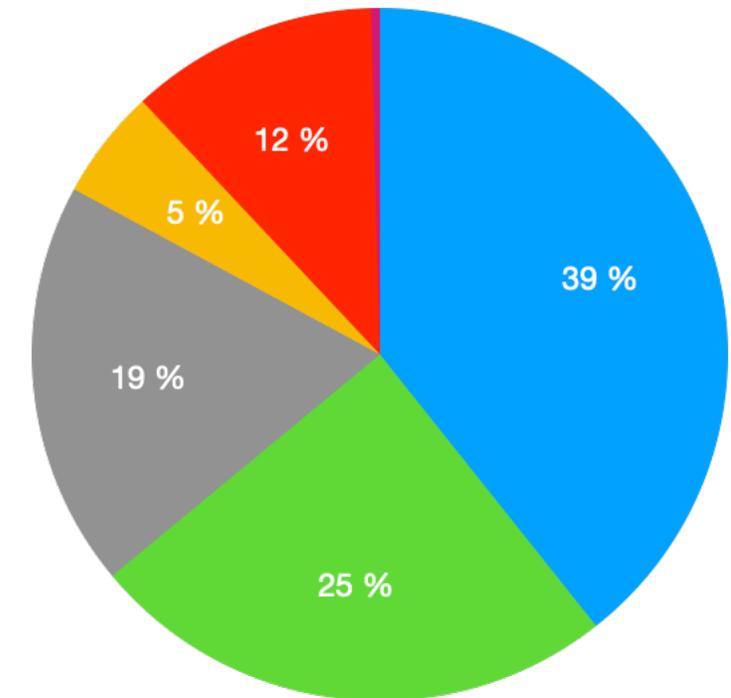
- Transport terrestre
- Industrie/ pétrochimie
- Autres
- Aviation et maritime
- bâtiment/électricité

Usages du charbon



- Production électrique
- Cimenteries
- Résidentiel/tertiaire
- Sidérurgie
- Reste industrie
- Autres usages

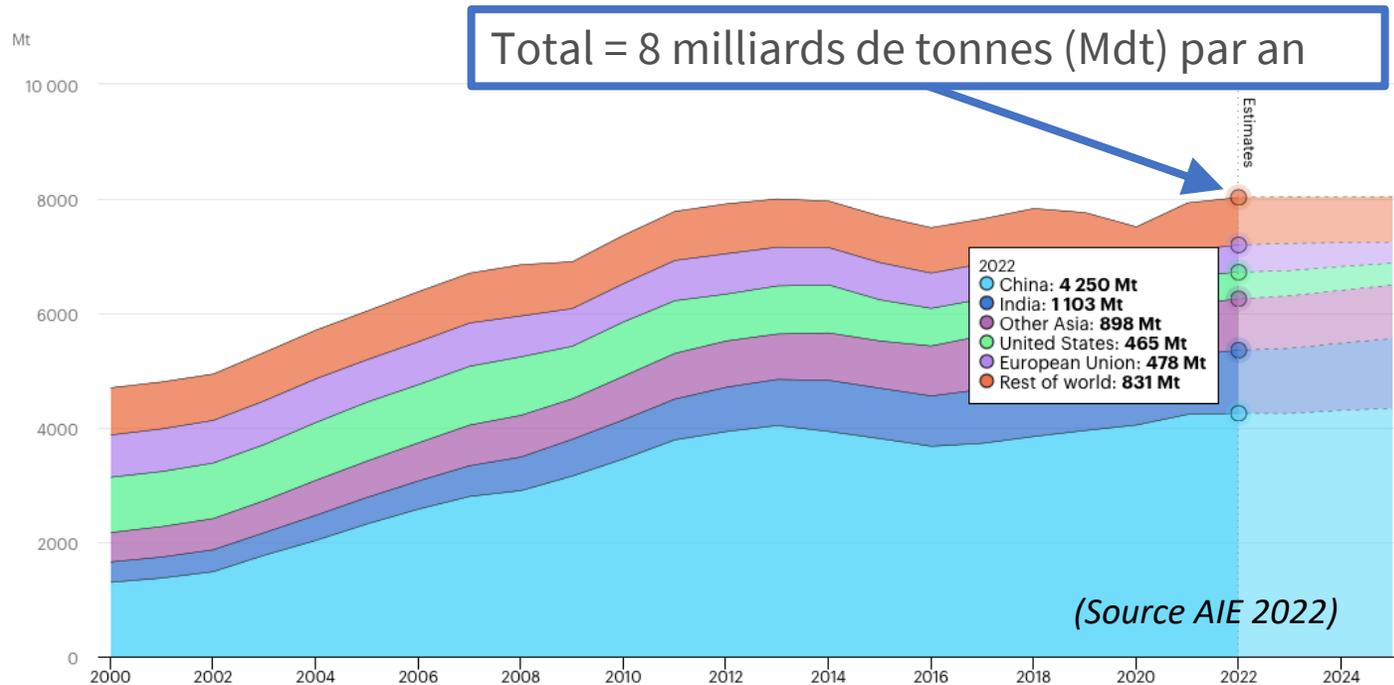
Usage du gaz



- Électricité
- Batiments/chauffage
- Autre secteur énergie
- Industrie
- Transport
- Autres (agriculture...)

(Source Ourworldindata et IEA)

# Consommation de charbon dans le monde

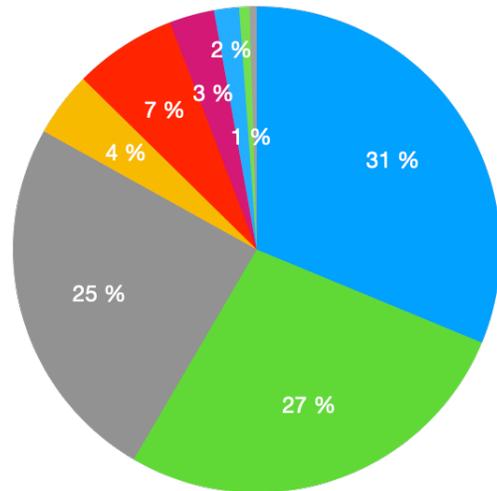


- ❑ 9000 centrales dans le monde pour une capacité installée de ~ 2185 GW.
- ❑ Age moyen = 20 ans
- ❑ Amérique du Nord: 244 GW (âge moyen = 41 ans)
- ❑ Europe: 184 GW (âge moyen = 34 ans)
- ❑ Asie-Pacifique: 1600 GW (âge moyen = 14 ans)
- ❑ Chine 1141 GW à elle seule.

➔ Plus grand consommateur de charbon :  
production d'électricité en Chine

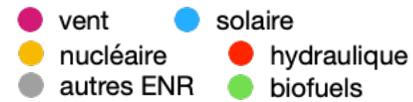
# Consommation mondiale d'énergie en 2021

## Consommation énergie primaire



**Monde:**  
**165 000 TWh**  
**dont 17% électricité**

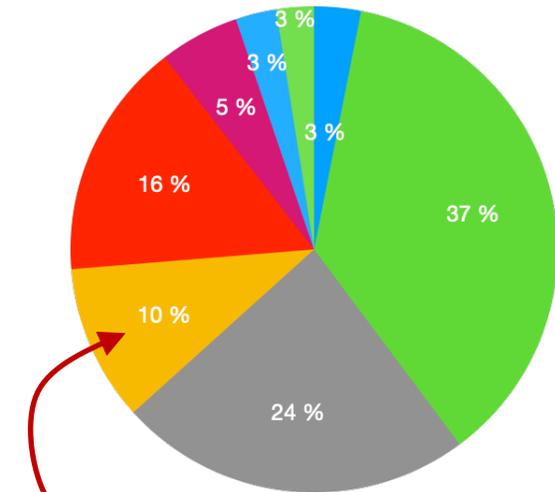
### Energies bas-carbone



### Energies fossiles



## Production électrique



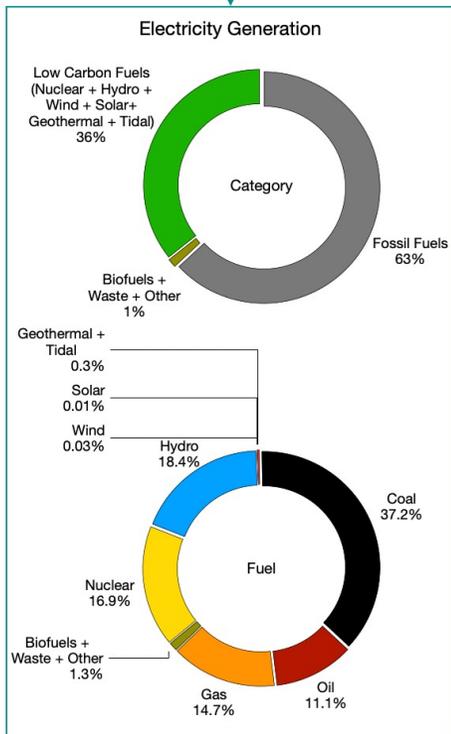
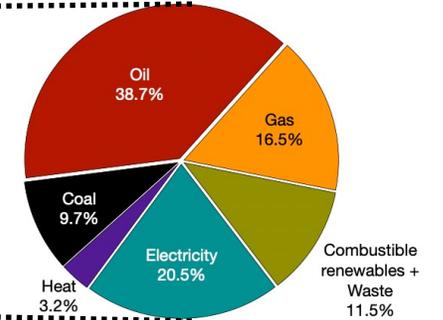
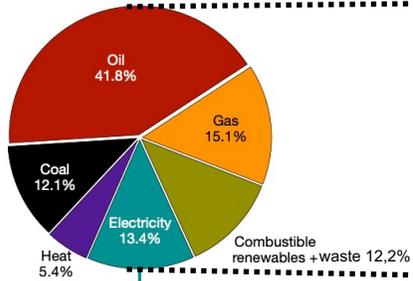
**Nucléaire = 2<sup>ème</sup> source d'électricité bas-carbone**

**733 millions sans électricité ( ~ 80% en Afrique subsaharienne)**

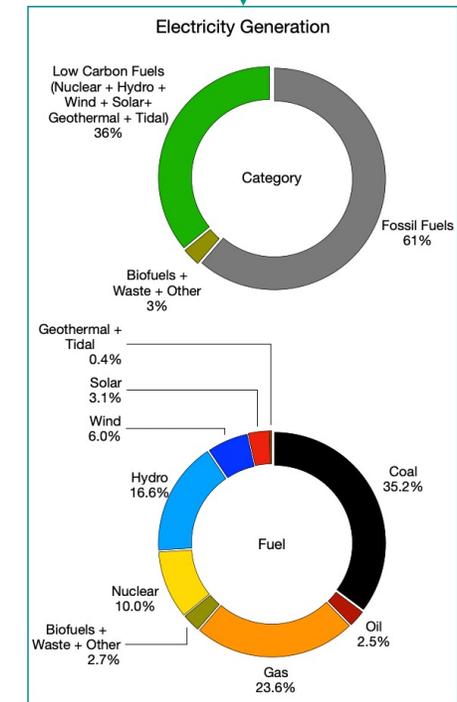
(source AIE 2022 et Eurostat)

# Evolution mondiale 1990-2020

+54%

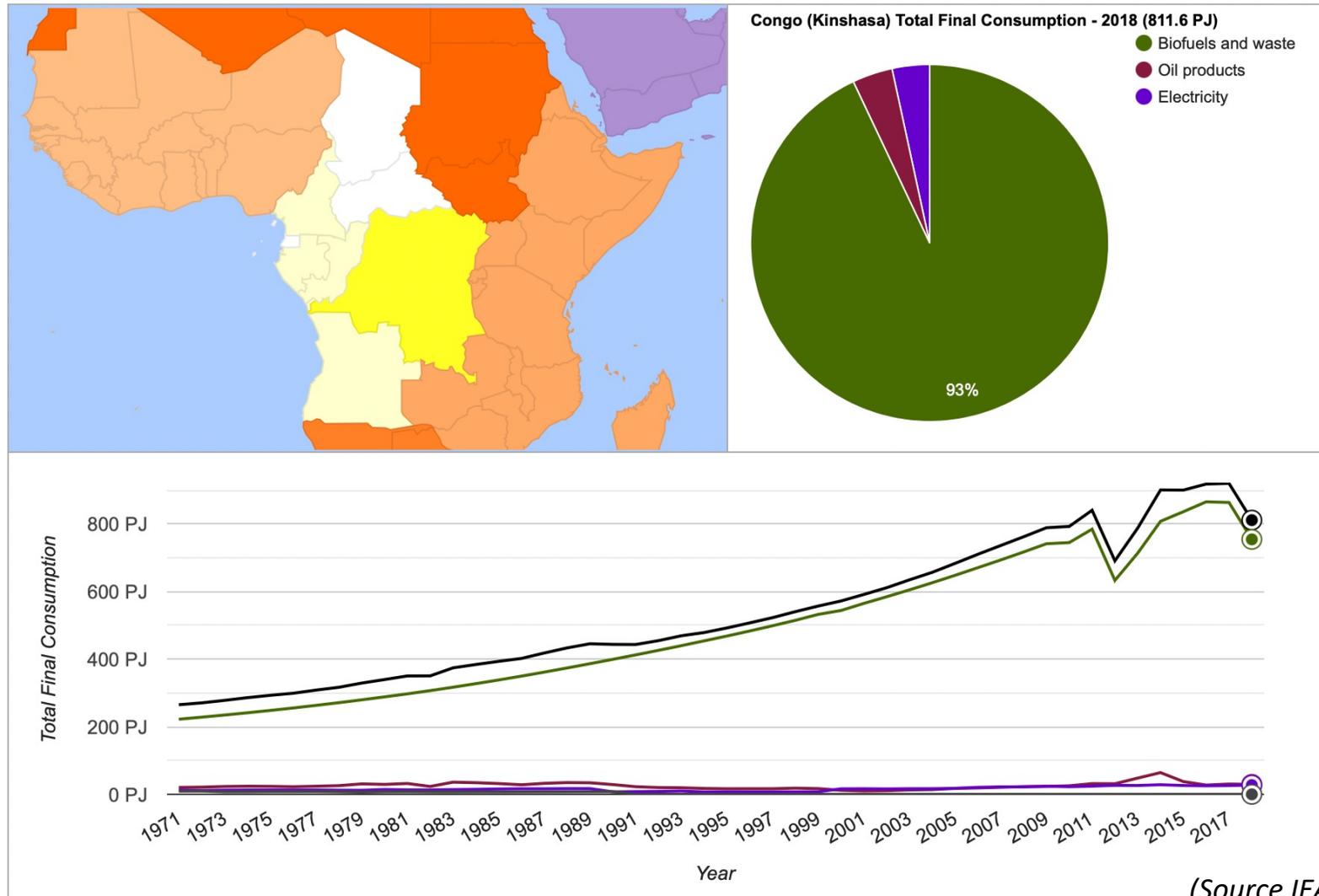


- ❑ 1990-2020 : consommation combustibles fossiles identique (Réduction de seulement 2,6%).
- ❑ Au cours de cette période de 31 ans, 25 conférences de l'ONU sur le climat.
- ❑ La consommation annuelle totale d'énergie primaire a augmenté de 54%.
- ❑ Electricité : augmentation 13,4 % à 20,5 %.
- ❑ La part de la production d'électricité bas-carbone est passée de 31 % en 2010 à 36 % en 2020, elle était également de 36 % en 1990.



