



Cycle « Les Energies d'aujourd'hui et de demain »

Enjeux climatiques et Energie

1

Jean LIZA - Société Française d'Energie Nucléaire,
Président du groupe régional Rhône Ain Loire

Université Ouverte Lyon 1 & UNIVA UCLy, Lyon 3 janvier 2022

Meilleurs
Vœux 2022

Une bien
meilleure
année que
2020 et 2021
sur les plans
santé, climat,
écologie et
énergie.

Je vous souhaiterais bien
une bonne année, comme
l'année dernière, mais vous
allez mal le prendre...



Xavier Gonce-



Société Française d'Énergie Nucléaire

- Créée en 1973, association loi 1901, la SFEN est un lieu d'échanges pour celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire et à ses applications avec 3 600 professionnels, ingénieurs, techniciens, chimistes, médecins, professeurs, et étudiants, chercheurs, concernés par le nucléaire français.
- Missions principales :
 - **Partager, informer, publier la Revue Générale Nucléaire (RGN)**
 - **Valoriser l'excellence scientifique et la rigueur technique** de la filière
 - **Contribuer aux débats sur les énergies, le mix énergétique, et le changement climatique**
 - **Fédérer les femmes et les hommes du nucléaire pour** la mise en commun des connaissances scientifiques, pour innover et progresser dans les énergies.

Plan de la présentation

- **Le Changement Climatique : la limitation**
 - L'effet de serre et le réchauffement des températures,
 - la fonte des glaces, le niveau des mers, l'acidification des océans...
 - Les gaz à Effet de Serre (GES)
- **La Transition énergétique :**
 - Scénarios, phases, chiffres monde, CE, France,
 - Les divers lois et réglementations françaises,
 - Le rapport RTE : « Futurs Energétiques 2050 »
- **Les énergies : avec quels moyens?**
- **Conclusions**
- **Questions**

Le Changement Climatique

**La Terre serait bien plus froide
si l'effet de serre n'existait pas**

...

**moins 18 °C en moyenne,
contre +15 °C actuellement**

Le Climat

Le CLIMAT de la Terre résulte d'un ensemble de processus naturels complexes et imbriqués

Le SYSTÈME CLIMATIQUE comprend l'**ATMOSPHERE**, la Terre avec les **OCEANS**, la **CRYOSPHERE**, les **TERRES EMERGEES**.

Son fonctionnement est dominé par les échanges d'**ENERGIE** entre la « source » solaire et le « système » Terre .

L'évolution des climats est relié aux grands processus dynamiques :

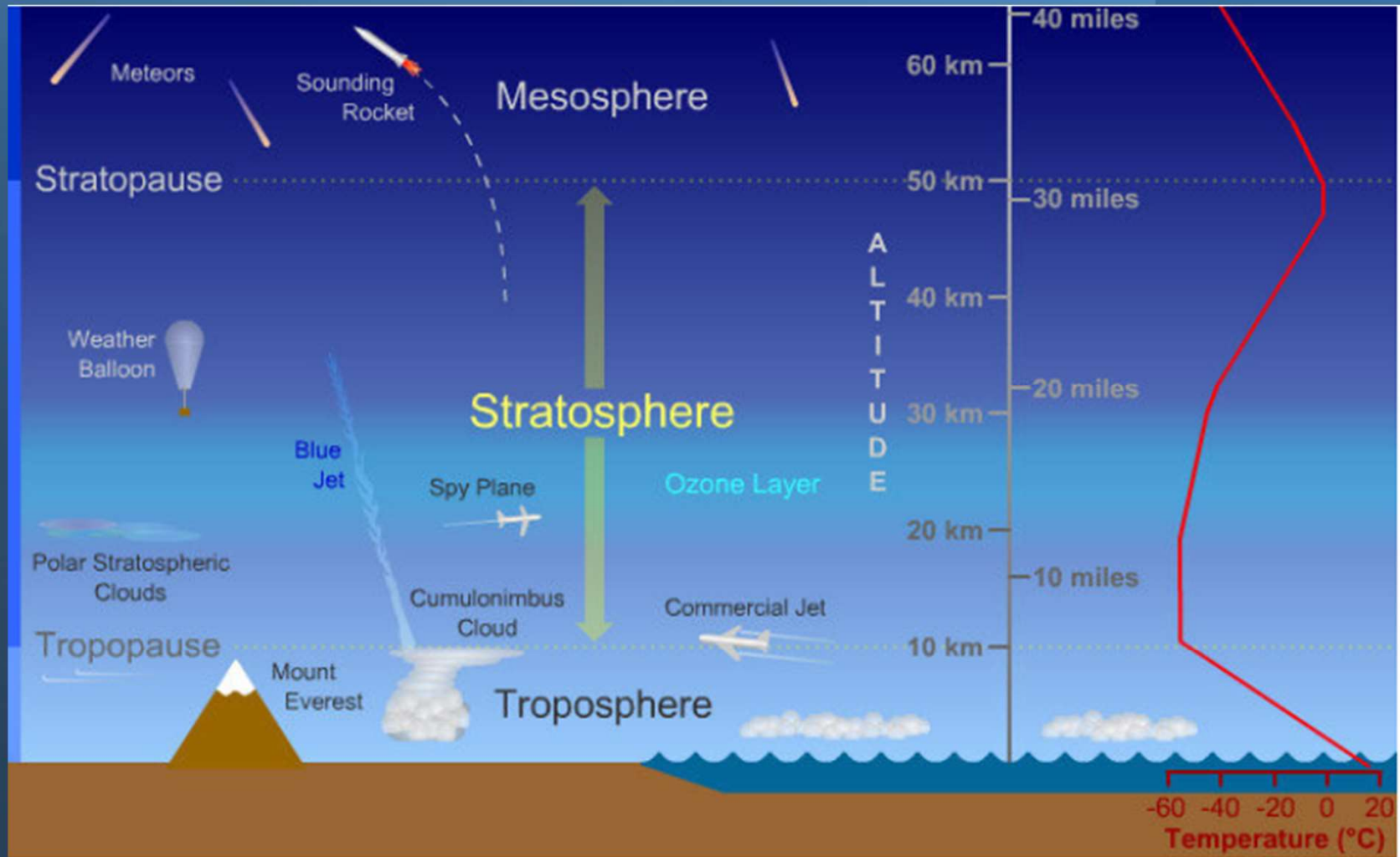
- ➤ interactions océans-atmosphère,
- ➤ effet de serre,
- ➤ paramètres orbitaux de la Terre,
- ➤ rayonnement solaire,
- ➤ tectonique des plaques.

Le paramètre pour le climat global est la Température de Surface moyenne de la terre (TS).

Effet de serre... Les origines

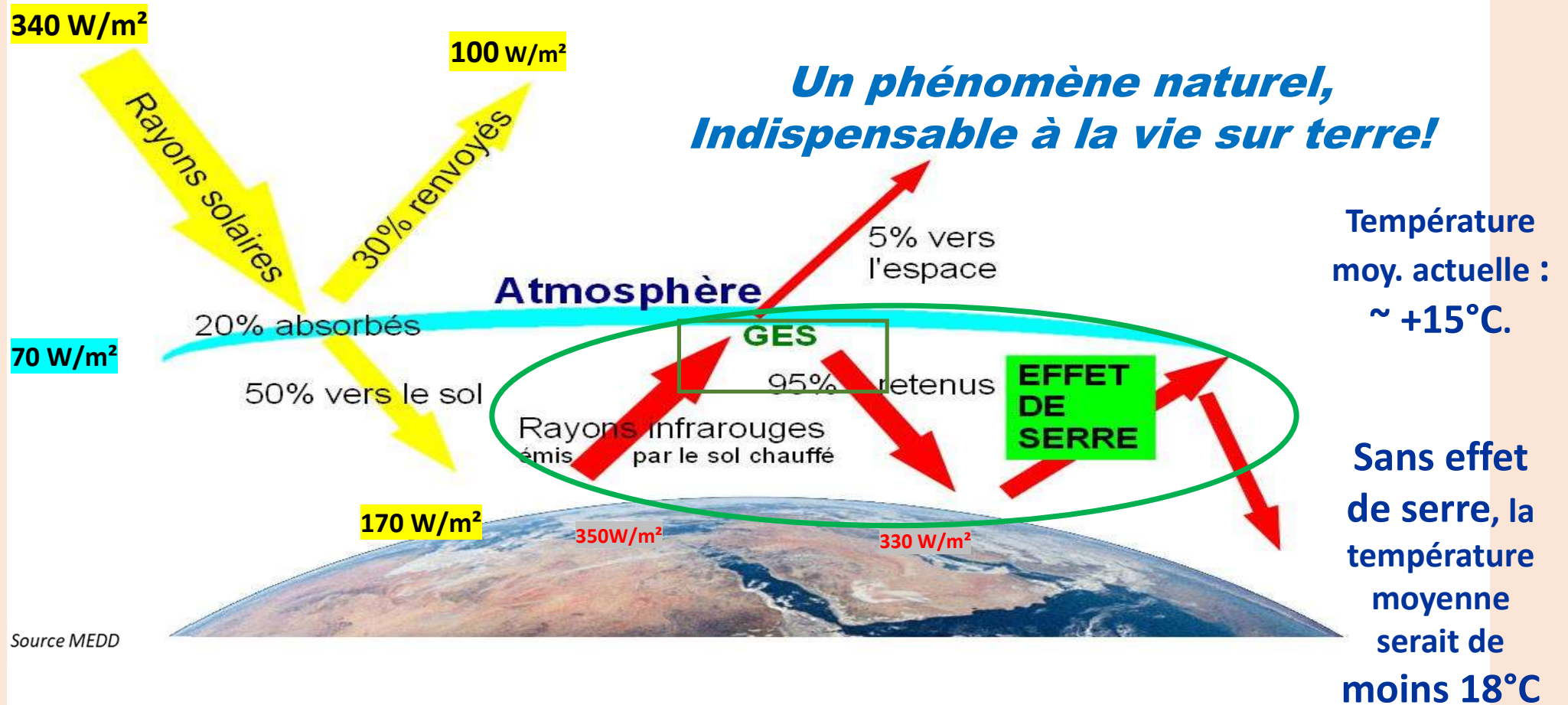
- C'est un **phénomène thermique bien connu**, l'atmosphère laisse passer une partie du rayonnement solaire qui vient frapper le sol. Réchauffé, celui-ci émet un rayonnement infrarouge, en partie ou totalement piégé par l'atmosphère rendue « imperméable » par la présence de gaz, dont vapeur d'eau et CO₂. En résulte une isolation accrue de la planète d'où un réchauffement global.
- **Principe de l'effet de serre** : il a été mis en évidence par de **Horace Bénédict de Saussure** (suisse) en 1796, puis par **Joseph Fourier** (français) en 1824 et confirmé par **John Tyndall** (scientifique et alpiniste irlandais) en 1861. **John Tyndall** est souvent présenté comme le premier à avoir montré expérimentalement que le dioxyde de carbone absorbe le rayonnement infrarouge, donnant ainsi une base empirique à la **théorie de Fourier sur l'effet de serre**.
- En 1896 **Svante August Arrhénius** (suédois, prix Nobel 1903) avait prévu qu'un doublement de la teneur en CO₂ conduirait à un accroissement de 4 à 5 degrés en 3000 ans! Sa loi permet de décrire la variation de la vitesse d'une réaction chimique en fonction de la température,
- **William Herschel** (1738-1822), né en Allemagne, est le découvreur du rayonnement infrarouge.