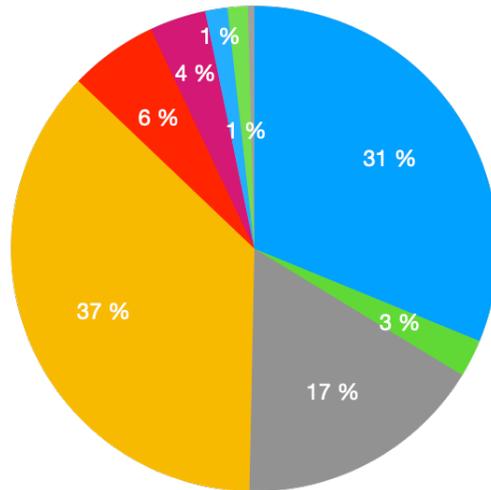
(Source World Energy data)

# Exemple de la RDC



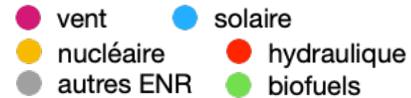
# Le cas de la France

## Consommation énergie primaire



1 618 TWh

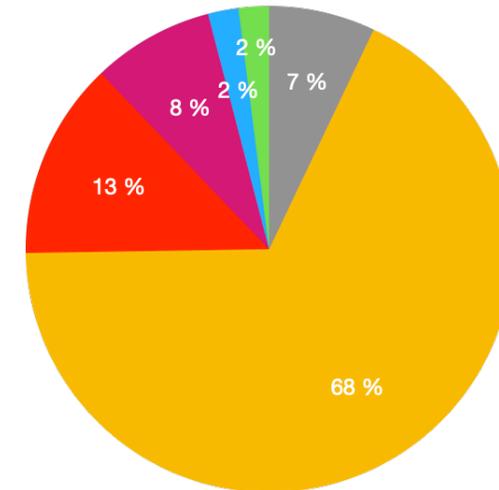
### Énergies bas-carbone



### Énergies fossiles



## Production électrique



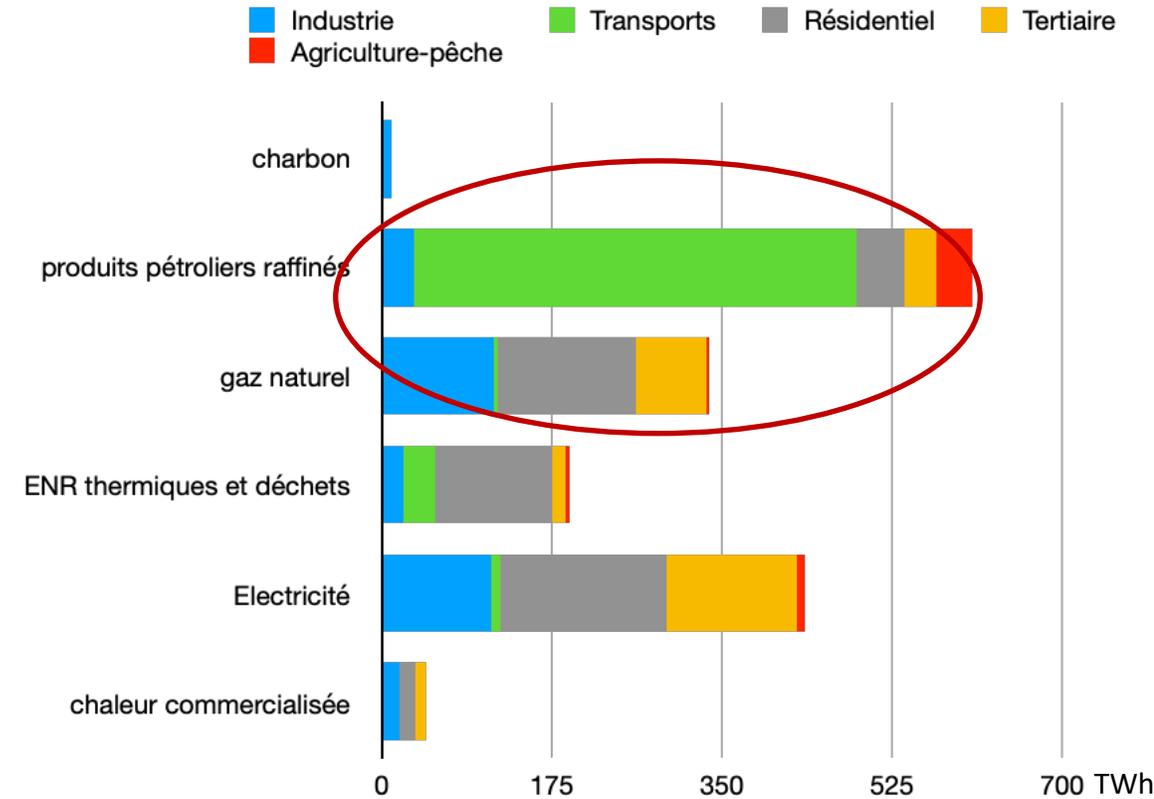
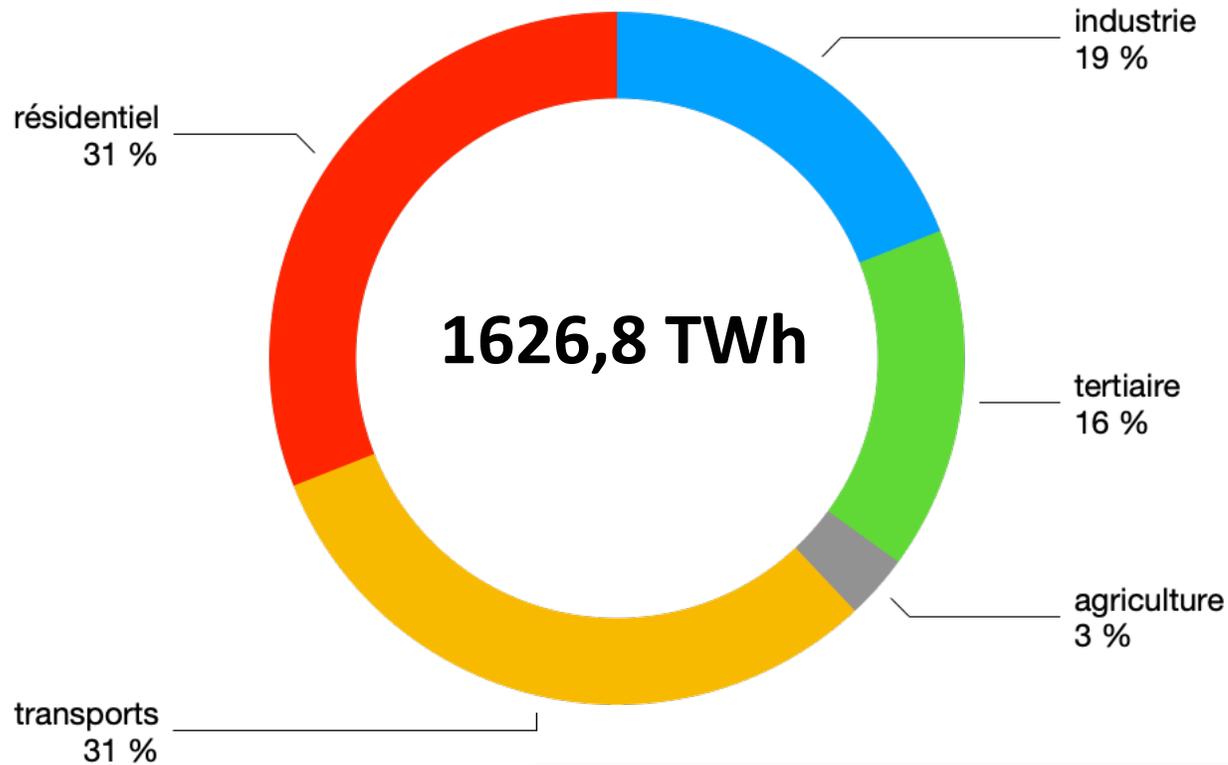
532 TWh

(SDES, Bilan énergétique de la France)

**51% d'énergies fossiles consommées**

**Electricité bas-carbone à + de 90% (grâce à l'énergie nucléaire)**

# Consommation d'énergie finale par secteur en 2021 en France

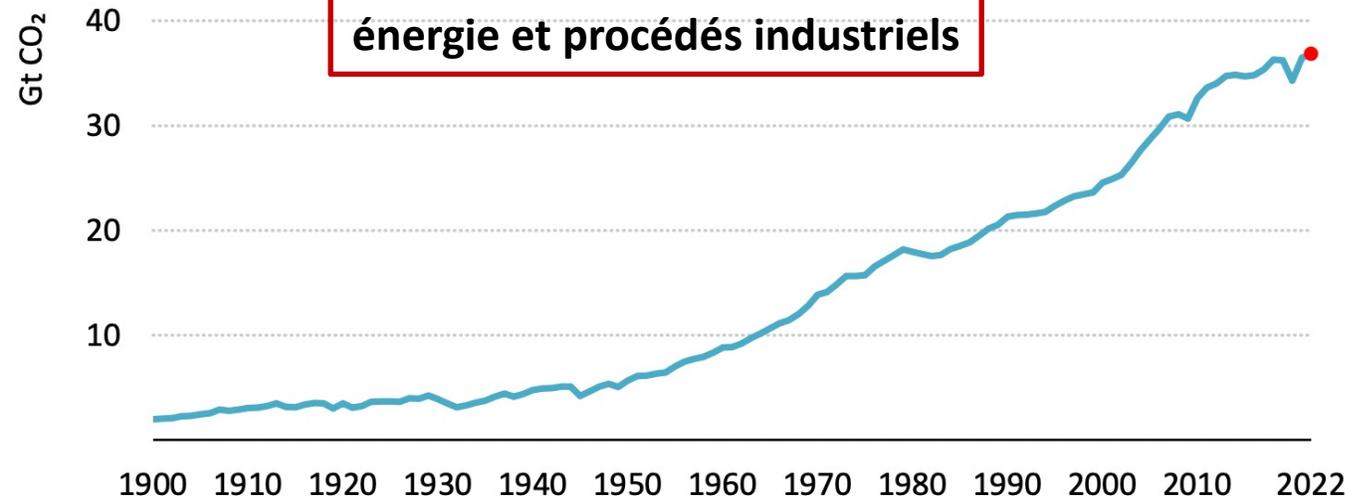


**Objectif: diminuer les fossiles :**

- 1. Diminuer pétrole dans les transports**
- 2. Diminuer le gaz dans l'industrie, chauffage bâtiments**

# Les données sur le CO2 (2022)

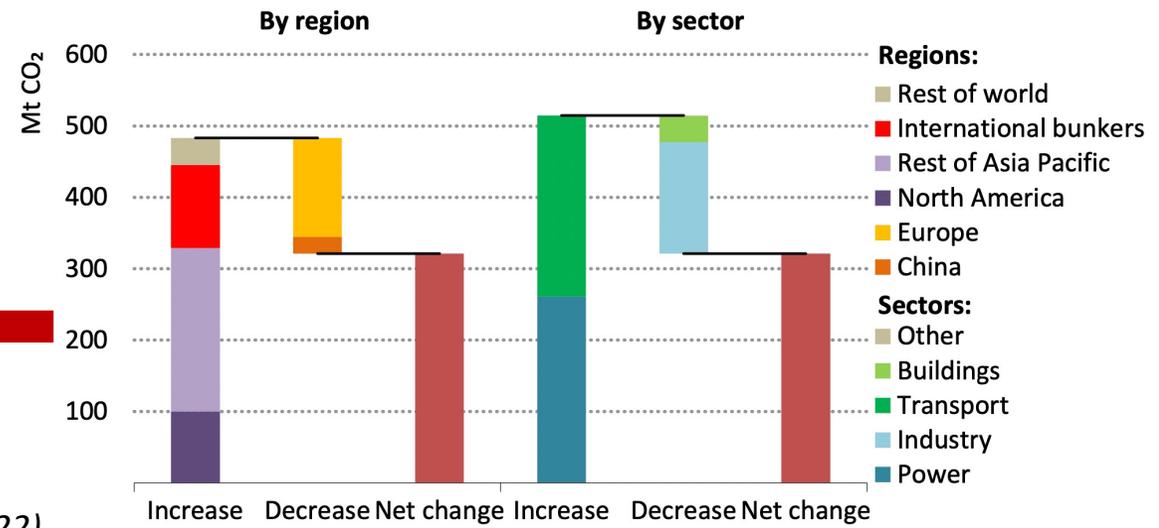
**Émissions mondiales de CO2 énergie et procédés industriels**



- Augmentation continue depuis 1900
- 2022 : 36,8 milliards de tonnes (Gt)

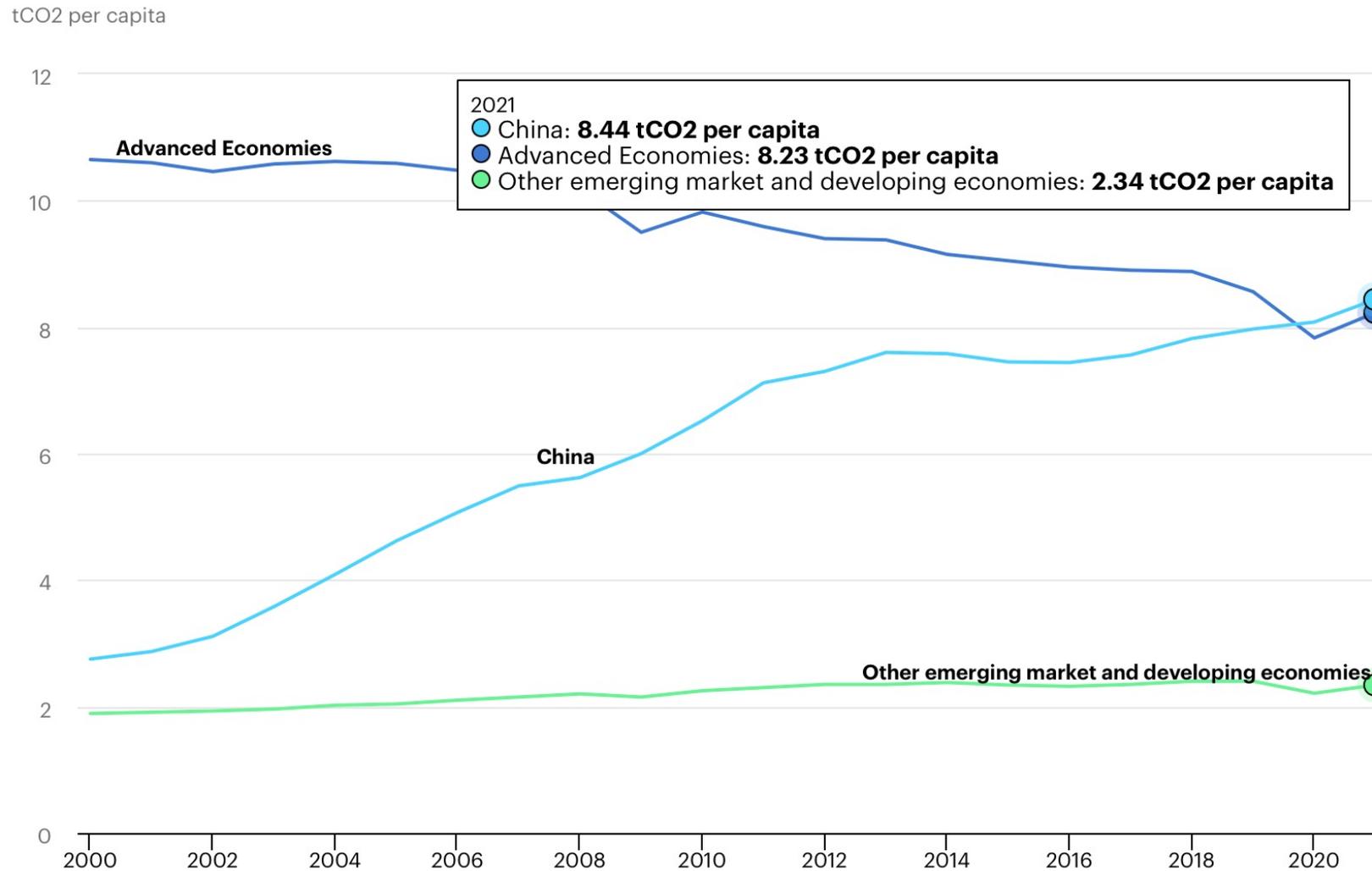
**2021-2022 : Evolution des émissions mondiales de CO2 par région et par secteur**

- 321 Mt de CO2 en plus
- Par région : Europe (- 23 Mt) et Chine (- 138 Mt)
- Par secteur : Industrie (-156 Mt) et bâtiments (-37 Mt)



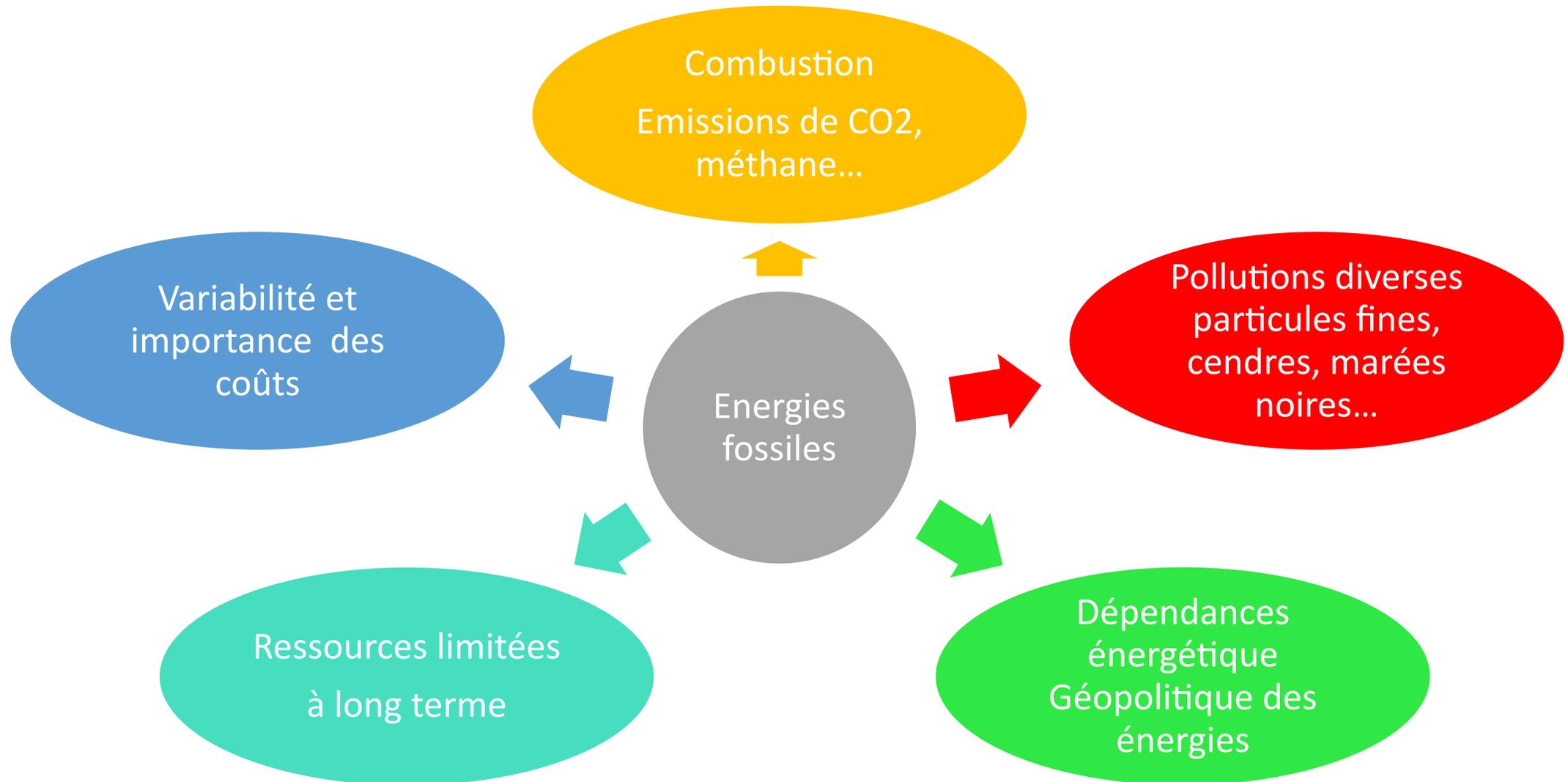
(Source IEA 2022)

# Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> par habitant et par an



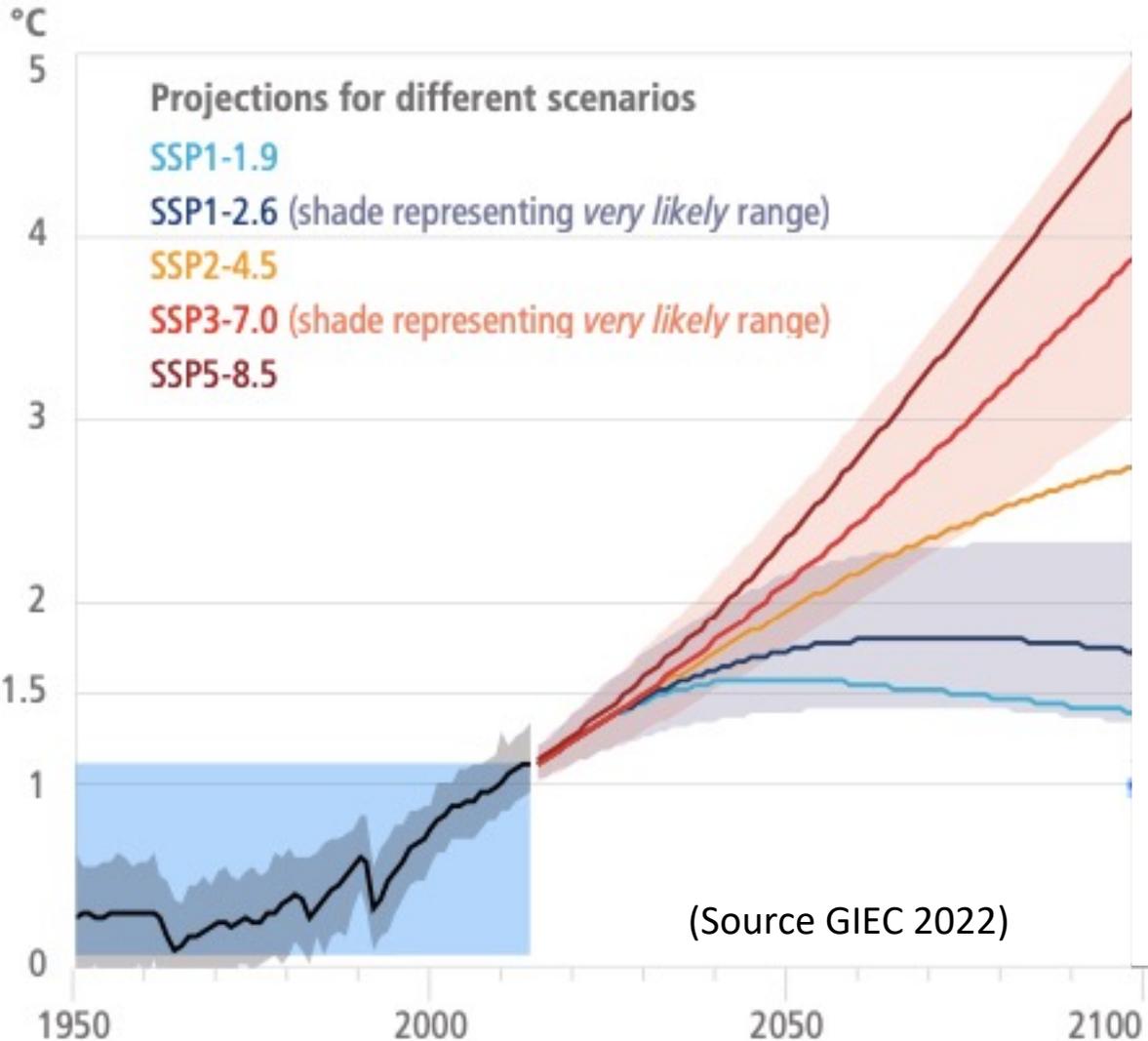
(Source IEA 2022)

# Les arguments en défaveur des énergies fossiles



## □ La transition énergétique

# Les scénarios : aide à la décision politique

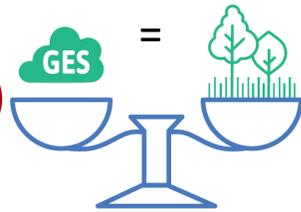


- Tous les scénarios prédisent une hausse de la température moyenne de la planète.
- En France : variation d'un facteur 1 à 4 pour  $T_{\text{moy}}$  à la fin du siècle.
- Les gouvernements doivent mettre en place des politiques publiques qui prennent en compte ce résultat.
- Deux grands axes :**
  - la lutte contre le réchauffement climatique.**
  - l'adaptabilité face aux conséquences.**

# La neutralité carbone: définition

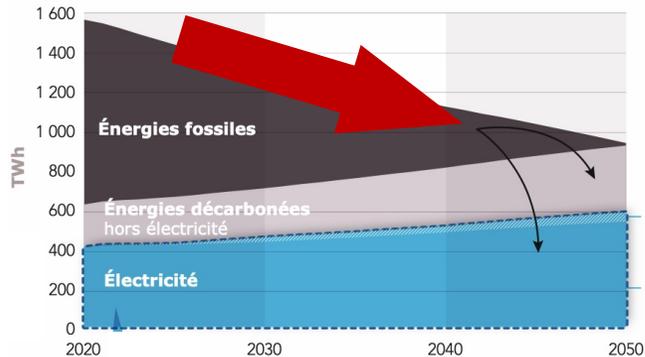
La neutralité carbone :

Émissions de GES

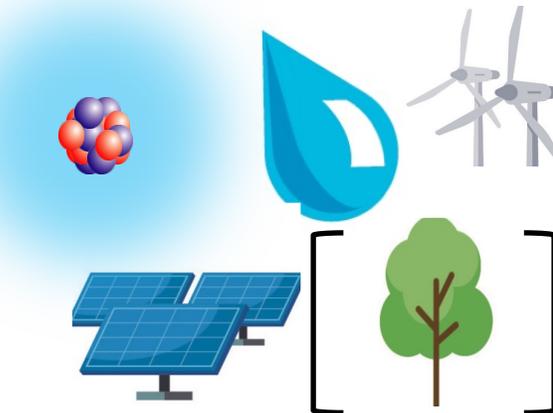


l'absorption CO2 par puits de carbone.

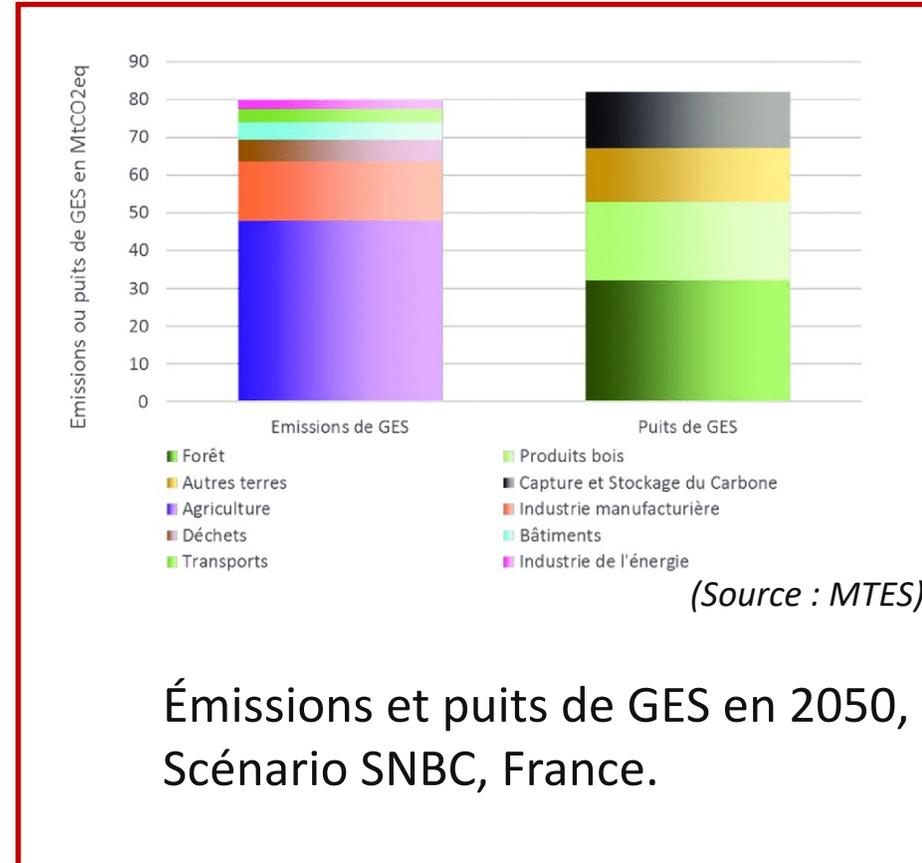
Deux leviers :



Réduire conso. d'énergie  
Sobriété/efficacité énergétique



Construire un MIX  
Bas-carbone et diversifié

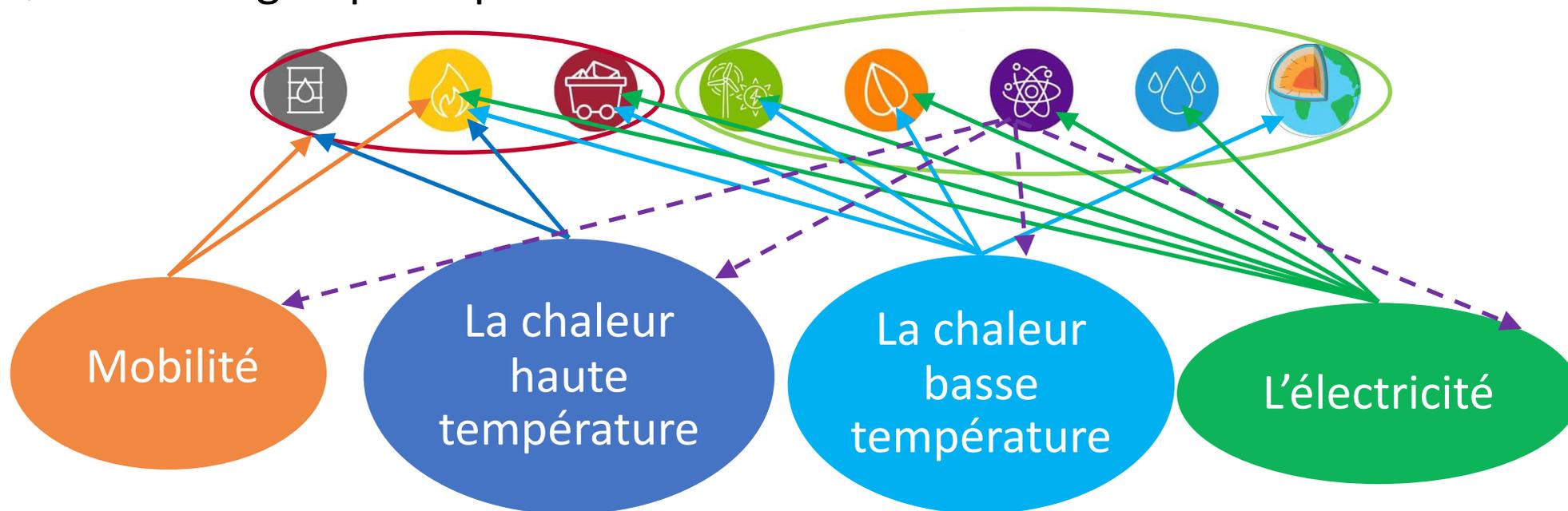


# La transition énergétique

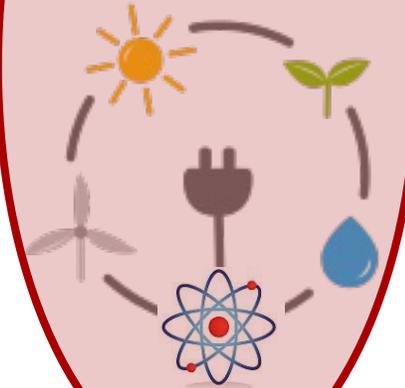
❑ Passer des sources d'énergies fossiles aux sources d'énergies bas carbone.