L'atmosphère

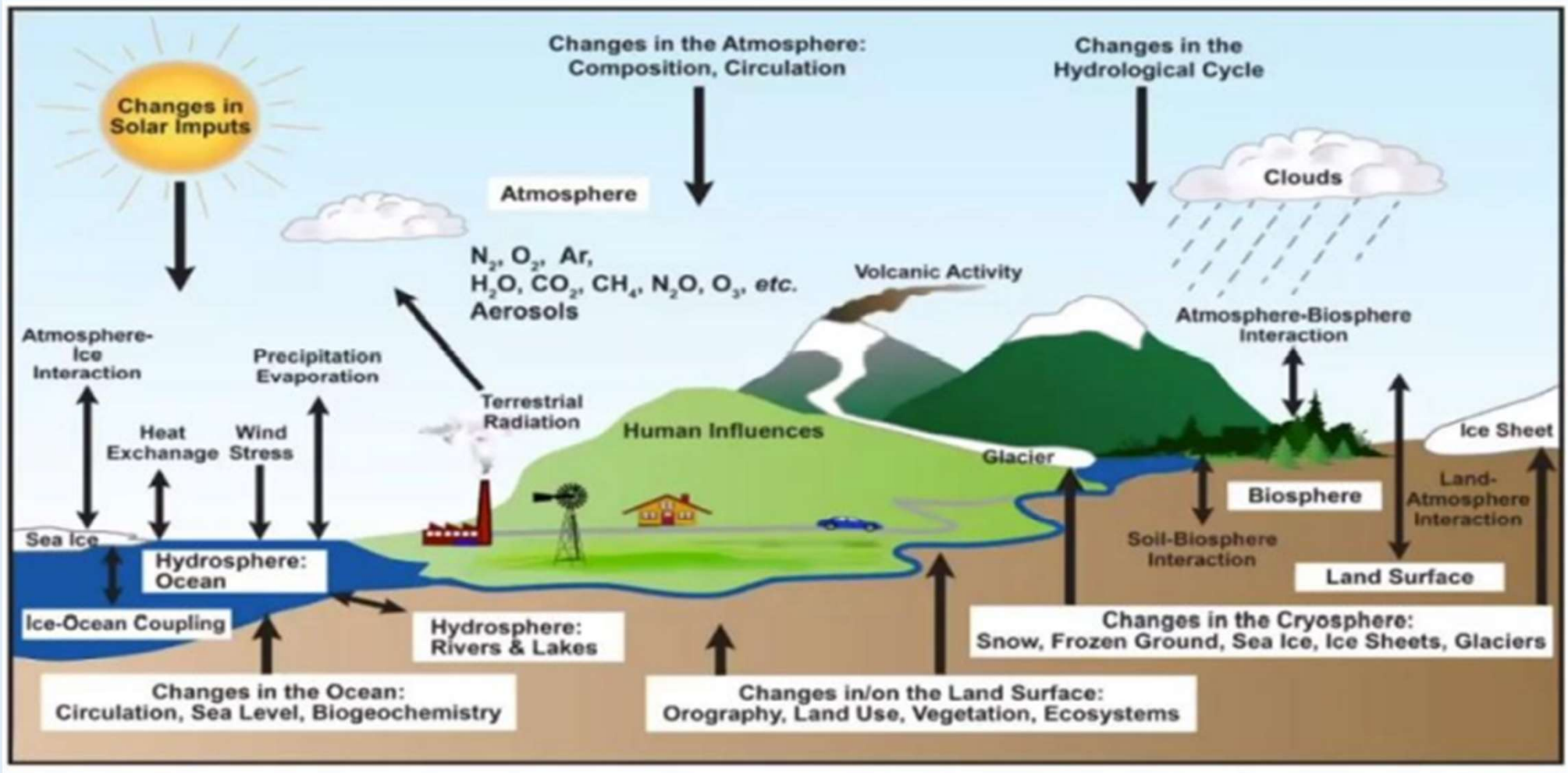


L'effet de serre

. Il est à l'origine d'un apport supplémentaire de chaleur à la surface de la Terre.



Échanges d'énergie entre la Terre et l'espace



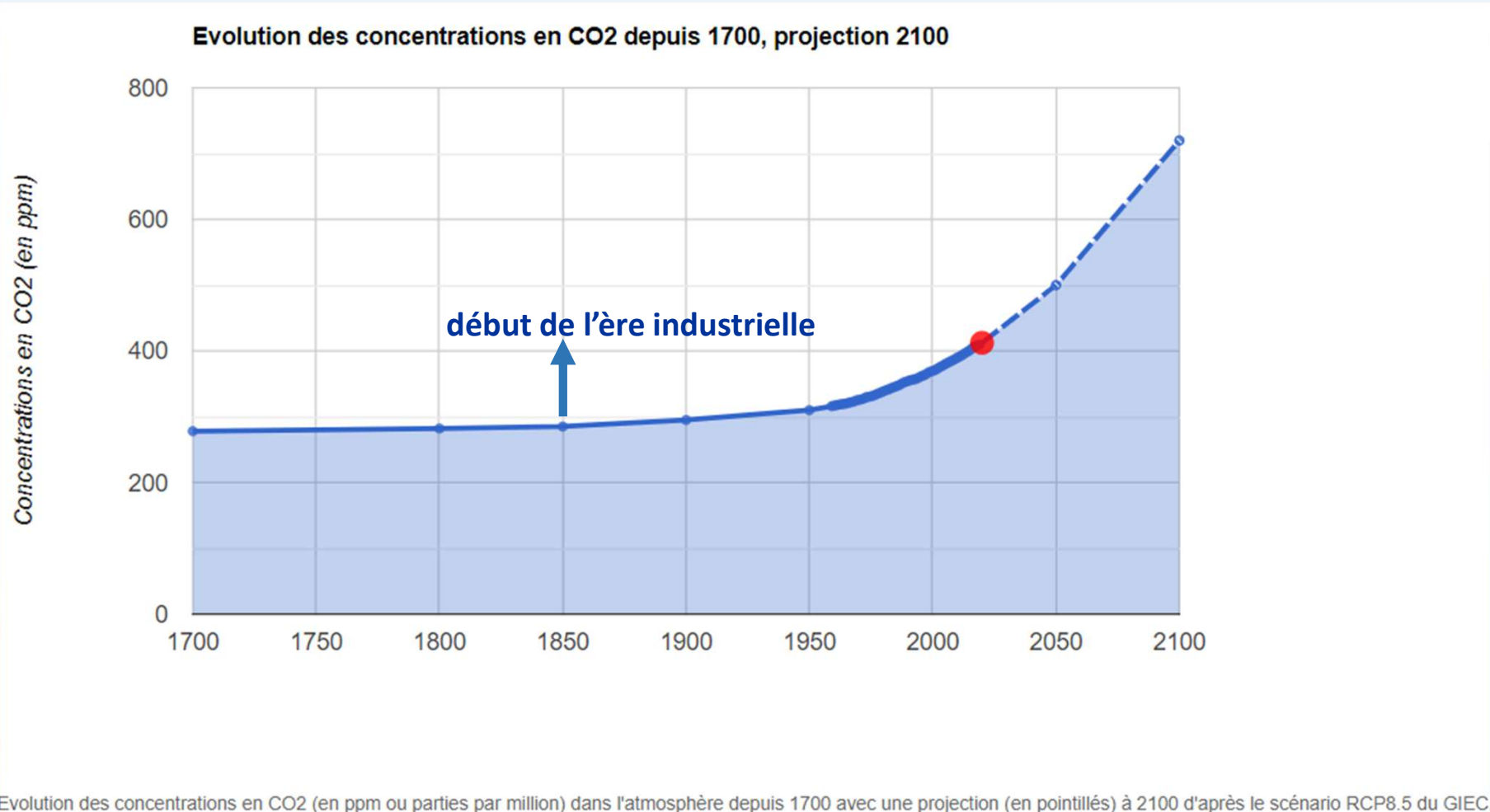
Les principaux Gaz à Effet de Serre (GES)



- **Dioxyde de carbone CO₂ : Dv >100 ans**
- **Méthane CH₄ : Dv=12 ans, mais 25 fois plus puissant.**
- **Protoxyde d'azote N₂O: Dv~120ans – 300 fois plus puissant.**
- **Gaz fluorés (HFC, SF₆, NF₃, ..) Dv: jusqu'à 50 000 ans**
- **Ozone troposphérique = dioxyde d'azote (NO₂)**
- **Vapeur d'eau : Durée de vie (Dv) de quelques semaines, sans incidence sur DeltaT°, aucun effet long terme**

*Les **Chlorofluocarbures (CFC)** ont été interdits en 1995 et les **HFC** en 2000, suite à l'accord de Montréal de 1987 ratifié par l'accord de Kigali en 2016* ¹¹

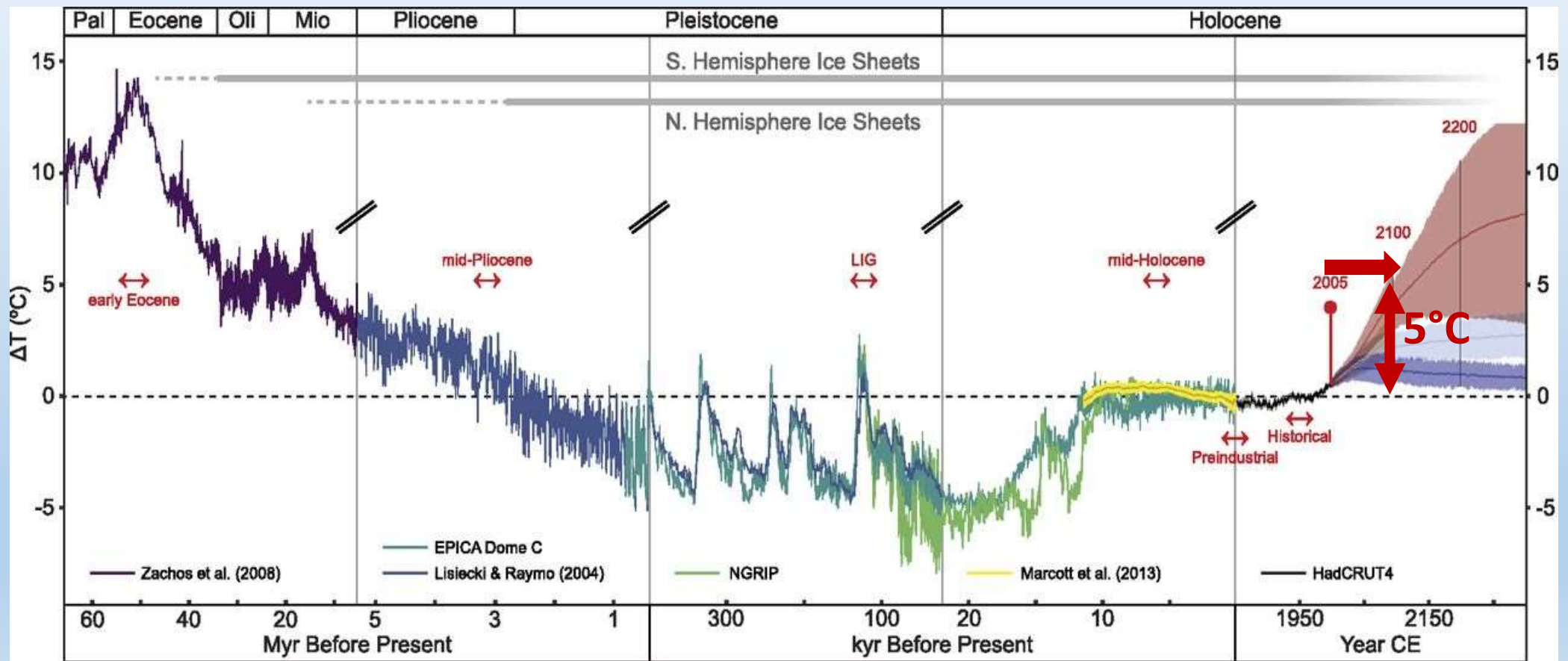
CO₂ dans l'atmosphère...