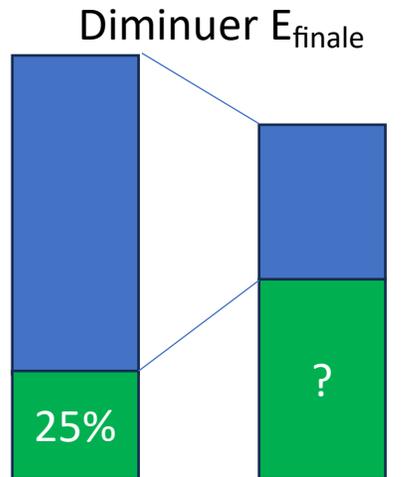
❑ Quelles énergies pour quels besoins?



Sources  
d'électricité  
bas-carbone ?



# Les trois piliers de la transition énergétique



Augmenter l'électricité

Efficacité  
énergétique

Augmenter les rendements  
Améliorer l'existant  
Changer de procédés

Sobriété

Défossiliser  
les usages

Changement de comportement  
Changement de société et/ou d'économie ?

Electrification  
Production de chaleur bas-carbone

# Politique publiques

In all sectors the greatest efficiency gains are achieved by a package of policies that combine three main types of mechanisms: **Regulation**, **information** and **incentives**. Careful design and implementation will deliver efficiency's full potential to enhance energy security, create jobs, increase living standards, cut energy bills and reduce emissions.

Targets

**Policies are more effective** when they are set in the context of clear strategies and targets.

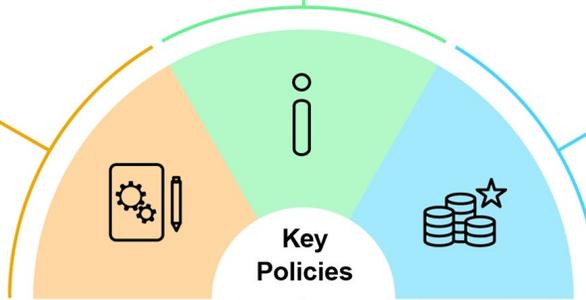


Essential elements

**Regulation** is essential to exclude the worst performing equipment and practices from the market, to drive average efficiency levels up, and to set rules for measurement of performance.

**Information** helps people make more efficient choices in what they buy and how they use energy.

**Incentives** make efficient options more attractive and speed up the upgrade and replacement of appliances, buildings and vehicles. They also encourage the use of new technologies and practices.



**Implementation** is as important as policy design.



Ensuring that the **resources** are in place to put policies into action.

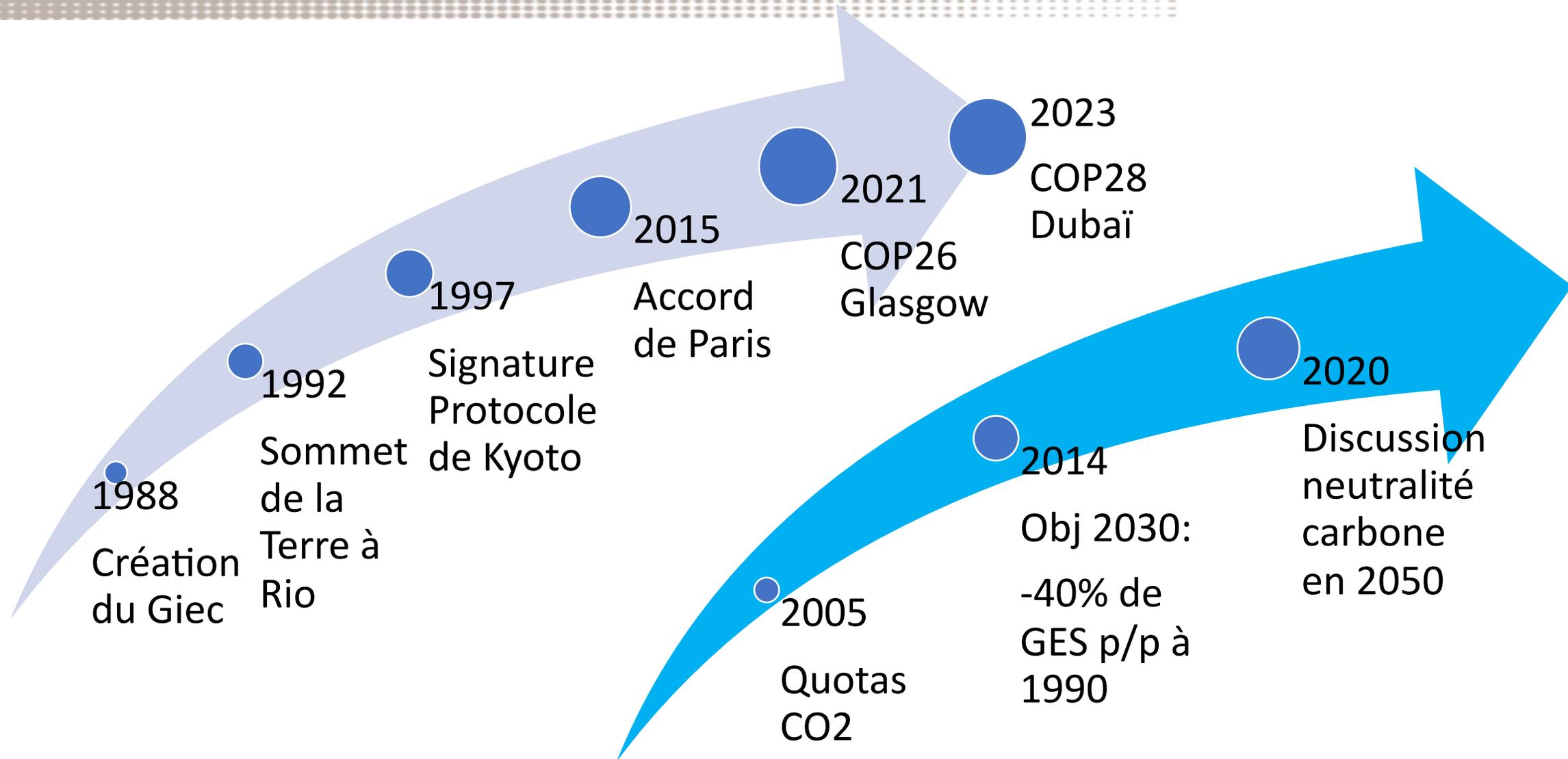


Address **vital elements** such as capacity building, enforcement, monitoring.

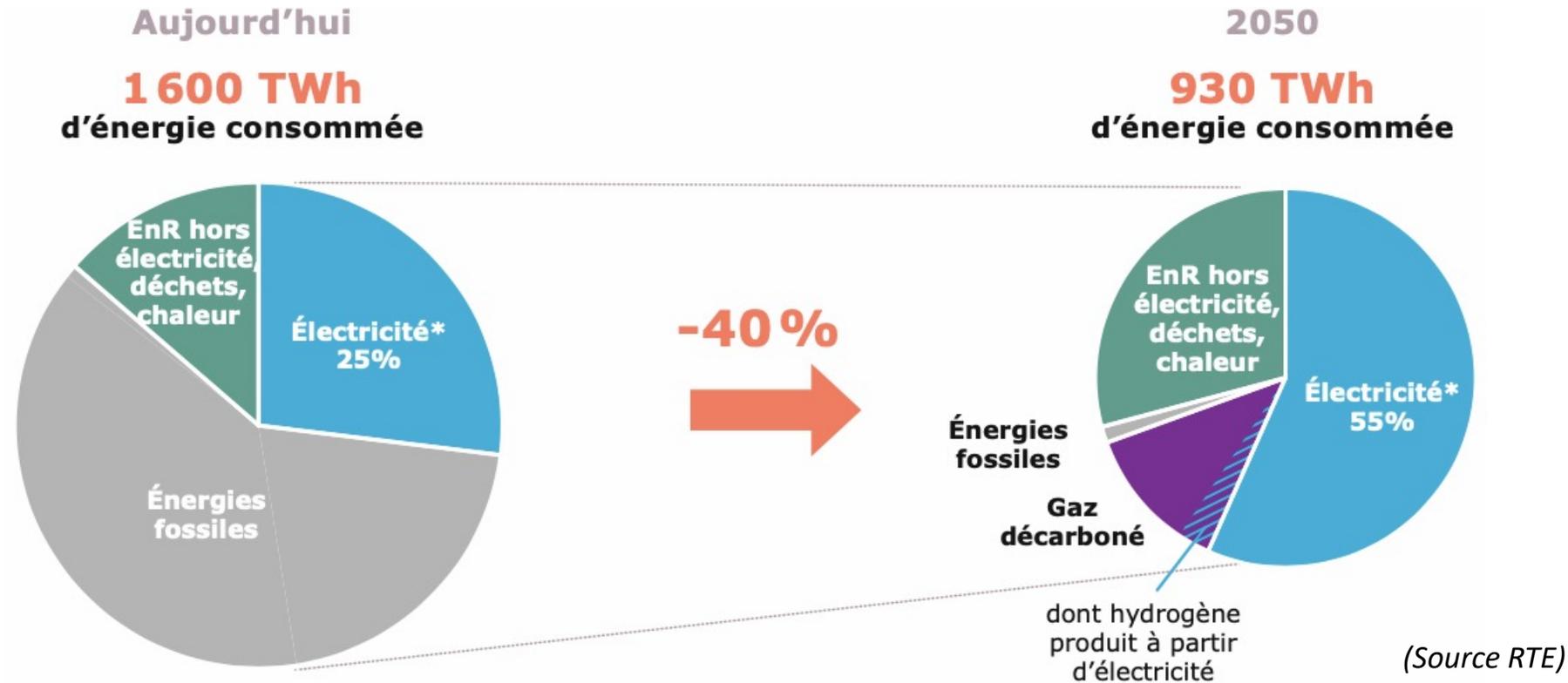


It is important to continually assess **policies and programmes** so as to keep up to date with technology developments.

# L'agenda mondial et européen



# Projection pour 2050 en France (Scénarios RTE)



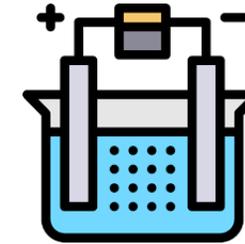
Consommation électricité en 2050 :  
scénario de référence = 645 TWh (+35%)  
scénario « réindustrialisation » = 755 TWh (+60%)

# Progrès des technologies d'énergie bas-carbone

- vente de véhicules électriques ↗ (55 %, 10 millions)
- capacité de fabrication de batteries annoncée suffisante pour répondre à la demande attendue en 2030 (scénario NZE).



- Capacité installée des électrolyseurs ↗ (+20 %),
- Capacité de fabrication des électrolyseurs ↗ (+25 %).



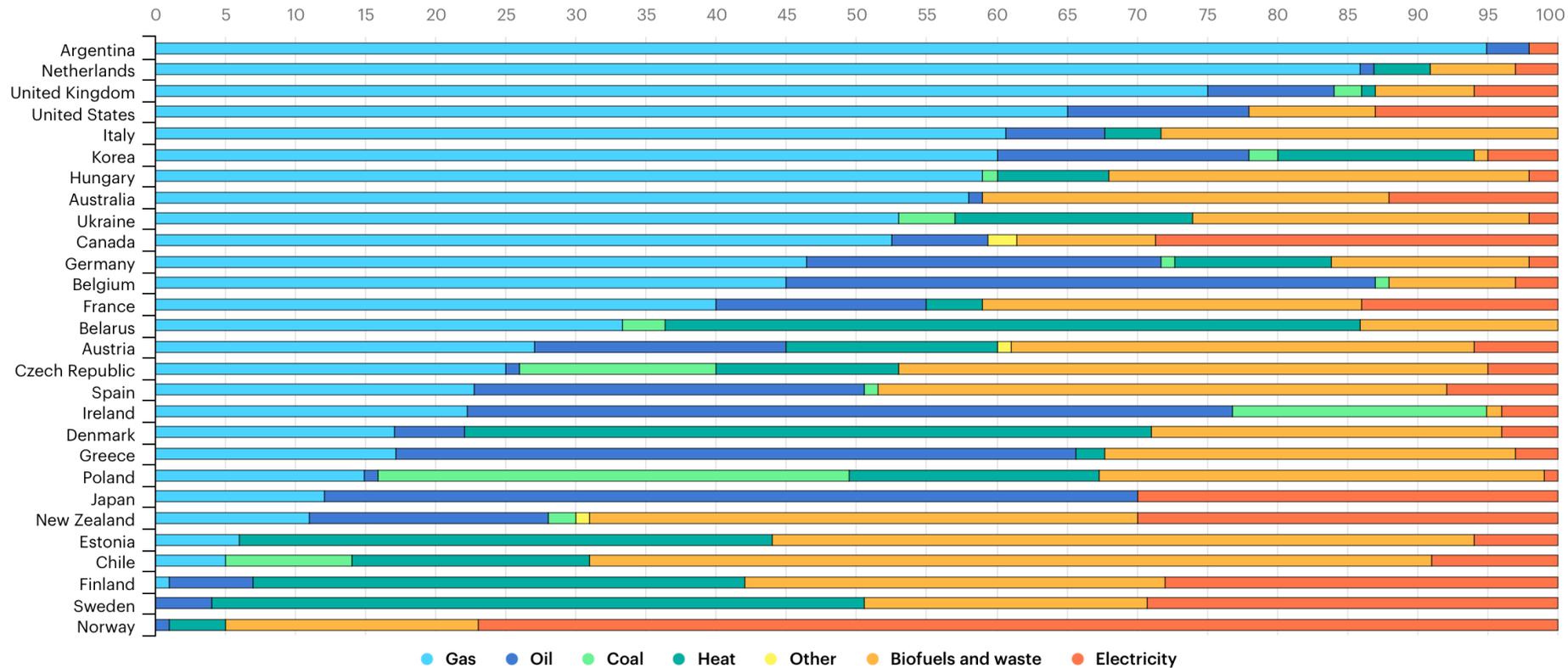
- L'efficacité énergétique de l'économie ↗ (×2 p/p 2021)
- mesure la plus importante visant à éviter la demande d'énergie dans le scénario NZE.



- Ajouts de capacité nucléaire ↗ (40 %, 8 GW installés)
- Intention de tripler la capacité installée mondiale (annonce COP28)

- Ventes de pompes à chaleur ↗ (11 %).
- Chiffre proche de la croissance annuelle de 15 % nécessaire (scénario NZE).

# Chauffage résidentiel dans le monde

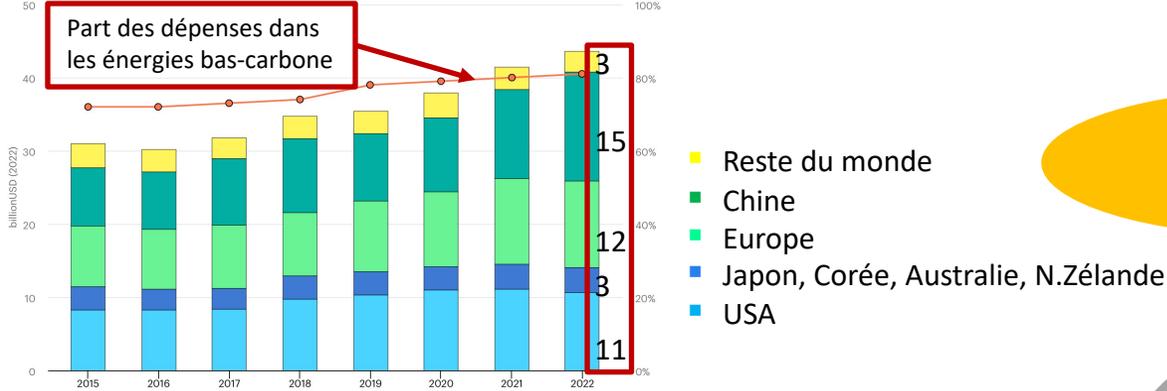


Le gaz naturel est le combustible le plus couramment utilisé dans le monde pour le chauffage résidentiel, représentant 42 % ou 760 milliards de mètres cubes des besoins pour le chauffage.

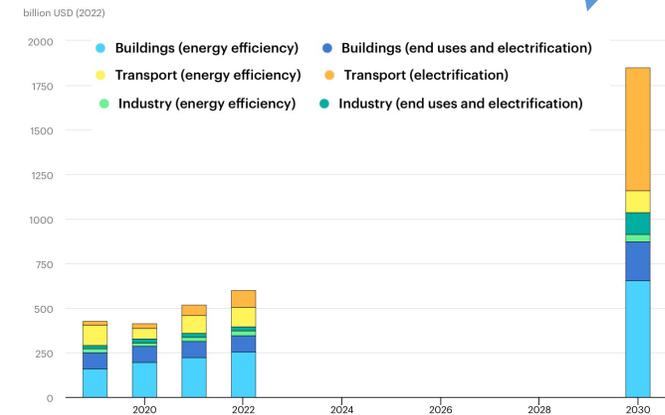
(Source IEA 2022)

# Efficacité énergétique: Facilitateurs

Dépenses publiques en R&D sur l'énergie



Investissement mondial lié à l'efficacité énergétique



Investissements

Politiques publiques

Efficacité énergétique

Electrification/Digitalisation

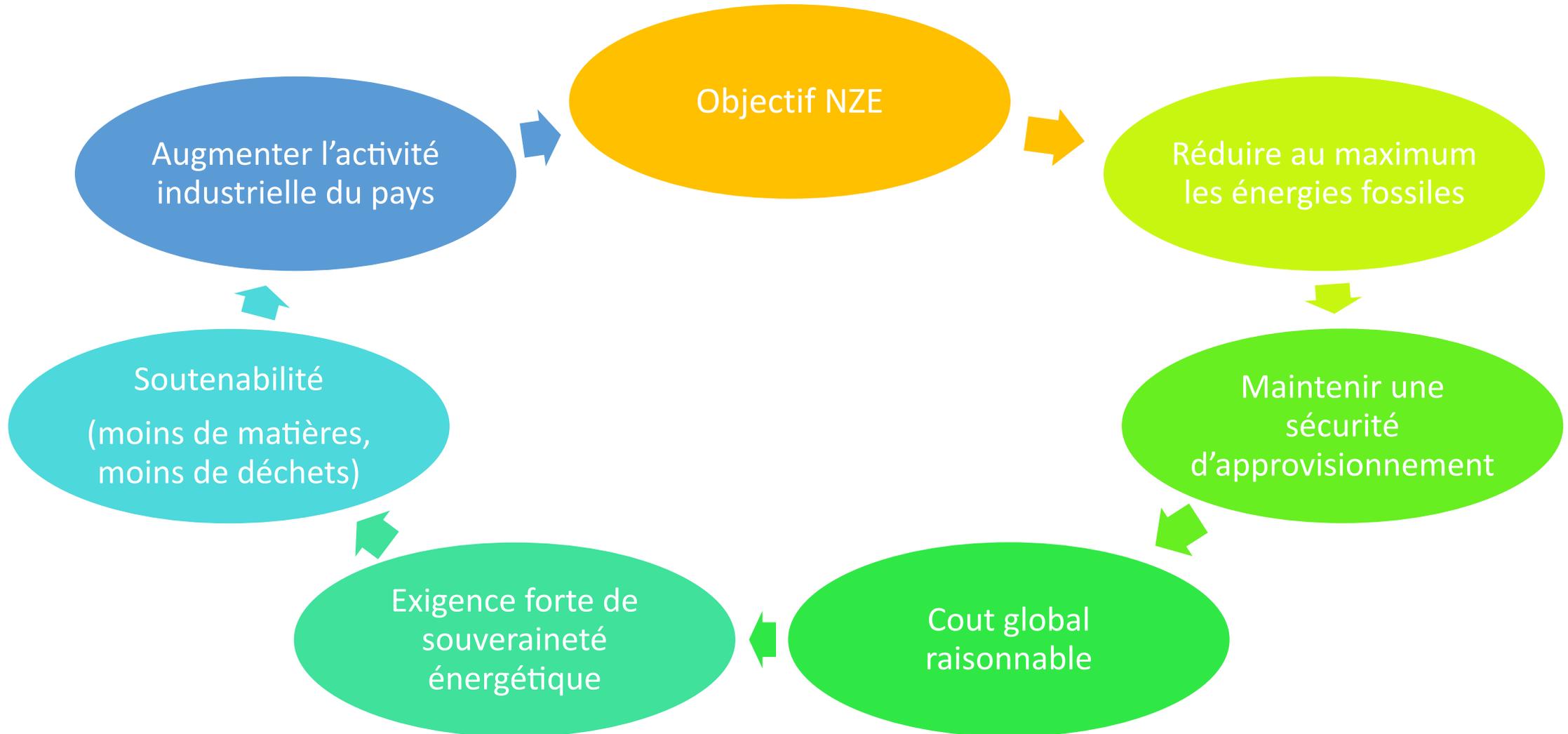
Innovation

Information incitation  
Codes et Normes  
Règles et lois

Réseaux intelligents (électrique et internet)  
Jumeau numérique, RV, RA, IA...  
Robotique, capteurs, IoT

Batteries électrique  
Production H2  
Production ciment  
Éolien offshore  
Efficacité des Matériaux  
Isolation des bâtiments

# Données d'entrée pour une transition bien réussie



 Electrification

# Electrifier ?

## ❑ Electrifier l'habitat :

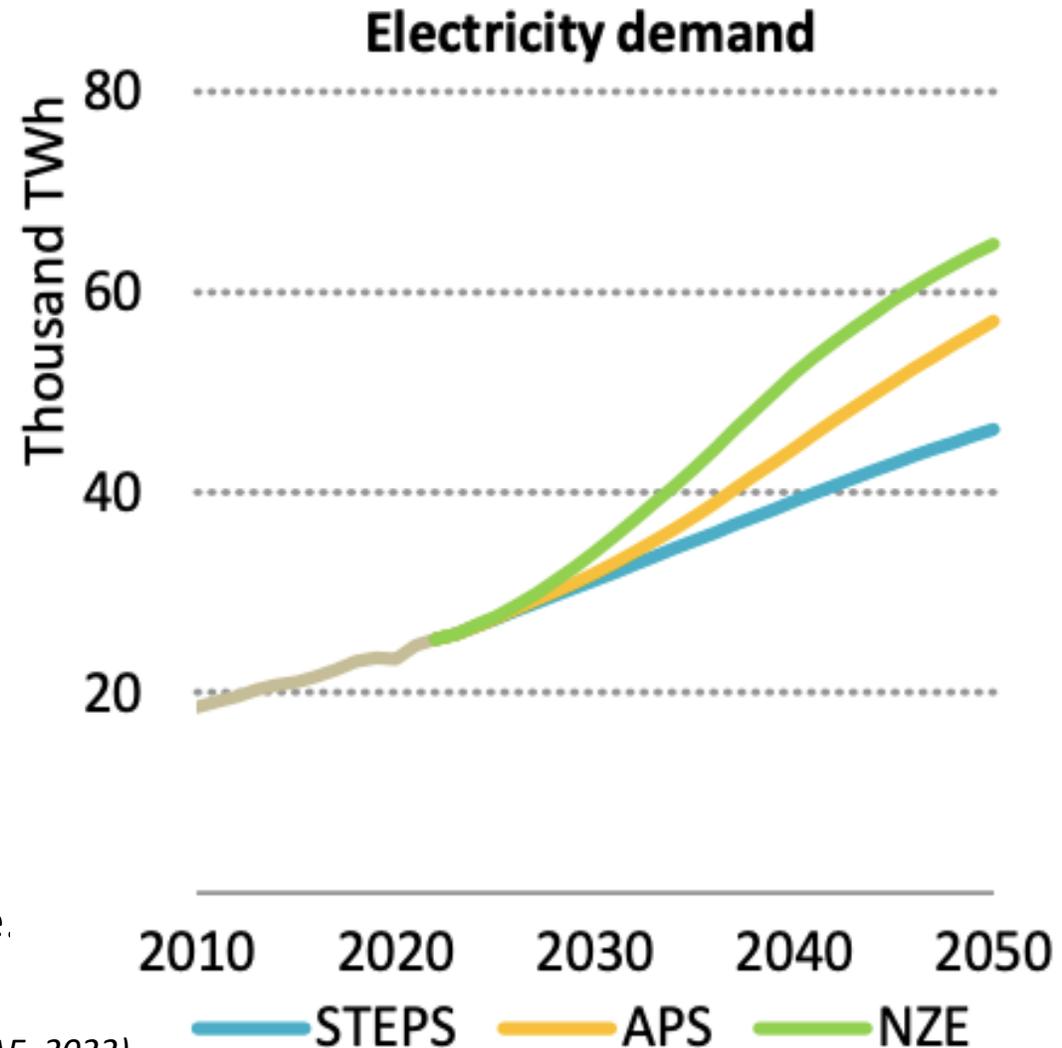
- chauffage (radiateur électrique, pompe à chaleur)
- cuisine (cuisson).

## ❑ Electrifier les transports :

- voiture individuelle,
- transformation camion-train,
- e-fuels, hydrogène...

## ❑ Electrifier l'industrie :

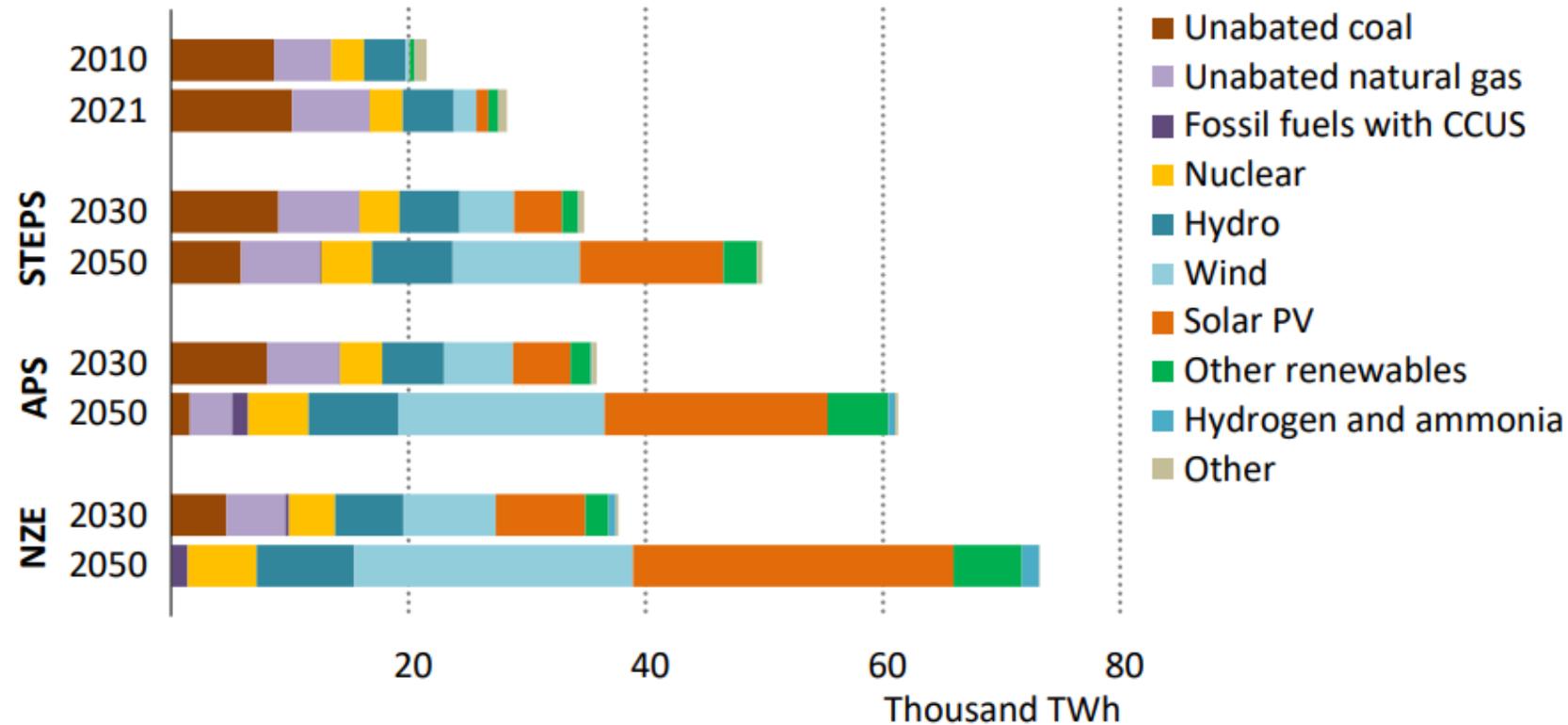
- chaleur produite par l'électricité,
- changement de procédés industriels basé sur l'utilisation de l'électricité,
- exemple hydrogène: électrolyse à la place du vaporeformage.