En 1000 ans la concentration CO₂ a augmenté de près de 30%

Conséquences : augmentation des températures

Source : Académie des sciences USA

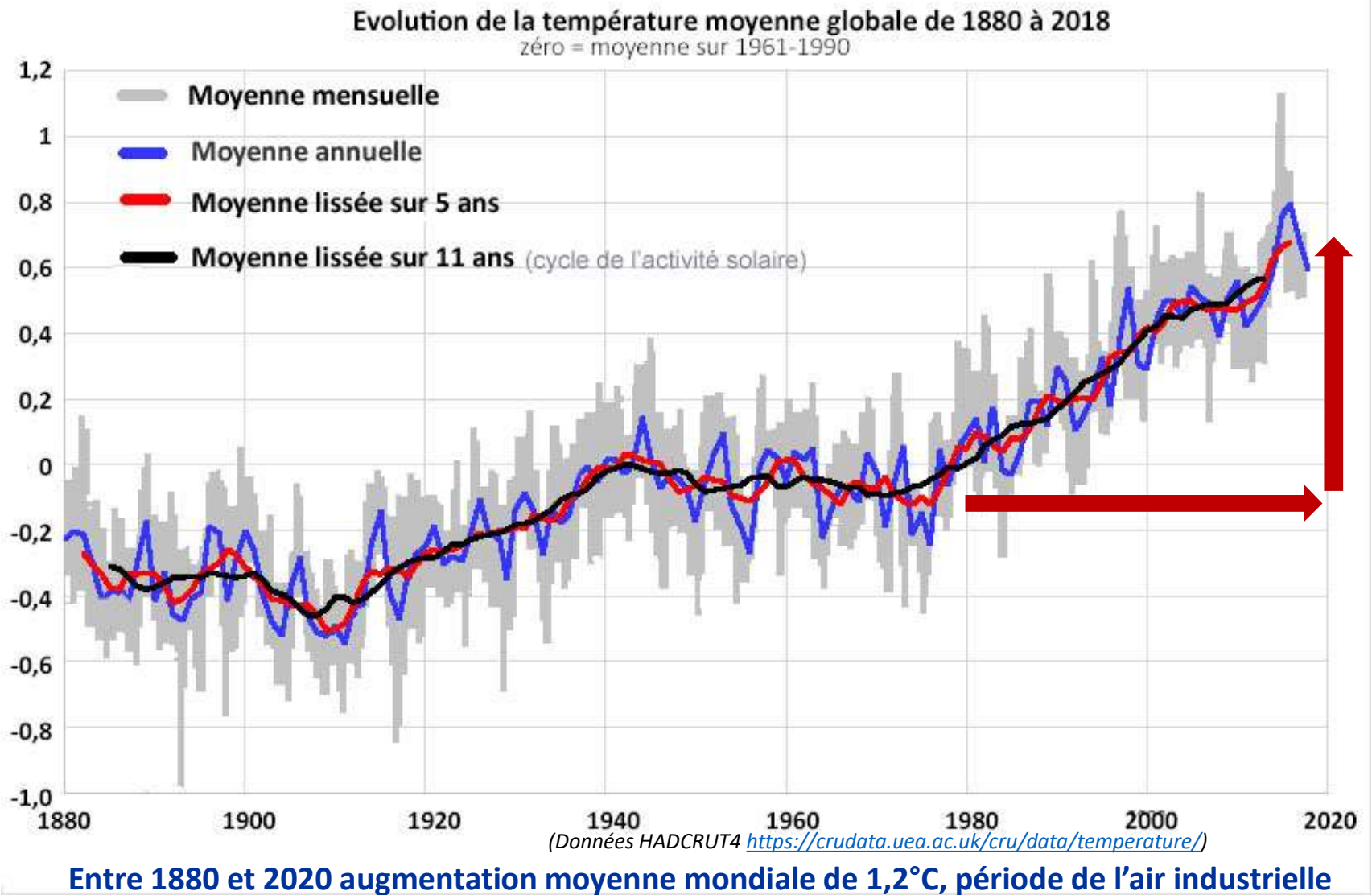


Le Constat

analyse plus fine :

entre 1978 et
2018 (40 ans)
augmentation de
0,9°C

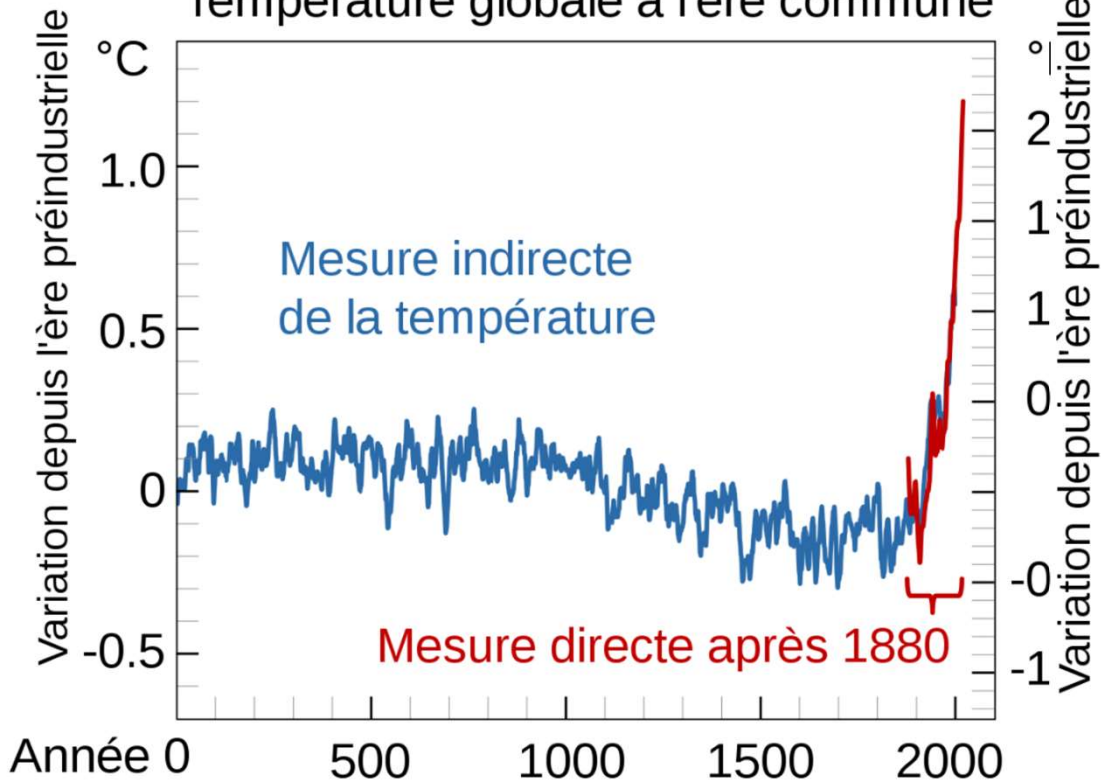
0,22°C/décade



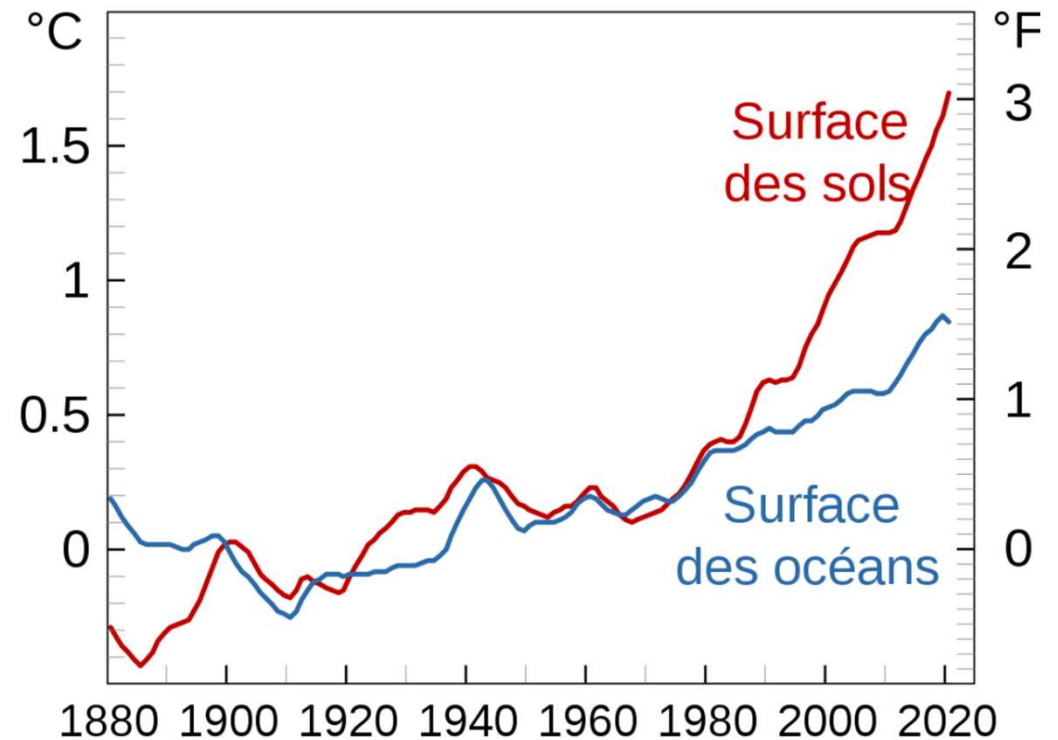
Conséquences des températures sols et Océans