(Source IAE, 2022)

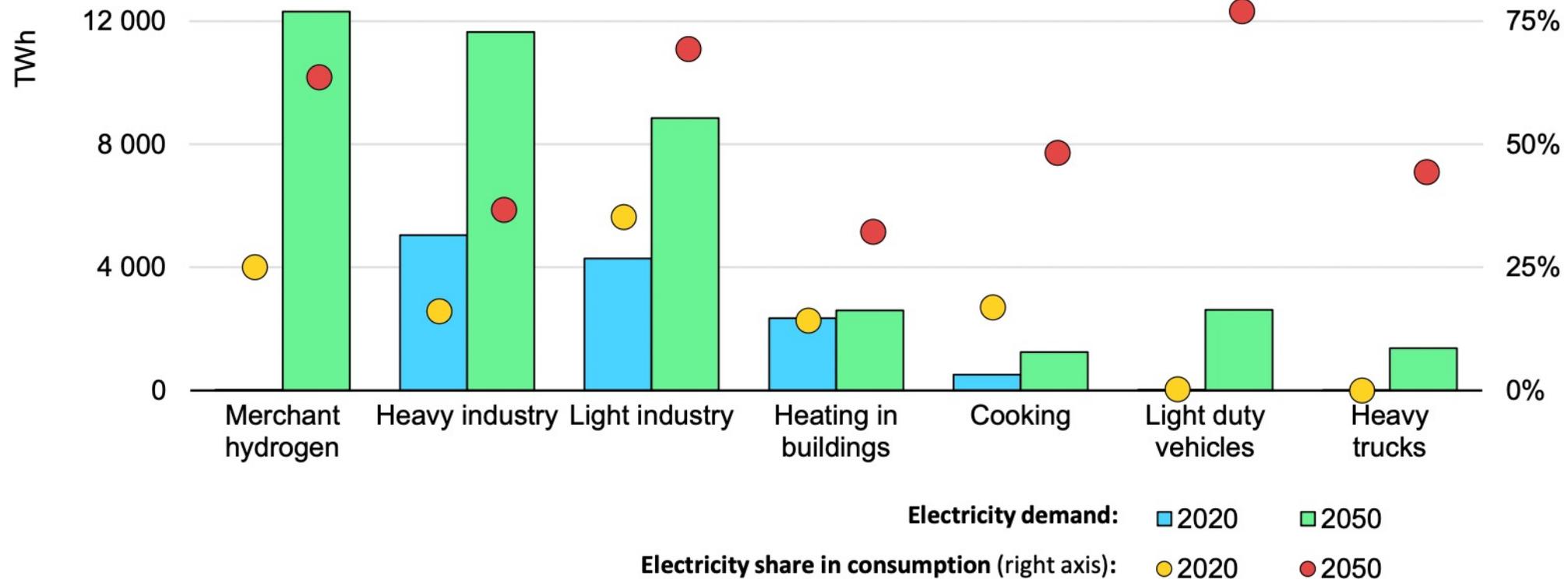
# Production électricité Scénarios IEA

- ❑ Aujourd'hui : nucléaire : 2486,8 TWh
- ❑ STEPS (Stated Policy Scenario),
  - Nucléaire : 3 351 TWh en 2030 à 4 260 TWh en 2050.
- ❑ APS (Announced Policy Scenario)
  - Nucléaire : 3 547 TWh en 2030 à 5 103 TWh en 2050.
- ❑ NZE (Net Zero Scenario)
  - Nucléaire : 3 896 TWh en 2030 à 5810 TWh in 2050.



(Source IEA 2022)

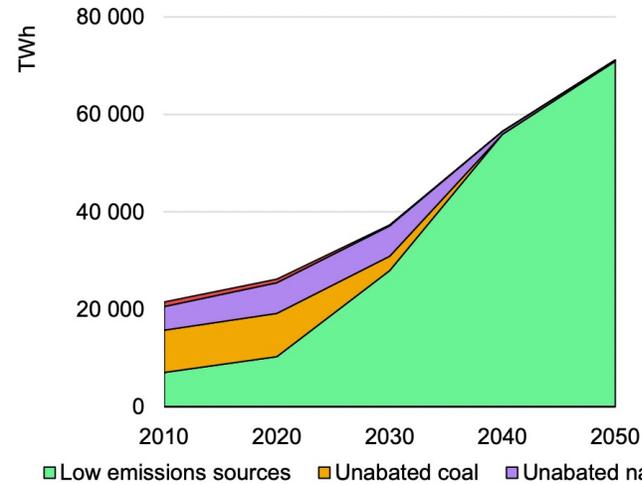
# Demande et part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie



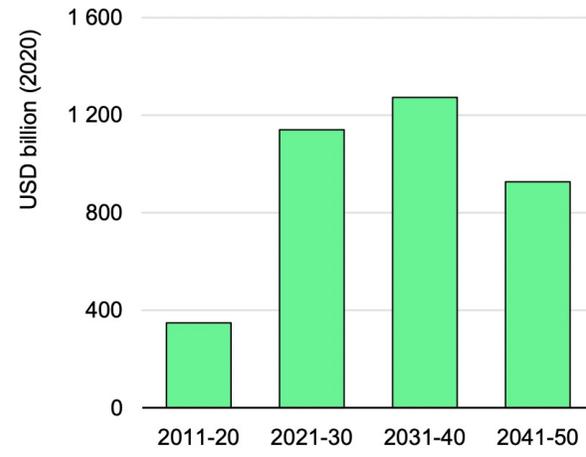
(Source IEA 2021, Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)

# Scénario NZE: évolution électricité et chaleur

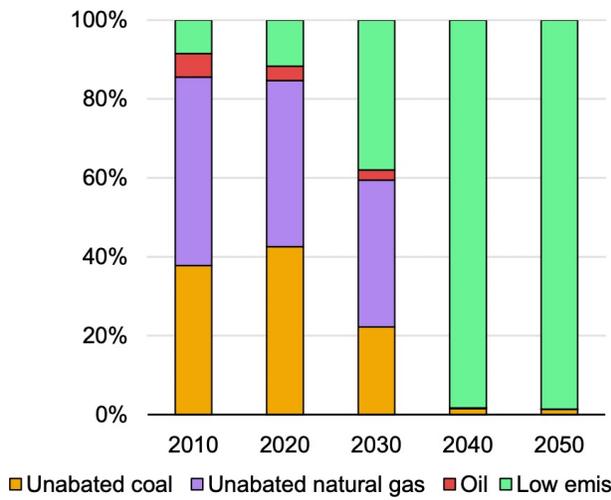
Production électricité



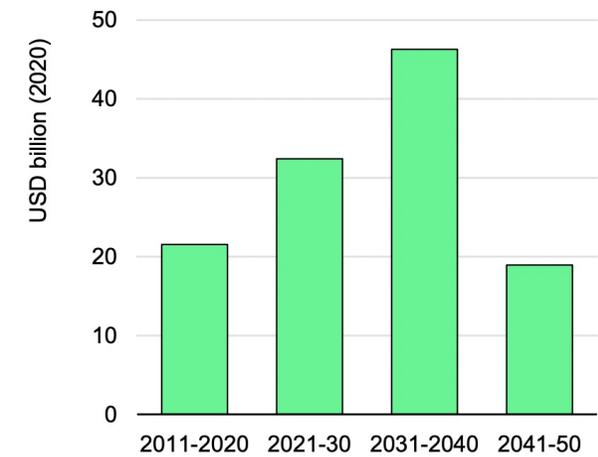
Investissements/an



Production chaleur

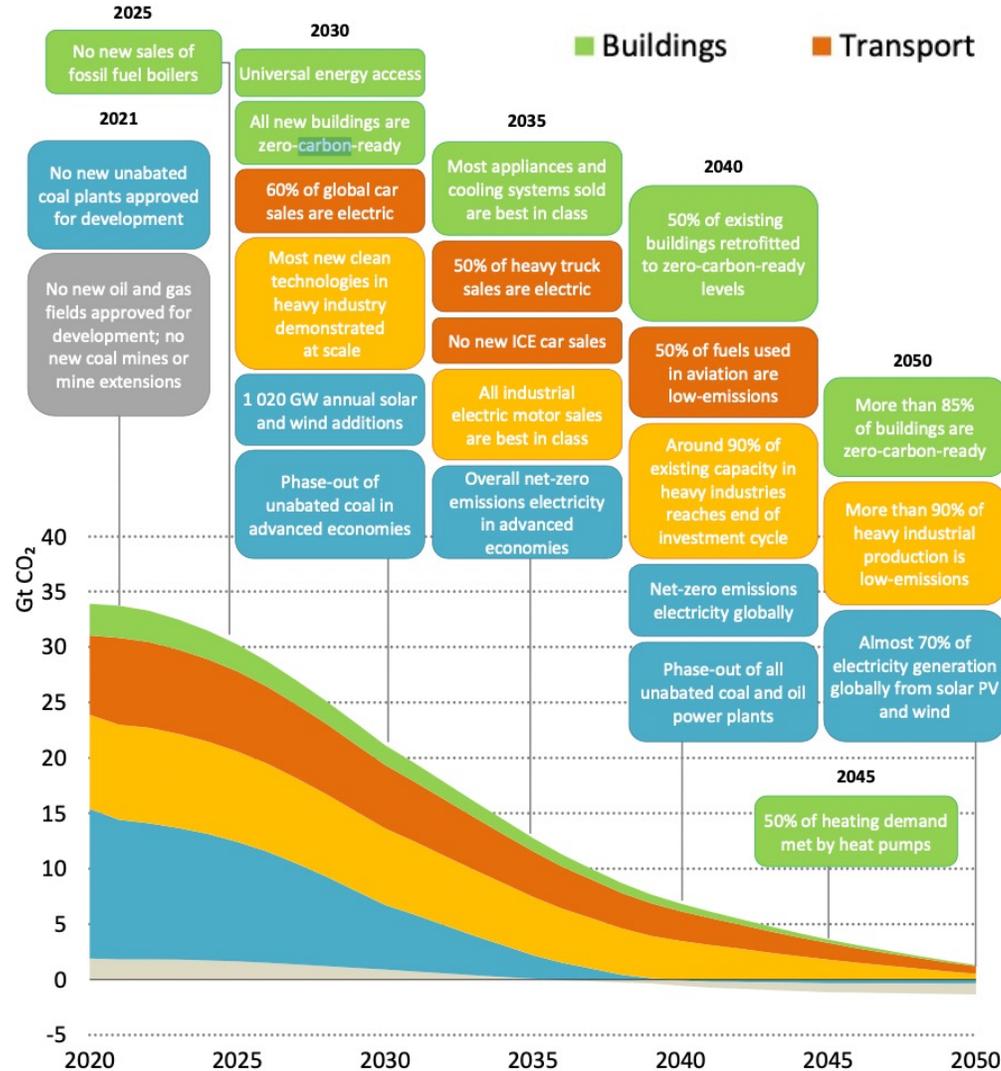


Investissements/an



(Source IEA (2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)

# Les étapes du scénario NZE



- ❑ Electrification : pilier principal du scénario : x2,5 en 2050.
- ❑ Electricité : 50% de la consommation mondiale d'énergie en 2050 (contre 20% aujourd'hui).
- ❑ Rôle central dans les secteurs, des transports, du bâtiment et de l'industrie.
- ❑ Hydrogène :
  - 2030 : 150 Mt d'hydrogène bas-carbone produit, 850 GW d'électrolyseurs.
  - 2040 : 435 Mt d'hydrogène bas-carbone produit, 3000 GW d'électrolyseurs.
- ❑ 2035-2050: Les puits de CO<sub>2</sub> permettent de capturer de 4 Gt de CO<sub>2</sub> à presque 8 Gt de CO<sub>2</sub>.

# Quels secteurs, quels progrès pour le NZE?

## What's on track?

● On track ● More efforts needed ● Not on track

### Energy System Overview

- Energy Efficiency
- Behavioural Changes
- Electrification
- Renewables
- Bioenergy
- Hydrogen
- Carbon Capture, Utilisation and Storage
- Innovation
- International Collaboration
- Digitalisation

### Cross-Cutting Technologies & Infrastructure

- CO2 Transport and Storage
- CO2 Capture and Utilisation
- Bioenergy with Carbon Capture and Storage
- Direct Air Capture
- Electrolysers
- District Heating
- Data Centres and Data Transmission Networks

### Electricity

- Coal
- Natural Gas
- Solar PV
- Wind
- Hydroelectricity
- Demand Response
- Nuclear Power
- Grid-scale Storage
- Smart Grids

### Industry

- Steel
- Chemicals
- Cement
- Aluminium
- Paper
- Light Industry

### Oil & Natural Gas Supply

- Methane Abatement
- Gas Flaring

### Low-Emission Fuels

- Biofuels

### Transport

- Cars and Vans
- Trucks and Buses
- Rail
- Aviation
- International Shipping
- Electric Vehicles

### Buildings

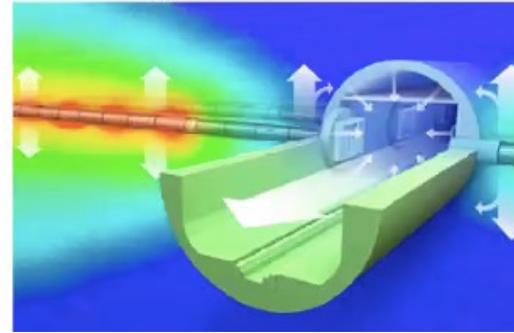
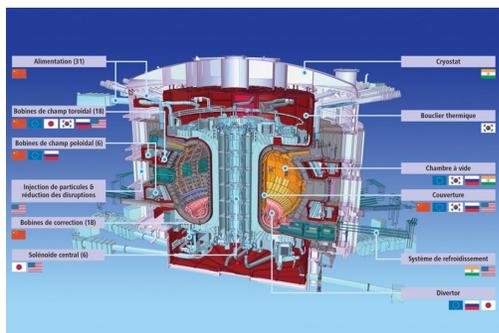
- Heating
- Space Cooling
- Lighting
- Appliances and Equipment
- Building Envelopes
- Heat Pumps

- ❑ L'énergie nucléaire: solution pour produire électricité et chaleur

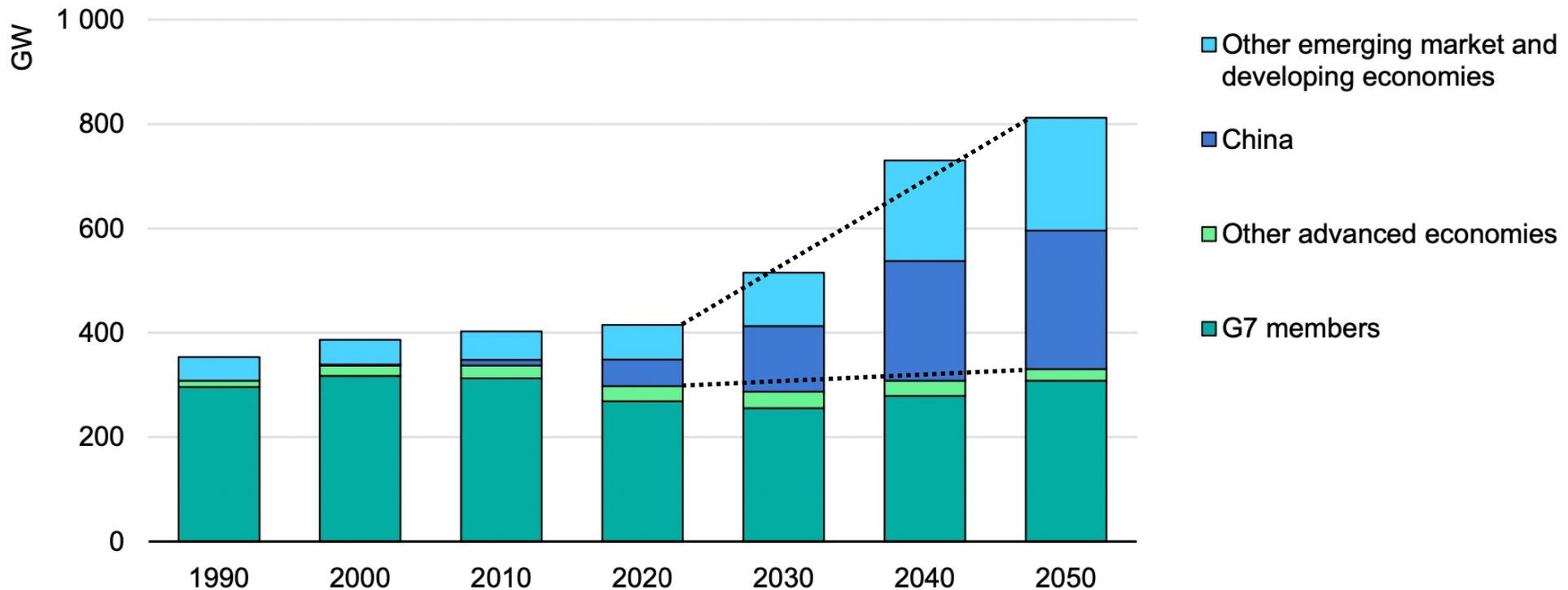
# L'énergie nucléaire dans la transition énergétique

## □ Opportunités pour l'énergie nucléaire :

- Besoin d'électricité bas-carbone,
- Électrification généralisée des utilisations finales,
- La nécessité de réduire les émissions liées à la production de chaleur,
- Demande croissante d'hydrogène à faibles émissions,
- La nécessité continue de soutenir l'innovation, qui permet :
  - Une amélioration continue des procédés et systèmes des réacteurs actuels
  - Le développement de technologies nucléaires avancées.



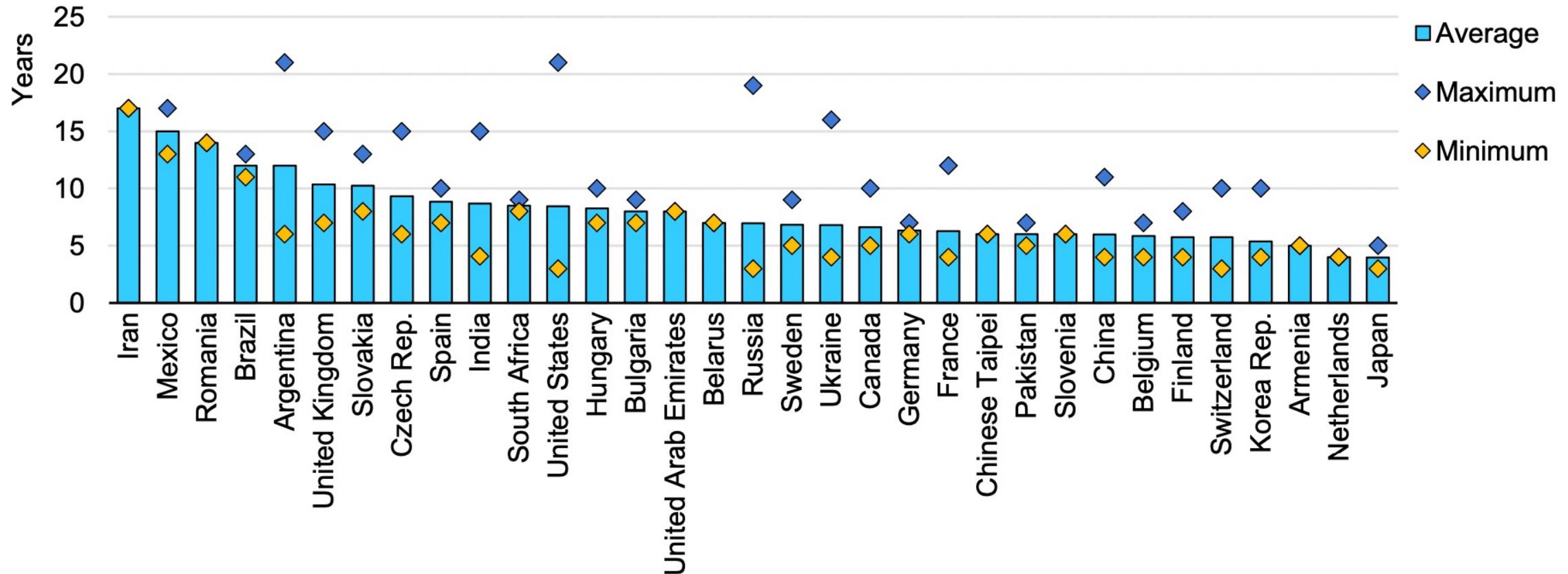
# Evolution des capacités nucléaires installées



→ Economies émergentes et en développement : Croissance de moins de 120 GW en 2020 à 480 GW en 2050, soit environ 90 % de l'augmentation mondiale.

(Source IEA (2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)

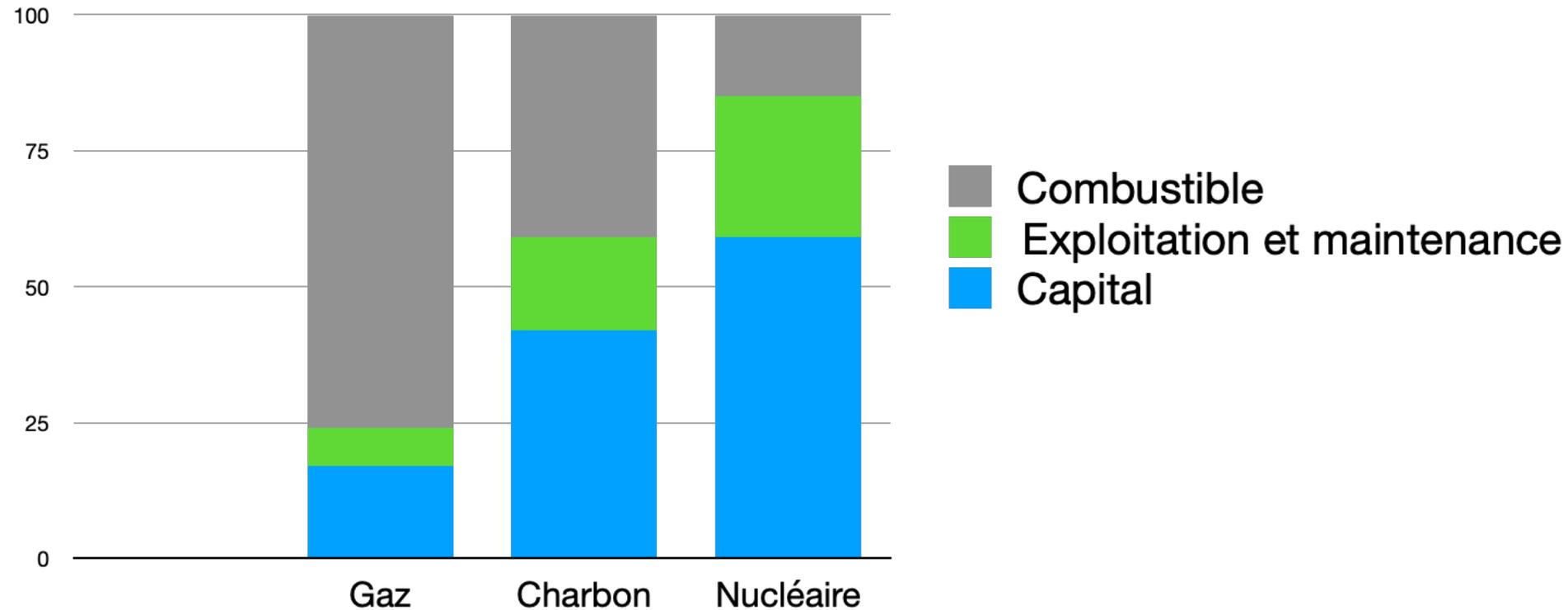
# Durée de construction



Construction d'un réacteur : 5-15 ans

(Source IEA analysis based on IAEA Power Reactor Information System (PRIS))

# Le coût de l'énergie nucléaire



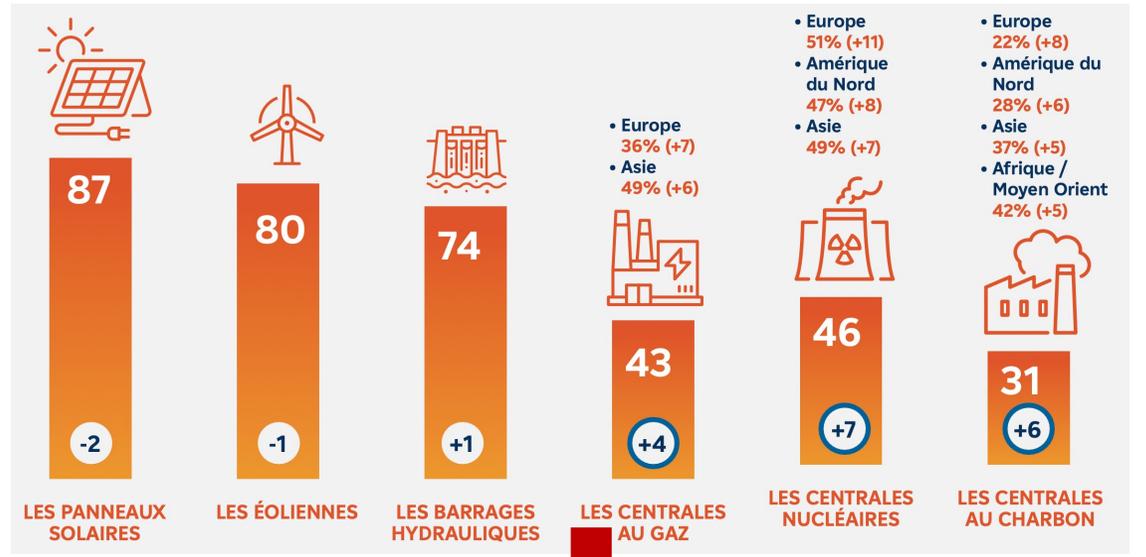
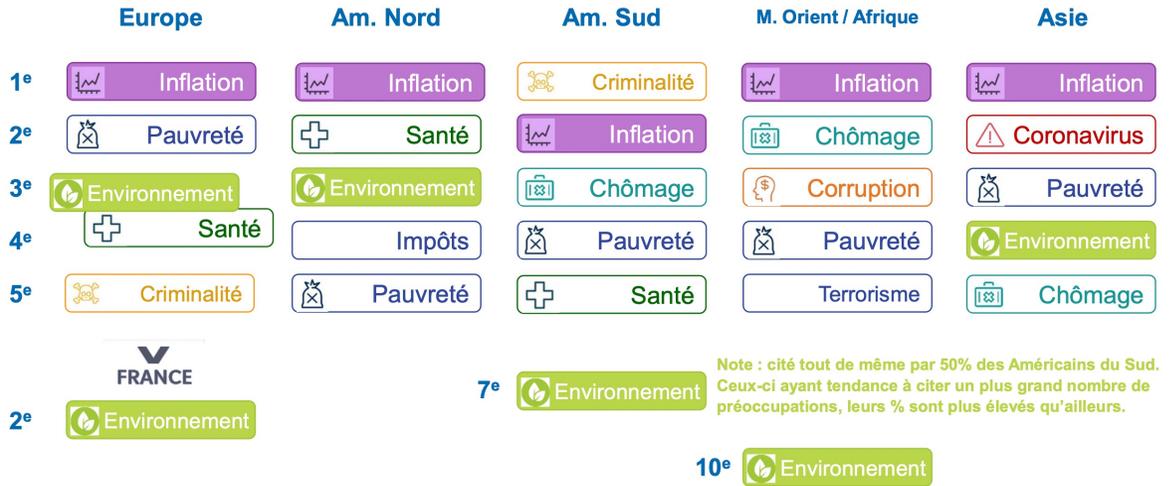
**Pour exploiter une centrale, il faut:**

- un investissement lourd au départ (cout de la sureté nucléaire)
- peu de combustible
- de nombreux métiers à tous les niveaux et à haute valeur ajoutée

# Photo de l'opinion publique mondiale

## Quel sujet vous préoccupe le plus ?

## Electricité : vous êtes favorable quel mode de production ?



Partout dans le monde, l'environnement est davantage une préoccupation des catégories favorisées

Energie nucléaire : 46 % des personnes en faveur de l'énergie nucléaire (+7 points p/p à 2021)  
Europe : +11 points en moyenne.

(Source Obs'COP 2022)

# Quelle solution?

50% <sub>-1</sub>  
Une modification de nos  
modes de vie

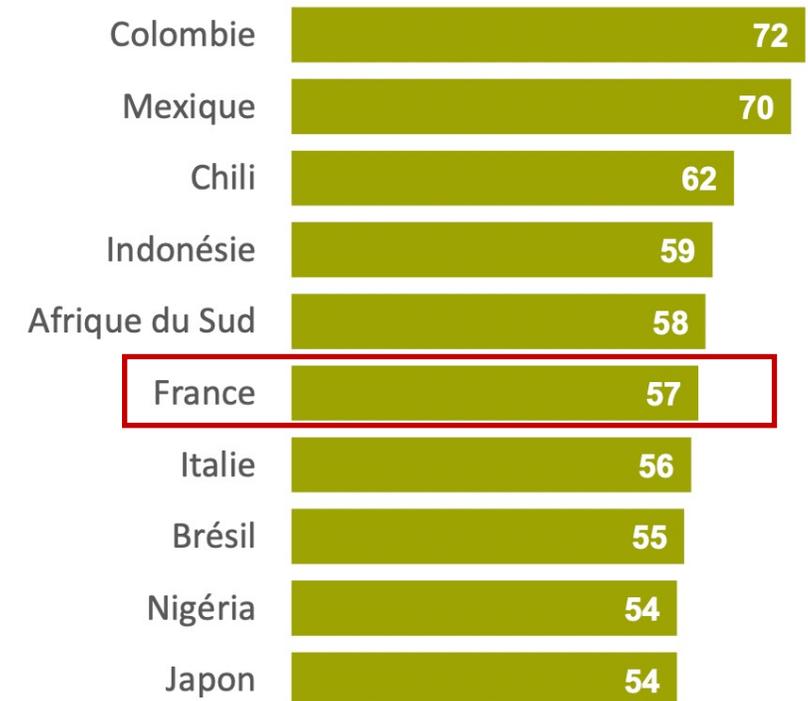
31% =  
Le progrès technique  
& les innovations

11% <sup>+1</sup>  
On ne peut pas  
le limiter

7% =  
Ne sait pas

1% Ne reconnaît pas du tout le  
changement climatique

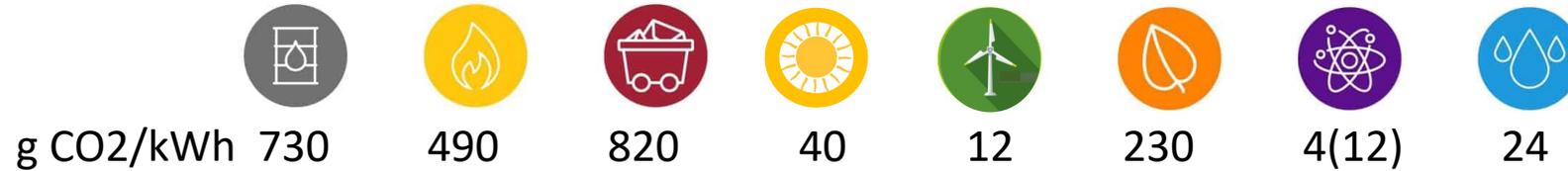
Pays estimant le plus que la solution passe  
par un changement de nos modes de vie



**Une majorité des Français ne croient pas au progrès technique !!!!!**

# Quels avantages pour la transition énergétique?

☐ L'énergie nucléaire est une énergie bas carbone.