source Wikipedia

Température globale à l'ère commune

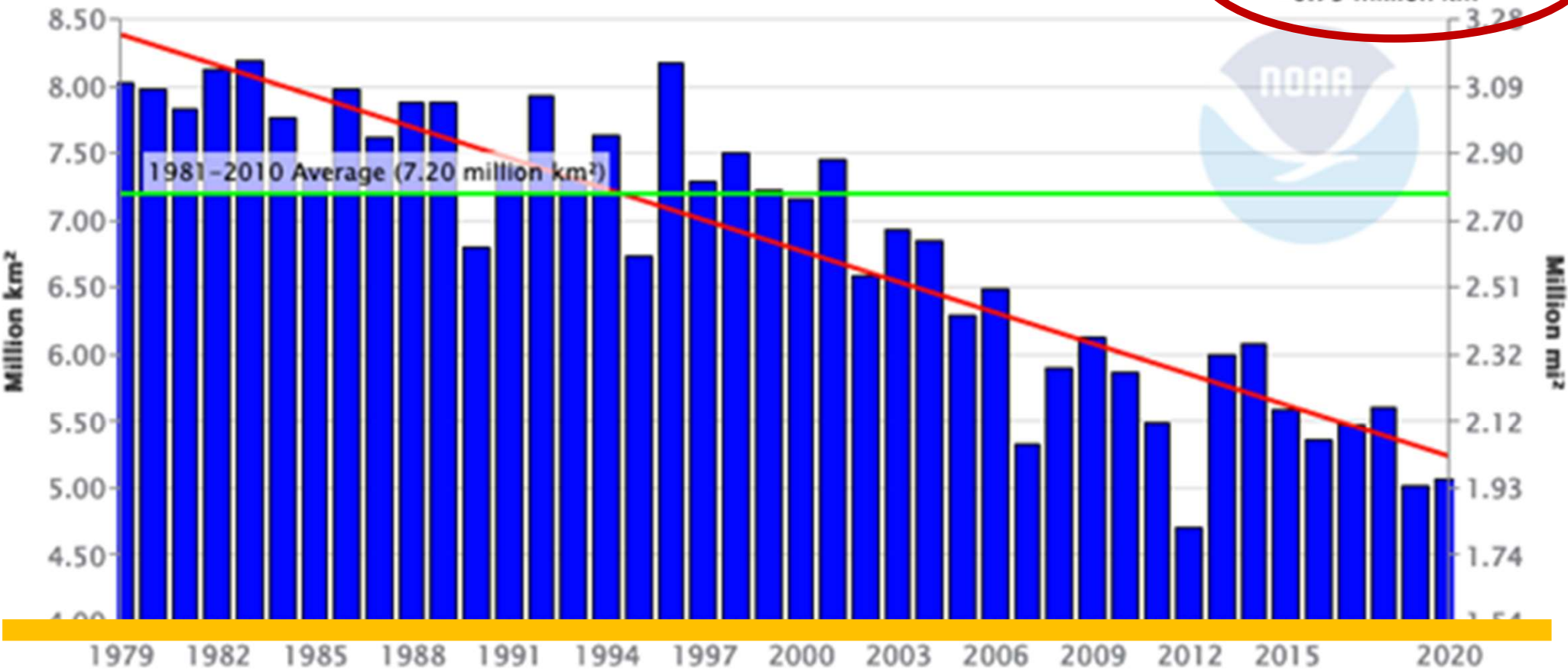


Les océans absorbent plus de 90 % de l'excès de chaleur



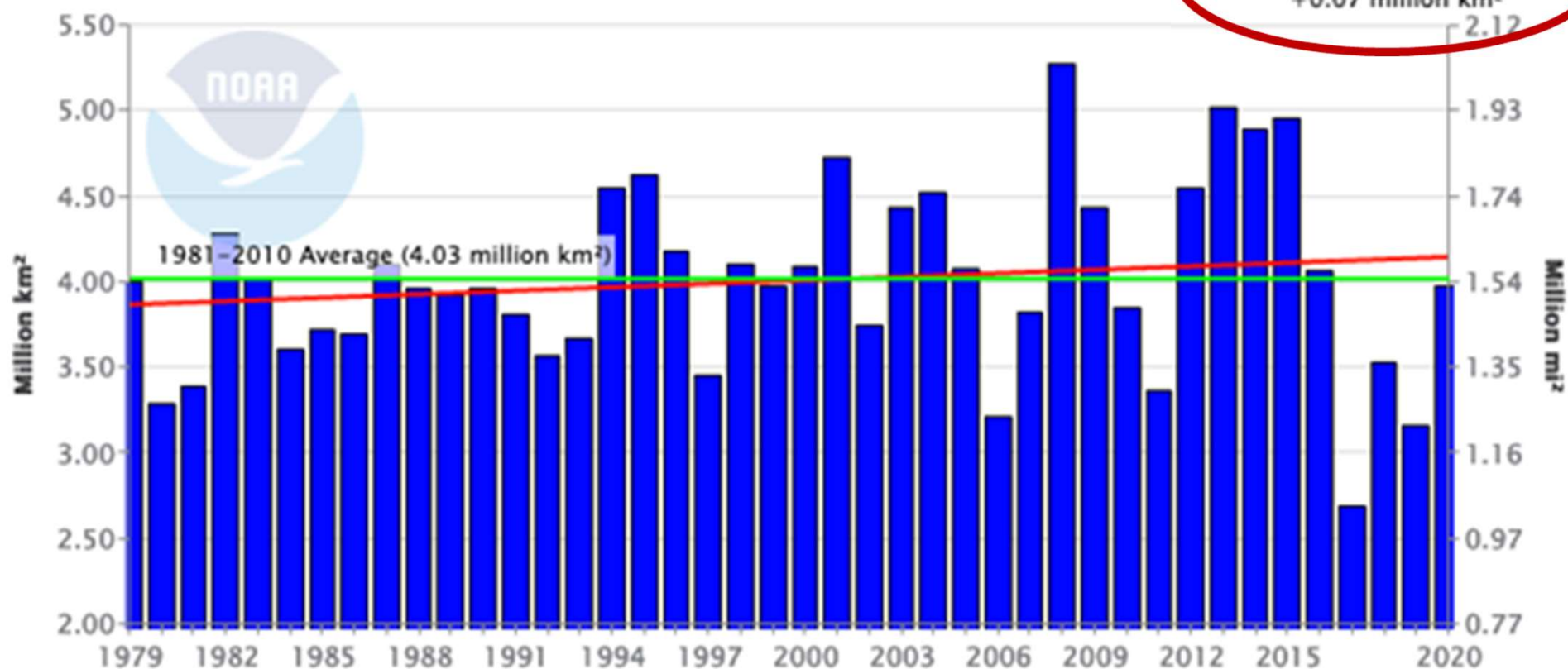
Conséquences sur la diminution de la surface de la banquise dans l'hémisphère Nord divisé par 4 en 40 ans

Northern Hemisphere Sea Ice
August, 1979-2020



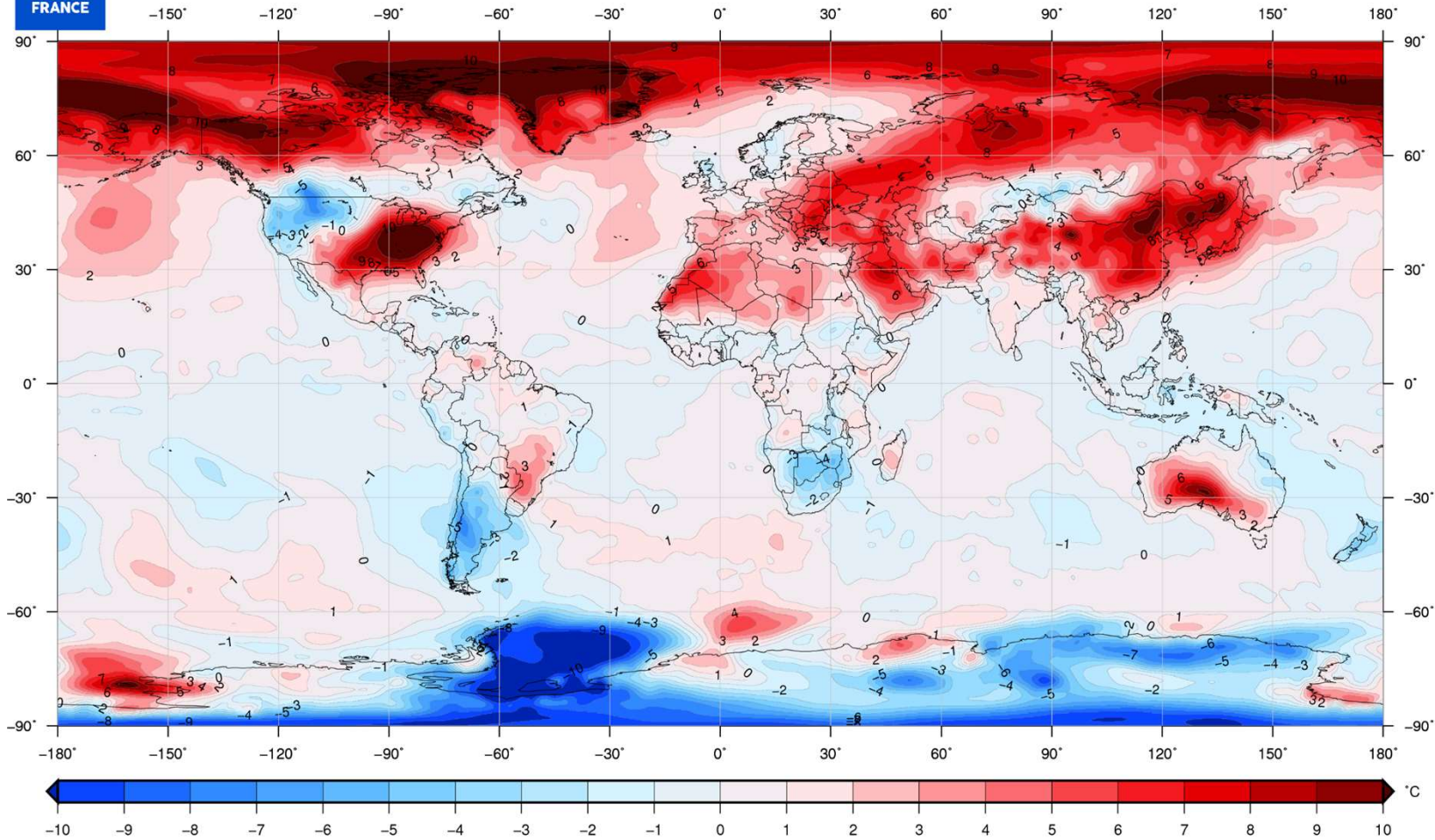
Mais pas d'accélération dans l'hémisphère Sud

Southern Hemisphere Sea Ice
March, 1979–2020

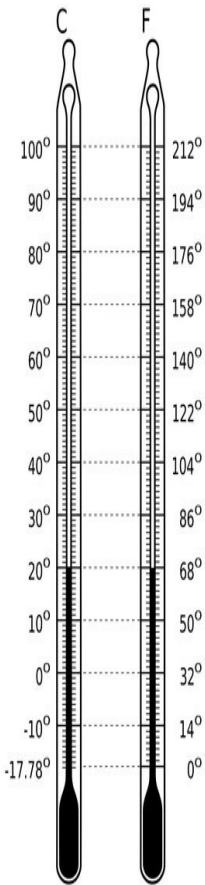




Température 2m – Anomalie du 1 au 03/10/2019
Analyse ECMWF – réf. ERA-Interim 1981-2010

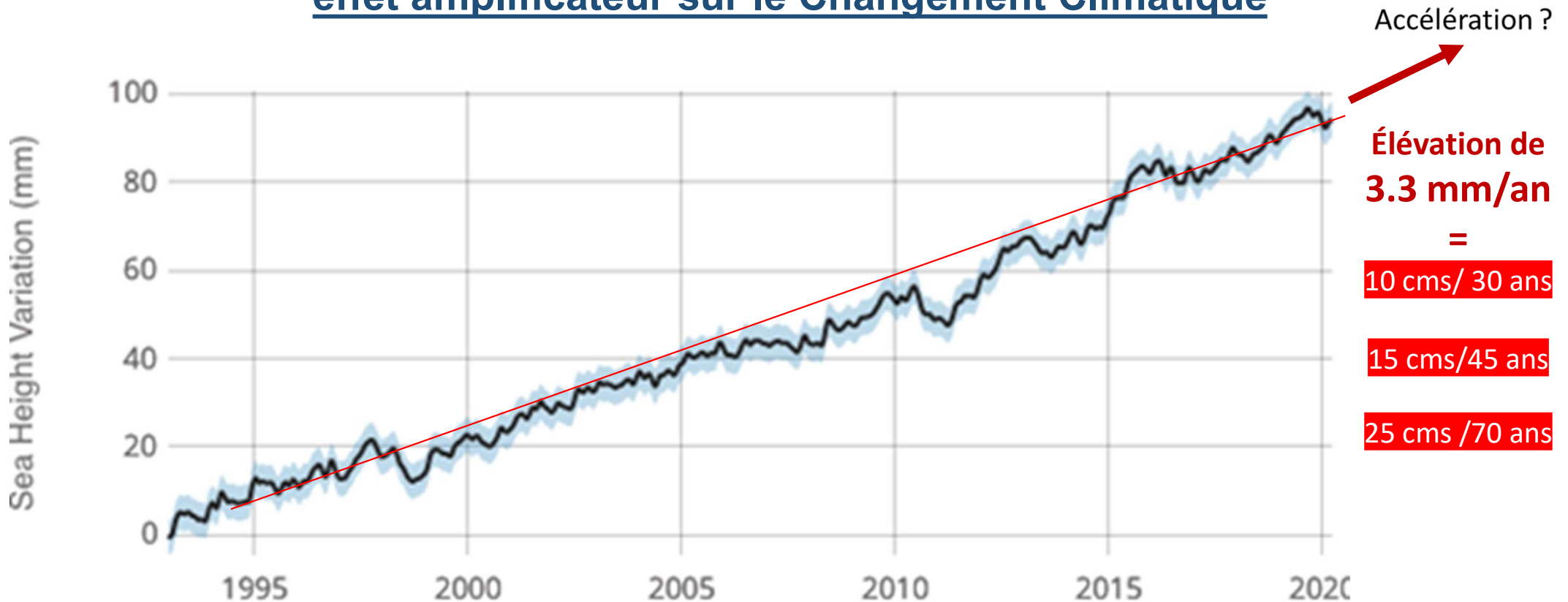


Carte produite le 04/10/2019 à 08h 00 UTC



Conséquences sur la cryosphère et le niveau des mers

La surface de banquise diminue au Nord, avec un effet amplificateur sur le Changement Climatique



Le niveau des mers s'élève avec la fonte de la banquise, laquelle s'accélère.