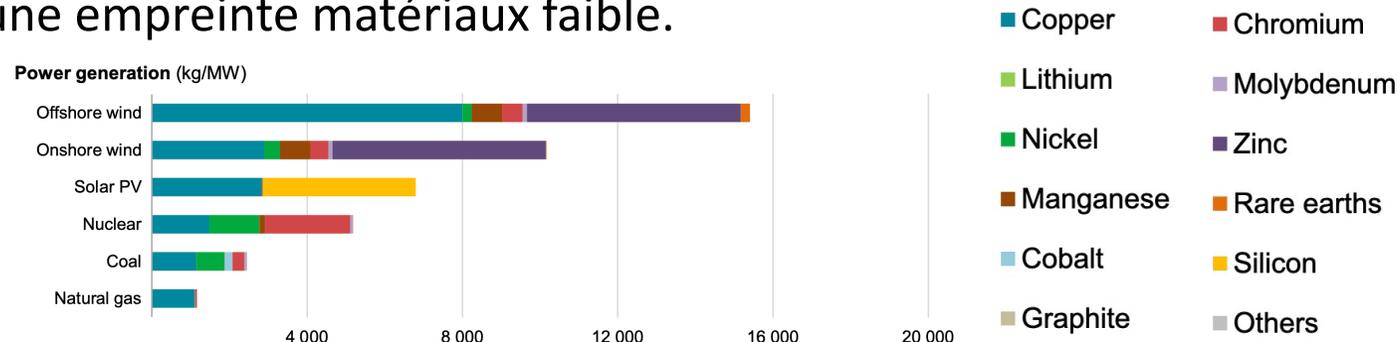
(Source GIEC)

☐ L'énergie nucléaire est une énergie très concentrée.



(Source Sfen)

☐ L'énergie nucléaire a une empreinte matériaux faible.



(Source IAE, 2021)

# Quels inconvénients à l'énergie nucléaire?

## Freins dus aux peurs de l'opinion publique :

- Accidents nucléaires,
- Production de déchets radioactifs.

Tchernobyl

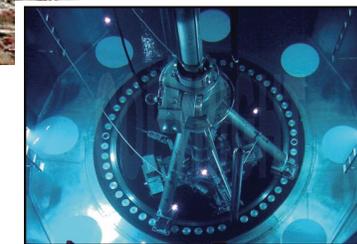


Fukushima Dai-ichi

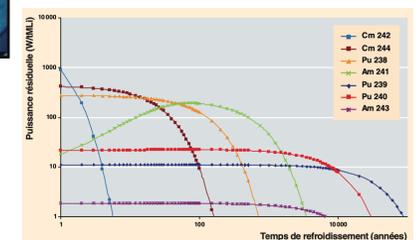


## Freins intrinsèques à l'utilisation de l'énergie nucléaire :

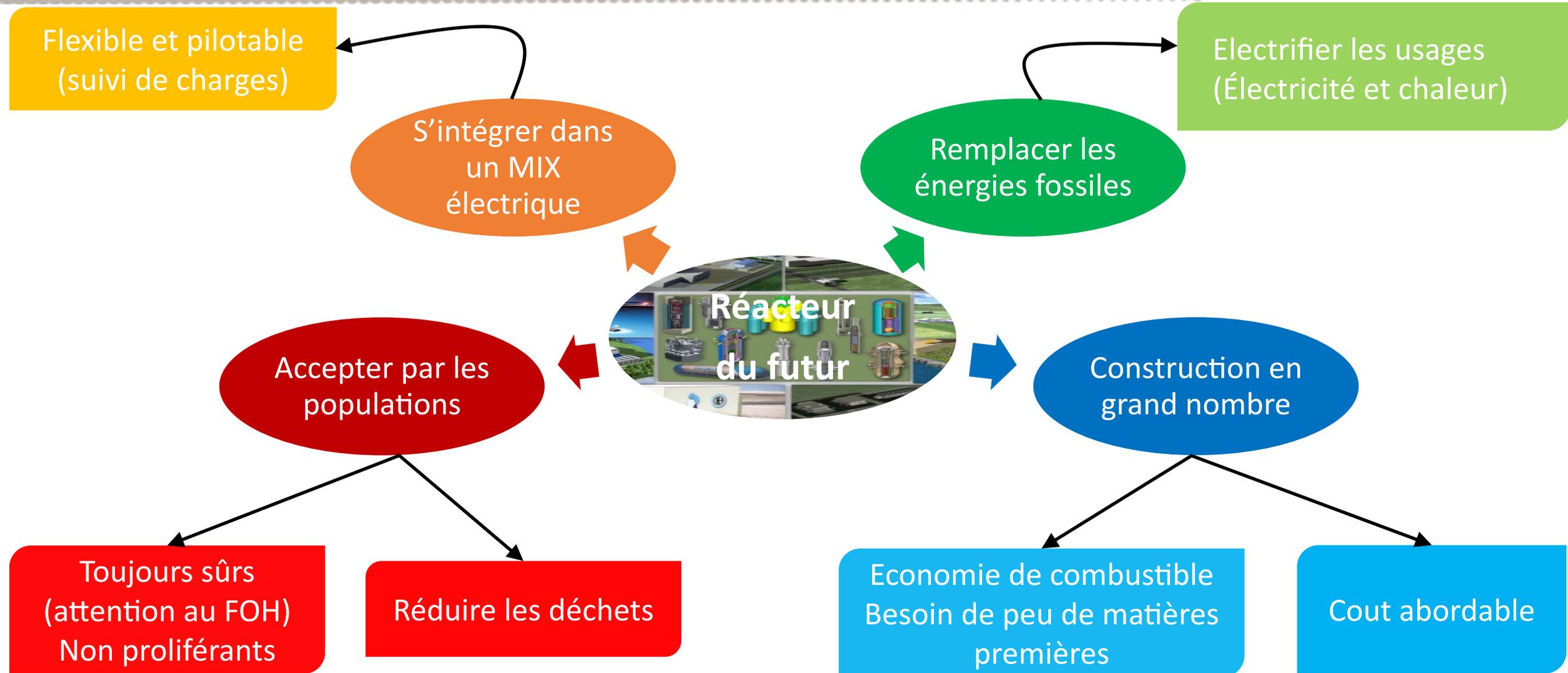
- Coût d'investissement élevé (toutes filières),
- Arrêts pour rechargement : perte de disponibilité,
- Mauvaise utilisation de l'uranium,
- Contraintes d'exploitation résultant de l'enceinte de confinement,
- Puissance résiduelle à évacuer (toutes filières).



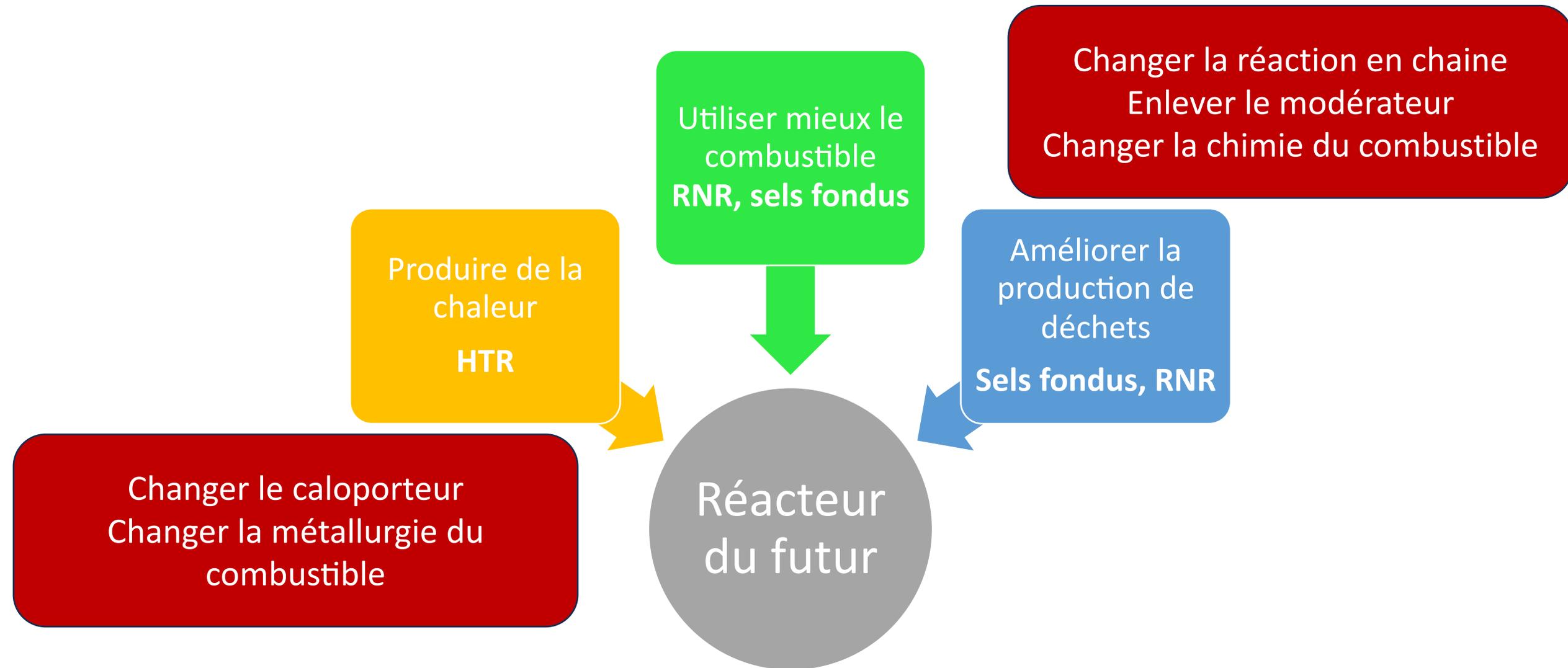
(source Wikipédia, IRSN, TI BN3296, CEA)



# A quoi doit répondre un réacteur aujourd'hui et demain?



# Innovation dans les réacteurs nucléaires



## □ Conclusions

# Résultats IEA avant la COP28

- ❑ Les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie ont augmenté de 0,9 % ou 321 Mt en 2022, atteignant un nouveau sommet de plus de 36,8 Gt.
- ❑ La plus forte augmentation sectorielle des émissions en 2022 est venue de la production d'électricité et de chaleur, en particulier à partir du charbon : elles ont augmenté de 224 Mt ou 2,1 %, tirées par les pays émergents d'Asie.
- ❑ Compensation de l'augmentation grâce aux énergies renouvelables : la production solaire photovoltaïque et éolienne a chacune augmenté d'environ 275 TWh, un nouveau record annuel.
- ❑ En 2022, année spéciale, deux faits ont contribué à l'augmentation des émissions :
  - Arrêt des réacteurs nucléaires (55 Mt de CO<sub>2</sub>)
  - Conditions météorologiques extrêmes : demande ayant pour conséquence une augmentation d'environ 60 Mt de CO<sub>2</sub>
- ❑ Découplage des émissions et de la croissance économique : tendance de plusieurs décennies.
- ❑ Les émissions de gaz naturel ont diminué de 1,6 % ou 118 Mt surtout en Europe (-13,5%) et dans la région Asie-Pacifique (-1,8 %).
- ❑ Niveau record historique pour le charbon et le pétrole :
  - les émissions dues au charbon ont augmenté de 1,6 % ou 243 Mt (compensation ↘ de l'utilisation du gaz)
  - Les émissions dues au pétrole augmentent de 2,5 % ou 268 Mt pour atteindre 11,2 Gt (transport aérien ↗)
- ❑ Les émissions de l'industrie ont diminué de 1,7 % pour atteindre 9,2 Gt l'année dernière.

# Résultats spécifiques par région

- ❑ Les émissions de la Chine sont restées relativement stables en 2022, en baisse de 23 Mt ou 0,2 %.
  - Les émissions croissantes dues à la combustion ont été compensées par la baisse des processus industriels.
  - Une croissance économique plus faible, une activité de construction en baisse et des mesures strictes liées au Covid-19 → réductions des émissions industrielles et des transports.
  - La croissance des émissions du secteur électrique ralenti par rapport à la moyenne de la dernière décennie.
- ❑ L'Union européenne a enregistré une réduction de 2,5 % ou 70 Mt des émissions de CO<sub>2</sub>.
  - Bonne performance des ENRi et hiver doux.
- ❑ Les émissions américaines ont augmenté de 0,8 %, soit 36 Mt.
  - Le secteur du bâtiment a connu la plus forte croissance des émissions, en raison des températures extrêmes.
  - Les principales réductions d'émissions proviennent de la production d'électricité et de chaleur, où l'énergie solaire photovoltaïque et éolienne ↗, et passage charbon → gaz.
- ❑ Les émissions des économies émergentes et en développement d'Asie, à l'exclusion de la Chine, ont augmenté plus que celles de toute autre région en 2022, augmentant de 4,2 % ou 206 Mt de CO<sub>2</sub>.
  - Plus de la moitié de l'augmentation des émissions de la région provenait de la production d'électricité au charbon.

# Conclusion

## L'énergie : l'enjeu du 21<sup>ème</sup> siècle



❑ La lutte contre le réchauffement climatique : diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

❑ Urgence à défossiliser au maximum tout ce que l'on peut : arrêter de consommer des énergies fossiles

❑ Ordre de grandeurs:

- les renouvelables et le nucléaire : moins de 50 g de CO<sub>2</sub> /kWh,
- les énergies fossiles : plus de 500 g de CO<sub>2</sub> /kWh.



❑ Fondamental de défossiliser les secteurs de l'économie hors électricité

- les transports (1<sup>er</sup> émetteur de CO<sub>2</sub>, pétrole),
- l'industrie, l'agriculture et l'habitat (gaz, pétrole).



Habitat



Déplacements



Industrie



Agriculture

❑ La production d'électricité d'origine nucléaire répond à cet enjeu en faisant partie d'un mix énergétique bas-carbone aux côtés des ENRi et l'hydroélectricité.

**Merci de votre attention.**