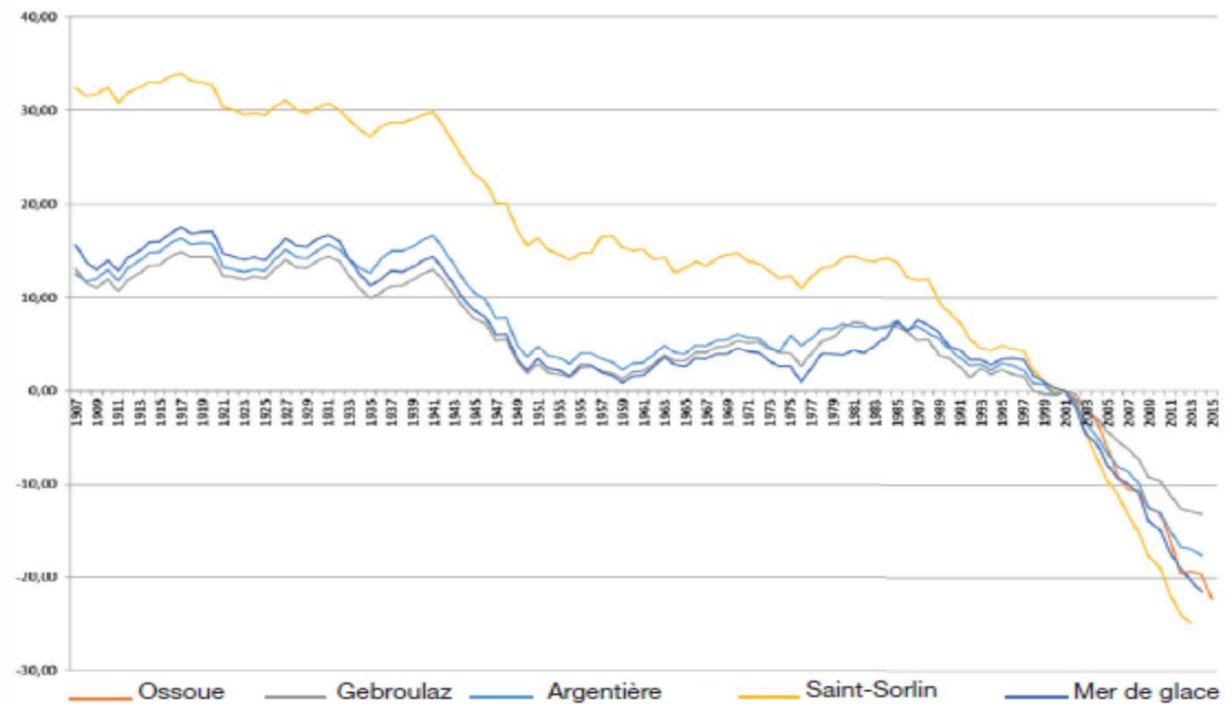
la fonte des glaciers

En voyant les photos-satellite,
aucun doute: ça fond...



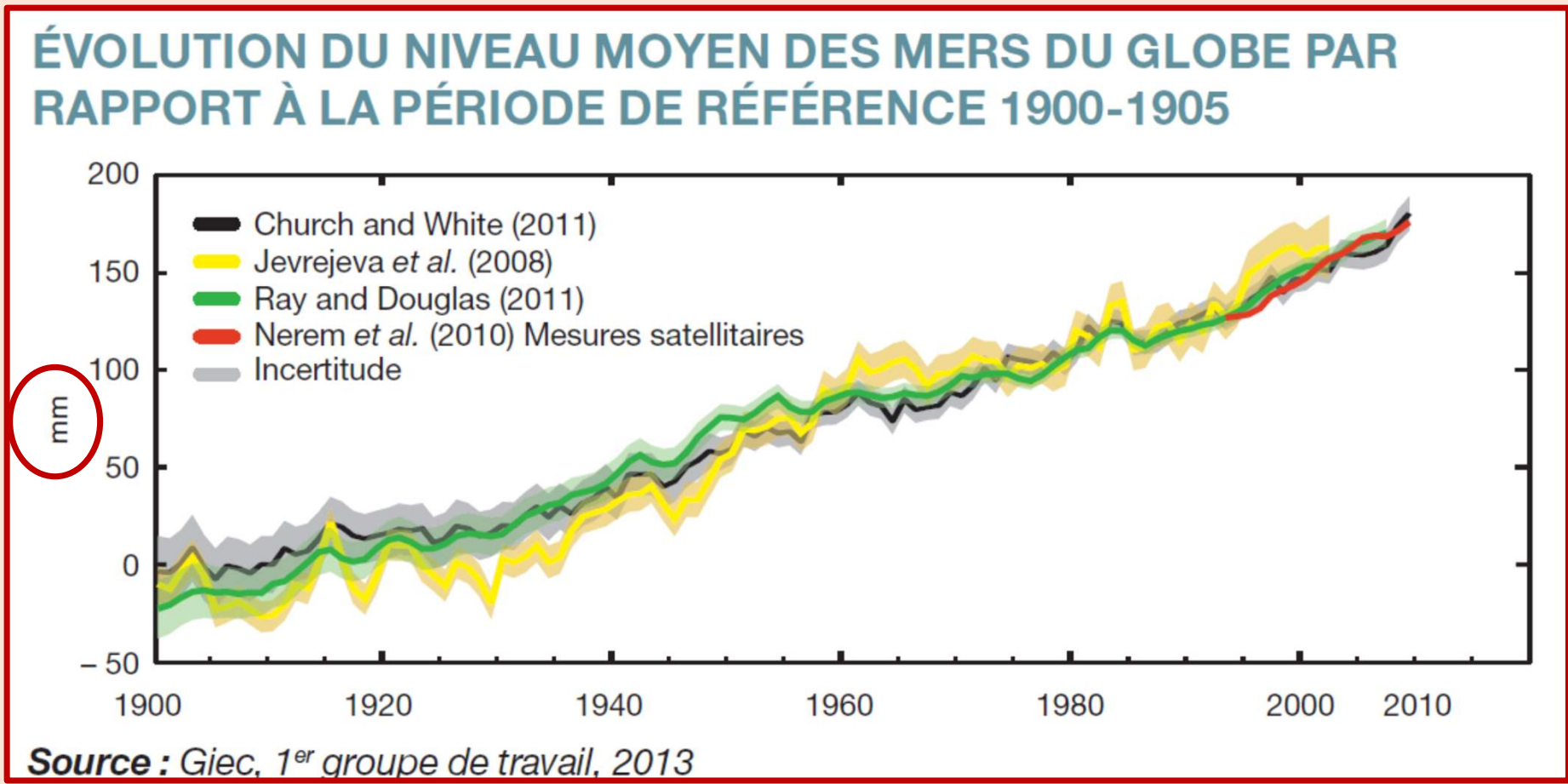
Xavier Goncé.

MODIFICATION DE LA MASSE DES PRINCIPAUX GLACIERS FRANÇAIS
Bilan de masse cumulée (en équivalent mètres d'eau)



Sources : Association Moraine (Association pyrénéenne de glaciologie) ; Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement - LGGE (CNRS - UJF - OSUG), 2017

Conséquence
sur le
niveau de
la mer



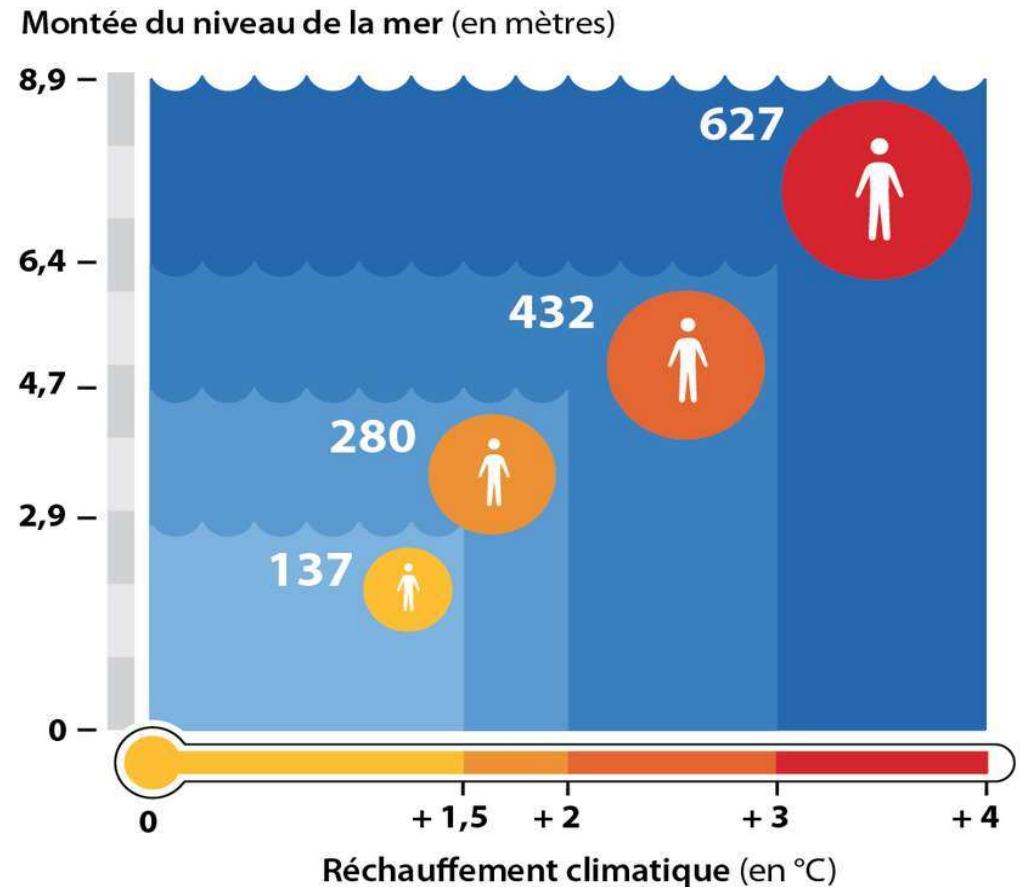
Etude publiée par l'Académie des Sciences américaines 8 avril 2019 :
élévation de + de 2 mètres en 2100 (certaine à 95%) si rien n'est fait!

Conséquences sur la montée des Eaux

- Un rapport de la **Banque mondiale** estime que la montée des eaux et les autres conséquences en 2050 du dérèglement climatique vont forcer **140 millions de personnes à devenir des réfugiés climatiques!**
- Les experts de **l'ONU** prévoient même une hausse du niveau actuel de près **d'un mètre d'ici 2100** si on ne reste pas en dessous des 2° de réchauffement.

L'impact du réchauffement climatique sur le niveau de la mer et la population

Population dont le domicile serait sous le niveau de la mer, en millions, en 2010, selon le degré de réchauffement

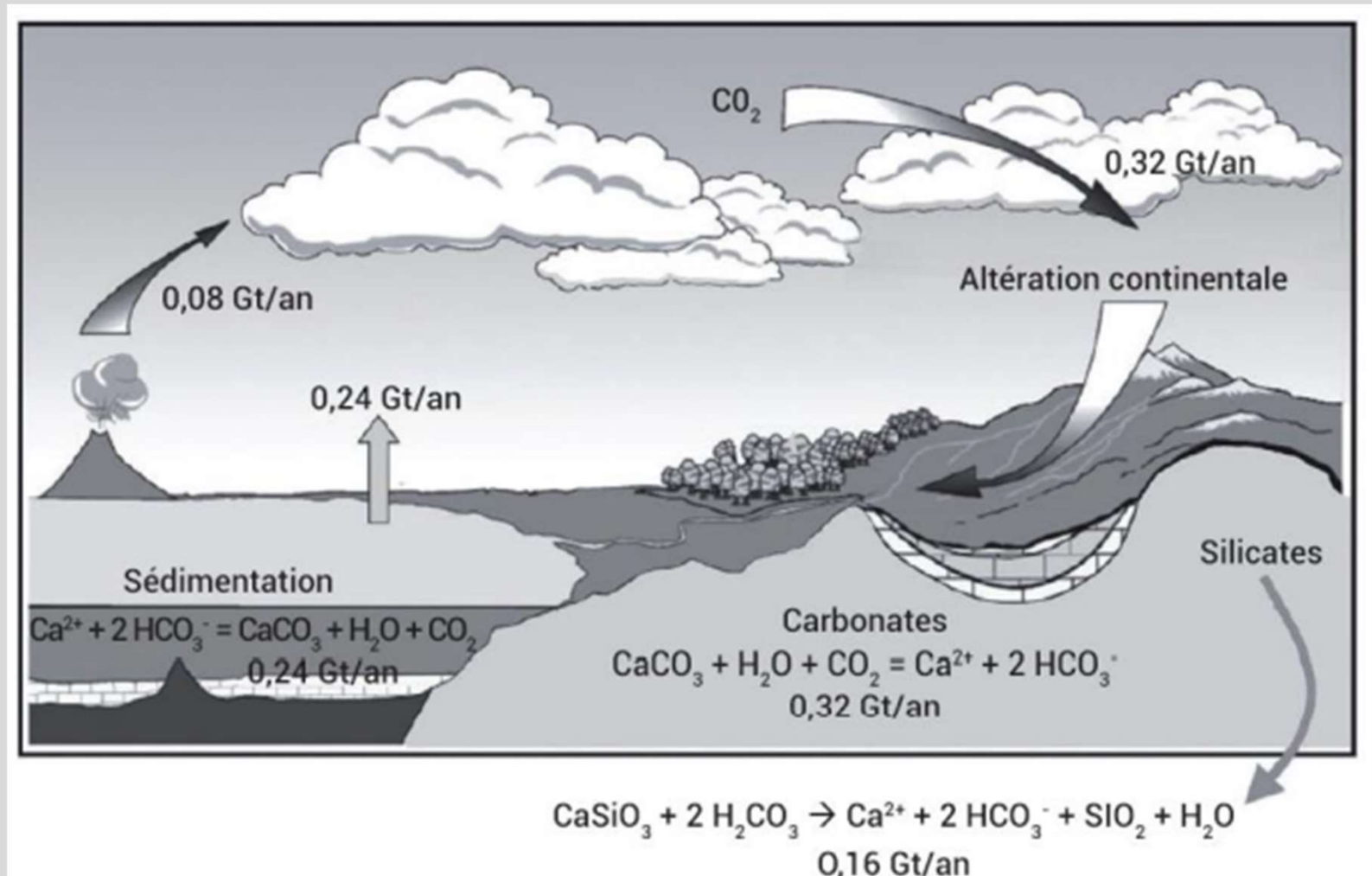


Source : Climate Central

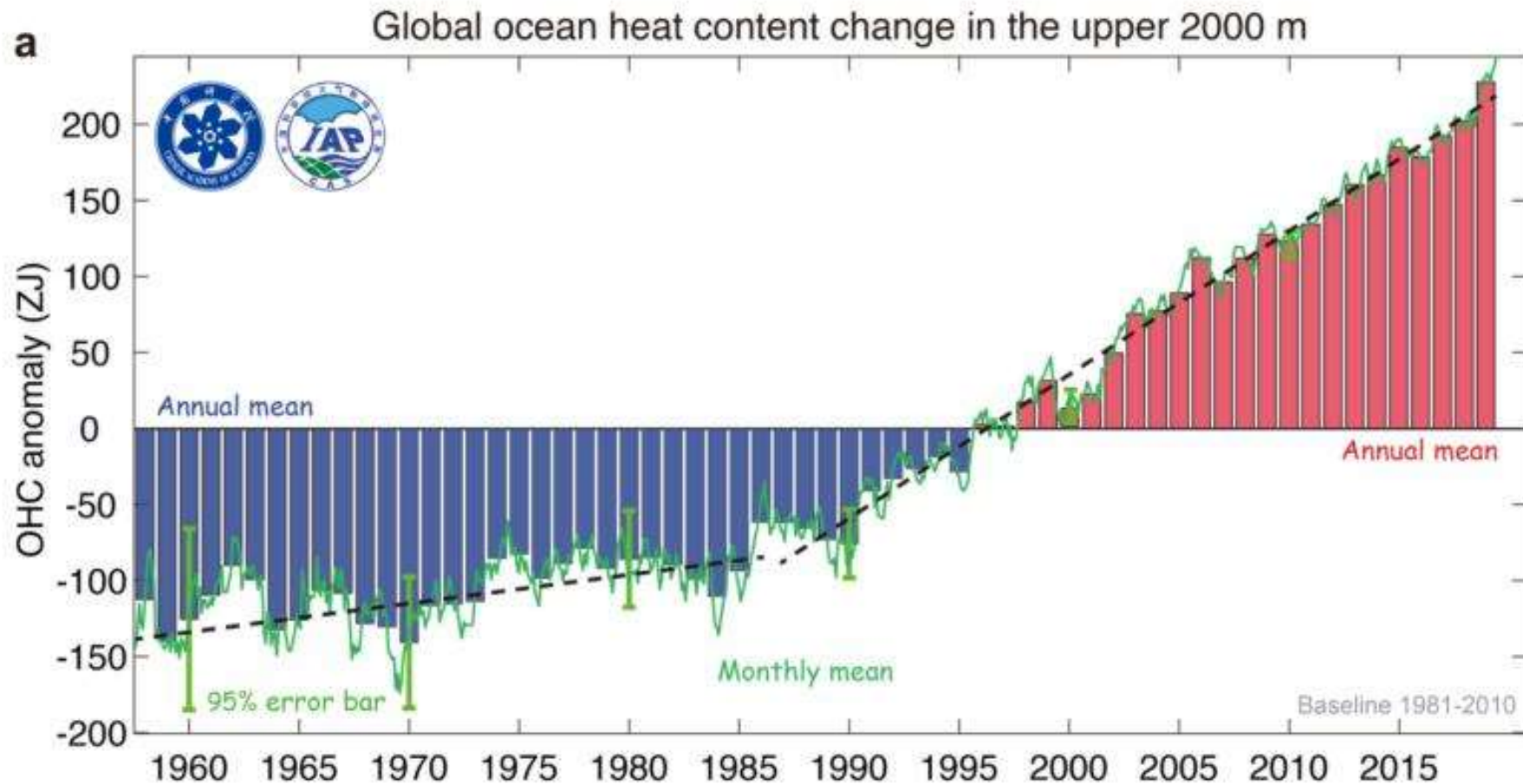
Les océans sont des puits de carbone

la soustraction par les **PUITS** de Carbone dont le principal est l'océan et le stockage sous forme de CaCO_3 .

L'altération des carbonates et des silicates continentaux entraîne un afflux de bicarbonate de calcium dans l'océan qui va piéger le carbone par précipitation.



Stockage de chaleur dans l'océan confirmée depuis 20 ans



Sfen

Les océans jouent un rôle capital dans les systèmes climatiques et météorologiques de notre planète ainsi que dans le cycle du carbone à l'échelle mondiale.

Les océans absorbent le quart des rejets de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

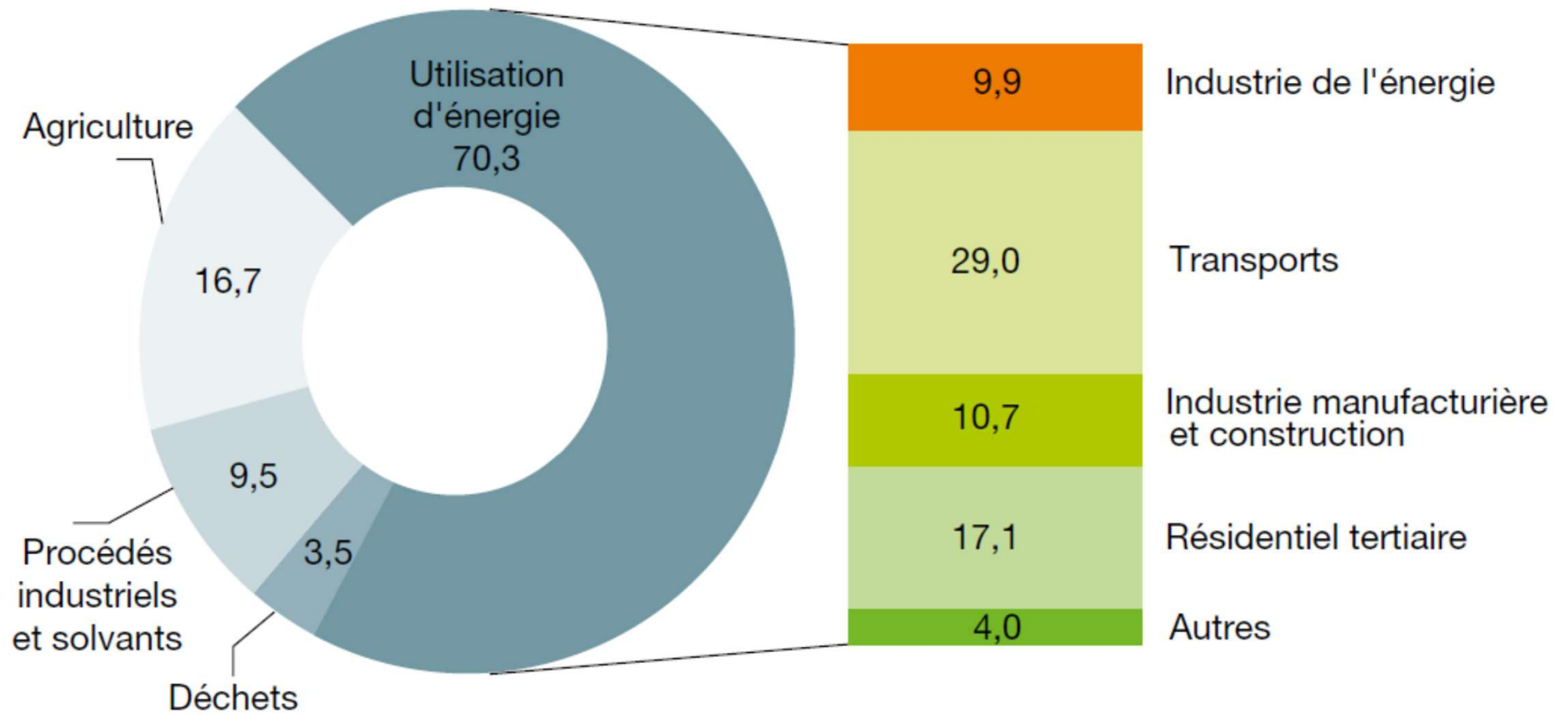
L'acidification est tributaire des paramètres de la température, la salinité, la teneur en oxygène, la pression et le système des carbonates et le pression des CO₂.

Conséquences sur l'acidification des océans

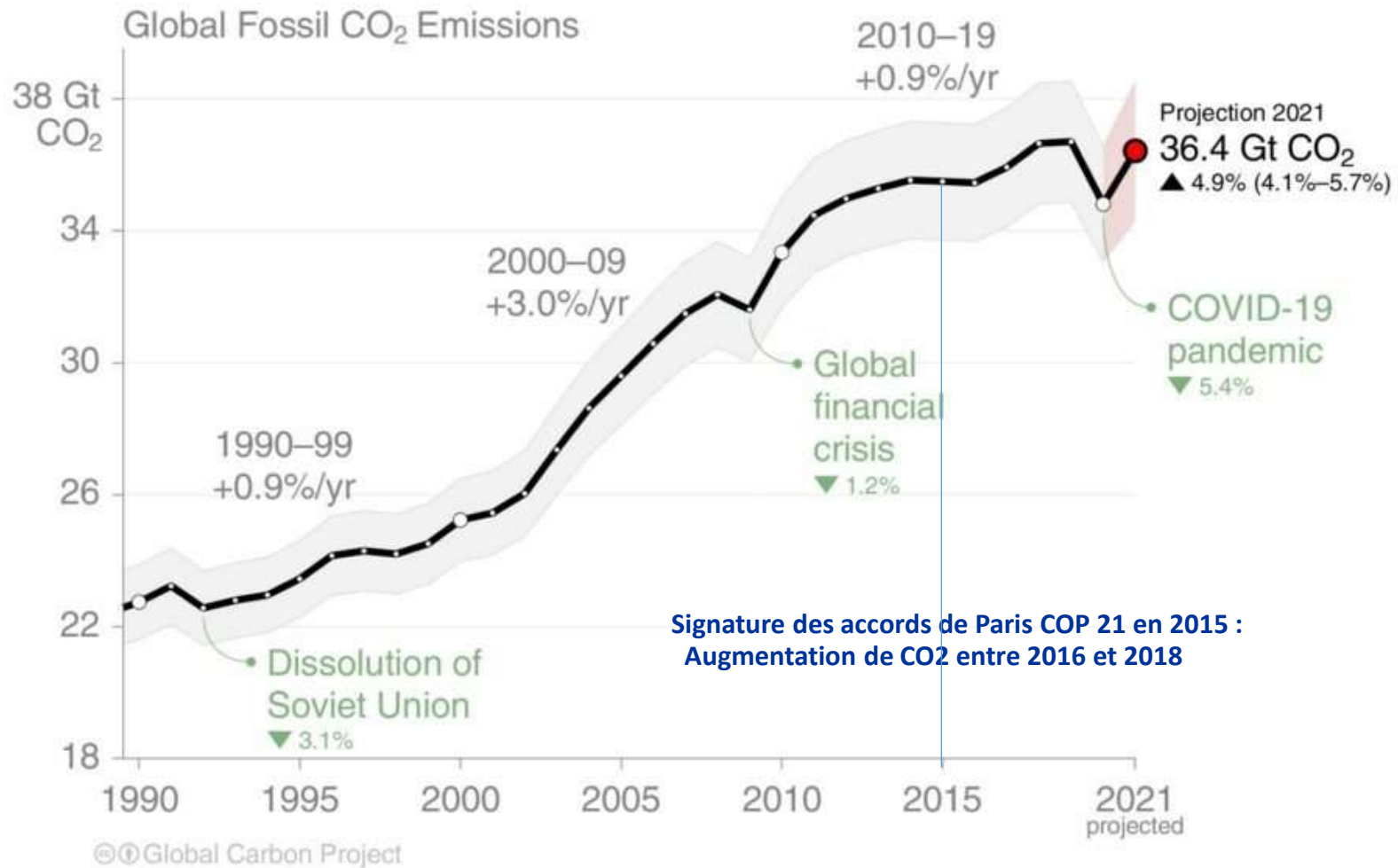


Ocean Acidification International Coordination Centre (OA-ICC)

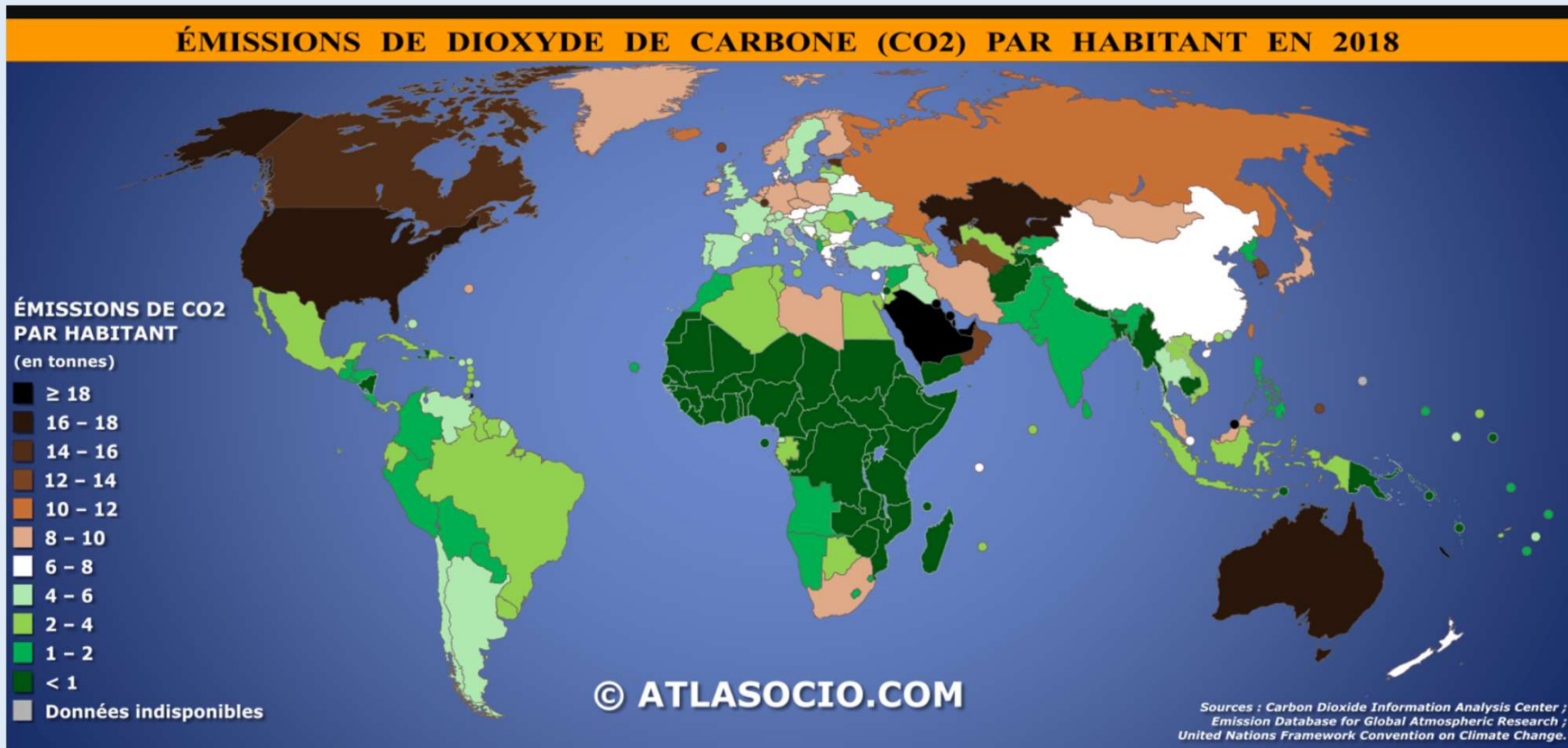
Sources d'émission de GES en France



Record des émissions de CO₂ en 2018 et 2021!



L'empreinte carbone totale par habitant 2020



L'empreinte collective carbone + GES par français est en moyenne de 11,9 tonnes d'équivalent CO₂ par an, soit environ 32,6 kilos de CO₂ /jour

**Empreinte CO₂ individuelle par français
est de 4,62 TeqCO₂/an en 2020 (12,6 kg/j)**

En résumé..., selon le 5ème rapport du GIEC

(émis en 2014 pour la préparation COP21 de 2015)

Des constats sans appel

- La température moyenne terrestre s'élève : $\sim +1^{\circ}\text{C}$ depuis 1900
- Le niveau de la mer a augmenté de **19 cm en un siècle**
- Le réchauffement est dû - pour l'essentiel - à l'accroissement de la teneur en CO_2 , dû à l'activité humaine (certain à 95%)
- Impacts sur la biosphère

Le processus s'accélère, dans la décennie 2010, versus 1990

- Les émissions de GES ont cru 3 fois plus vite,
- L'Arctique a perdu sa glace 6 fois plus vite,
- La décennie 2000/2010 est la plus chaude jamais enregistrée,
- Les océans s'acidifient à un taux alarmant.



En 2021, évolution de la perception du changement climatique

L'environnement est concurrencé par les inquiétudes du quotidien « **Le climat est victime d'une concurrence des périls** » et cela « **dilue** » la mobilisation des gens.

La 3^{ème} étude IPSOS « **de l'observatoire international climat et opinions publiques** » dans 30 pays est représentative des deux tiers de la population mondiale, dresse un état des lieux :

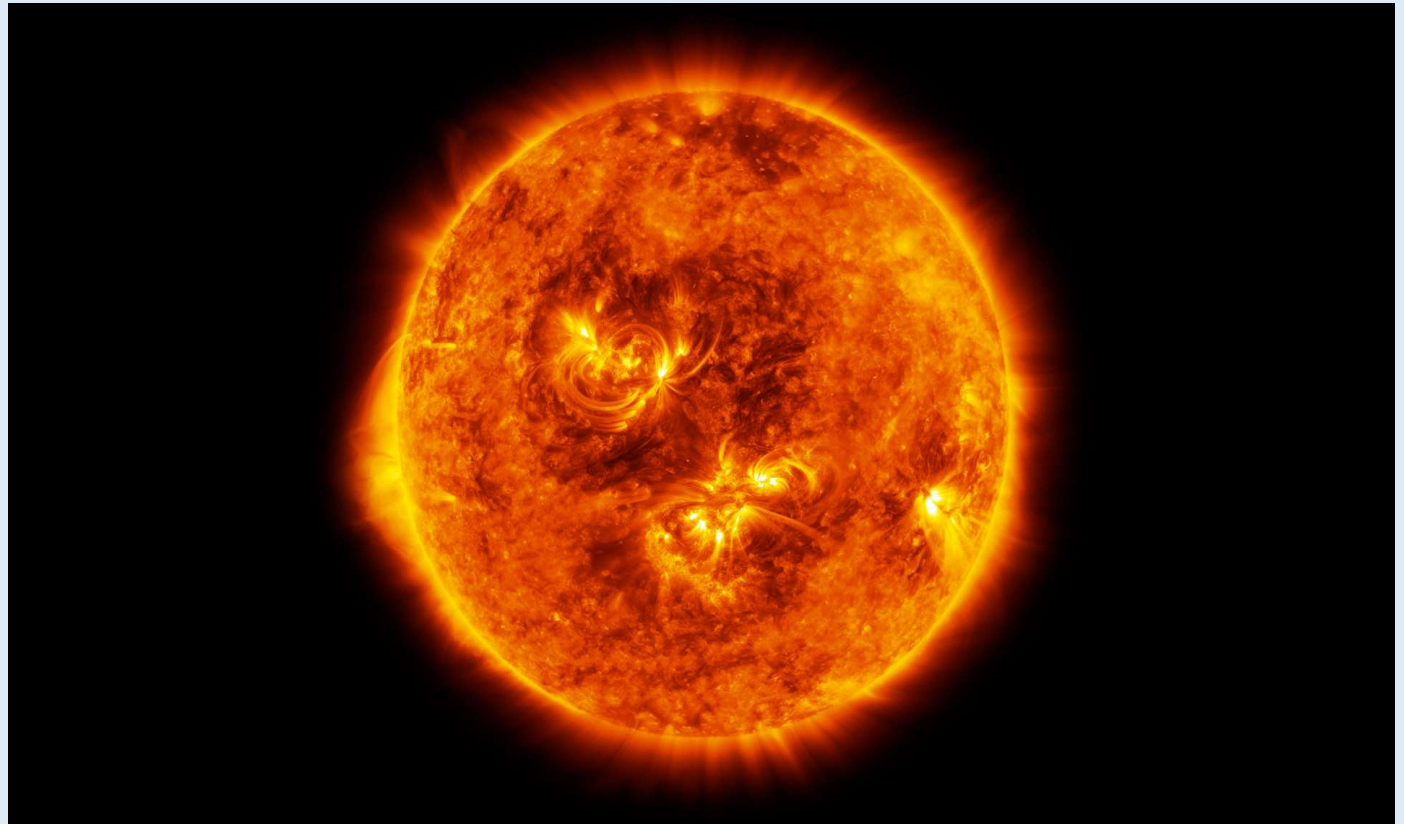
- ◆ Le coût de la vie est en tête des inquiétudes dans le monde, à égalité avec la Covid (52 %),
- ◆ La multiplication des événements climatiques extrêmes en 2021 inquiète 70 % de la population mondiale entraîne colère pour 30 % et démoralisation pour 26 %,
- ◆ Niveau mondial, **l'acceptabilité des ENRi est forte** : 89 % pour solaire et 81 % pour l'éolien.
- ◆ Nucléaire et gaz sont à 39 % chacun mais l'acceptabilité du nucléaire augmente considérablement à 60 % lorsqu'on met en avant le bénéfice pour le climat.
- ◆ 60 % des gens dans 17 pays/30 sont prêts à remplacer les centrales à charbon ou fuel par du nucléaire (*en France augmentation l'acceptabilité du taux de 65 %, + 9 points en un an*)
- ◆ Une évolution paradoxale du climato scepticisme en progrès à 34 % **soit +3 % / 2019**

Conclusion

« Notre maison brûle et nous regardons ailleurs... »

Jacques CHIRAC au 4^{ème} Sommet de la Terre le 2 septembre 2002 à Johannesburg

Urgence absolue pour la planète : le changement climatique dépend surtout de notre capacité mondiale à diminuer le CO2... et 85% des français sont inquiets des conséquences du dérèglement climatique.



Scénarios possibles vers 2100 ^(1/2)

Scénario haut : « BUSINESS AS USUAL »

Poursuite de la tendance actuelle : efforts modérés.

- Accroissement température **~4°C ou plus en 2100**
- Élévation du niveau des mers ~1m **→ Déplacements massifs**
- Impacts majeurs sur la faune et la flore,
- Accroissement des zones arides, **→ Réfugiés climatiques**
- Dégel du pergélisol >> émissions massives de CH₄ (Méthane) et du CO₂
- Conflits pour la **maîtrise de l'accès à l'eau potable**
- Compétition planétaire pour accès aux ressources primaires
- Évènements climatiques extrêmes, de plus en plus constatés

Scénarios possibles (2/2)

Scénario bas : diminution drastique des émissions de CO₂, Neutralité carbone ~~ 2070 au niveau mondial

- Accroissement température ~2°C en 2100
- Révision sévère des politiques de TOUS les pays développés :
 - Politiques volontaristes d'économie d'énergie
 - Abandon rapide des combustibles fossiles

➡ *Risque majeur de décroissance économique et Impacts sociaux*

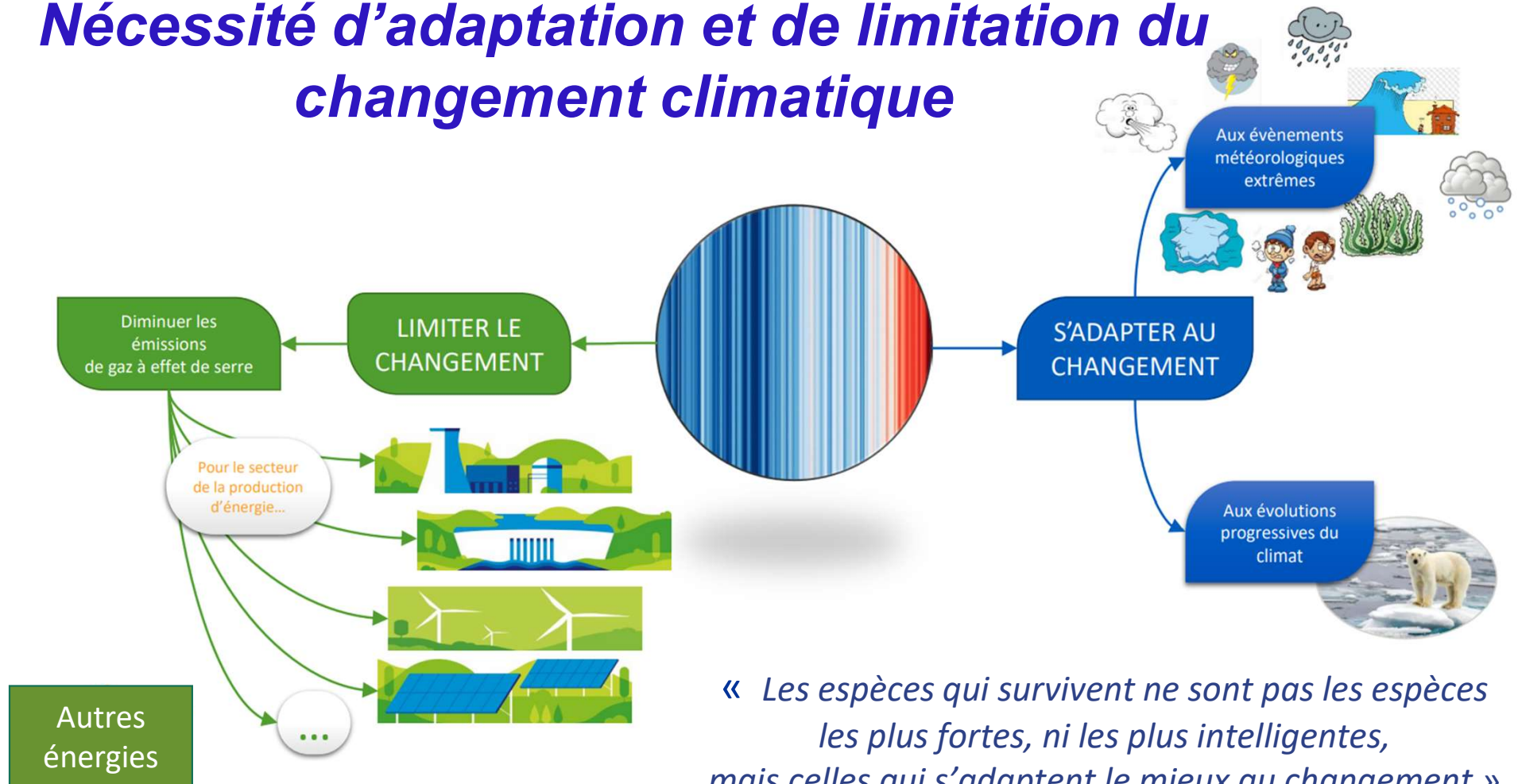
- Quelle énergie pour les pays émergents? Avec quel financement?
- Élévation du niveau des mers plus modéré, mais néanmoins graves conséquences sur les populations côtières.
- L'impact sur la faune et la flore reste significatif.

➡ *Nécessité d'adaptation et de limitation du changement climatique*

La transition énergétique



Nécessité d'adaptation et de limitation du changement climatique



« Les espèces qui survivent ne sont pas les espèces les plus fortes, ni les plus intelligentes, mais celles qui s'adaptent le mieux au changement. »

(Charles DARWIN)

Les phases de la Transition Energétique

- ▶ **Dérèglement climatique croissant, gaz à effet de serre à réduire par un facteur supérieur à 4,**
- ▶ **Décarbonation des domaines économiques** : habitat, mobilité, industrie, agriculture,... elle concerne tous les secteurs et s'accompagnera d'un **recours massif au vecteur électricité.**
- ▶ **Construction de moyens pilotables renouvelables ENRi, de moyens de stockage individuels et massifs plus autres technologies *en cours de R&D à améliorer ou à découvrir d'ici 2050-2060.***
- ▶ **Il faudra avoir une maîtrise de la demande revue à la baisse sans imposer de décroissance!**

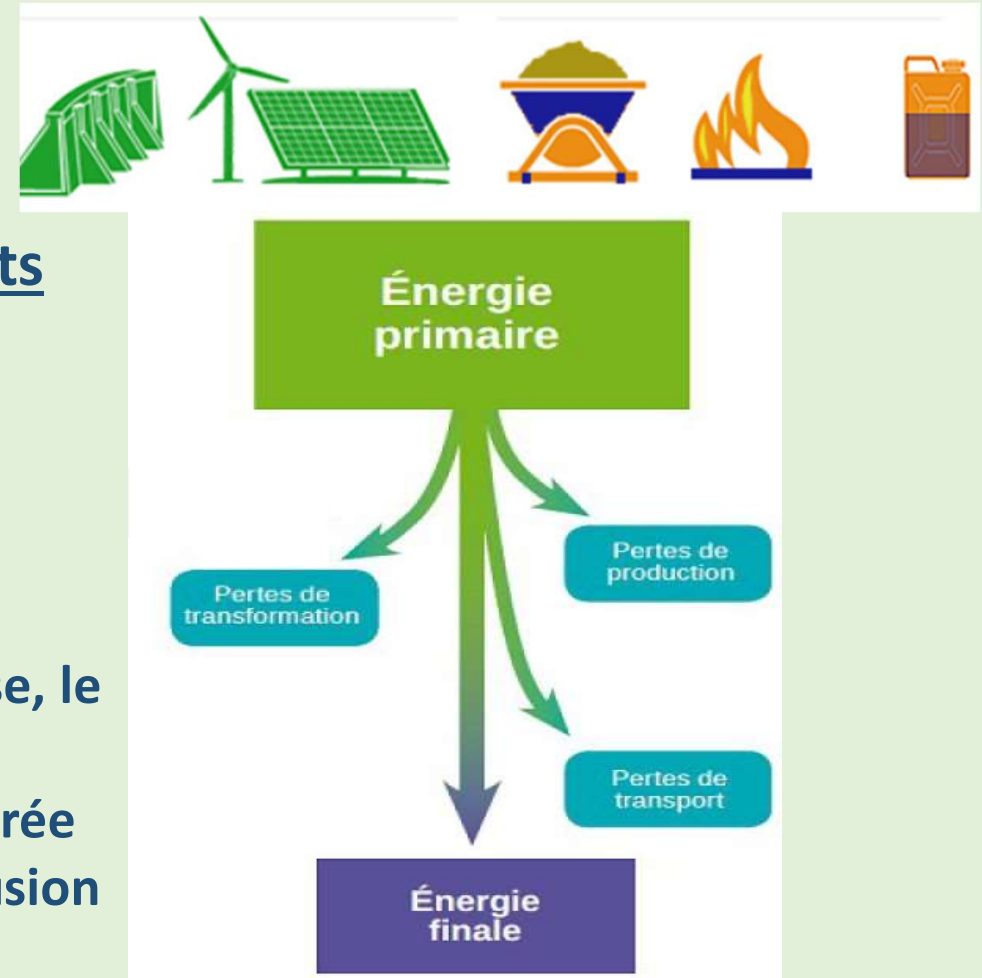
La production électrique serait majoritairement un mix entre une base nucléaire pilotable et complétée par une importante contribution d'énergie renouvelable intermittente avec un reliquat de fossiles (gaz) voué à une disparition progressive.

**Pourra t-on abaisser les rejets de CO₂ sans altérer
le bien-être de la population ni entraîner trop de dépenses?**

Energie Primaire

L'énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés.

Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie tirée de la fission de l'uranium.... en attendant le fusion vers la fin du 21 ème siècle!



La consommation mondiale d'énergie primaire en 2020

Elle a été multipliée par 4 / habitant au cours du dernier siècle avec une grande disparité mondiale

Le total de la consommation mondiale **d'énergie primaire** (électrique et autres énergies) est de 14 milliards de **T.E.P.**, « Tonne Equivalent Pétrole » (source AIEA), répartie comme suit :

- Pétrole : 31,2 %
- Charbon : 27,2 %
- Gaz naturel : 24,7 %
- **Renouvelables et Biomasse : 5,7 %**
- **Nucléaire : 4,3 %**
- **Hydraulique : 6,9 %**

**83,1 % d'énergie carbonée !
= énergie fossile**

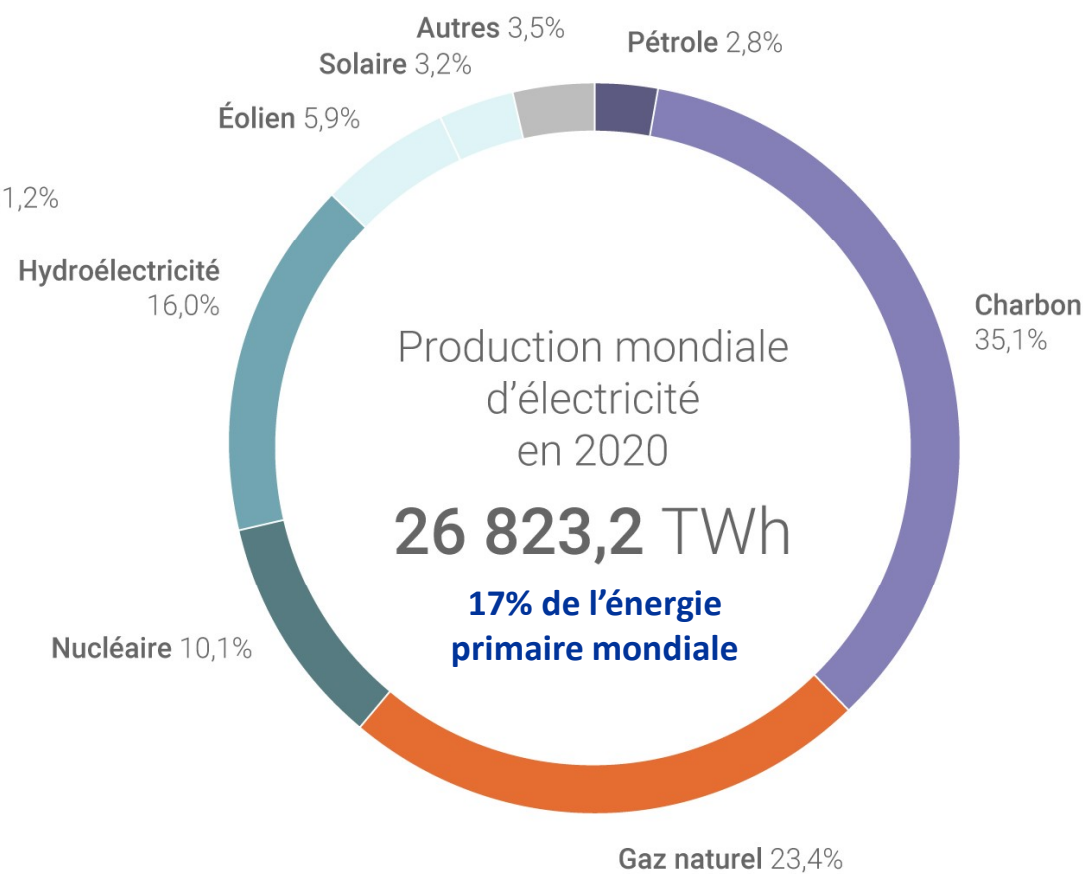
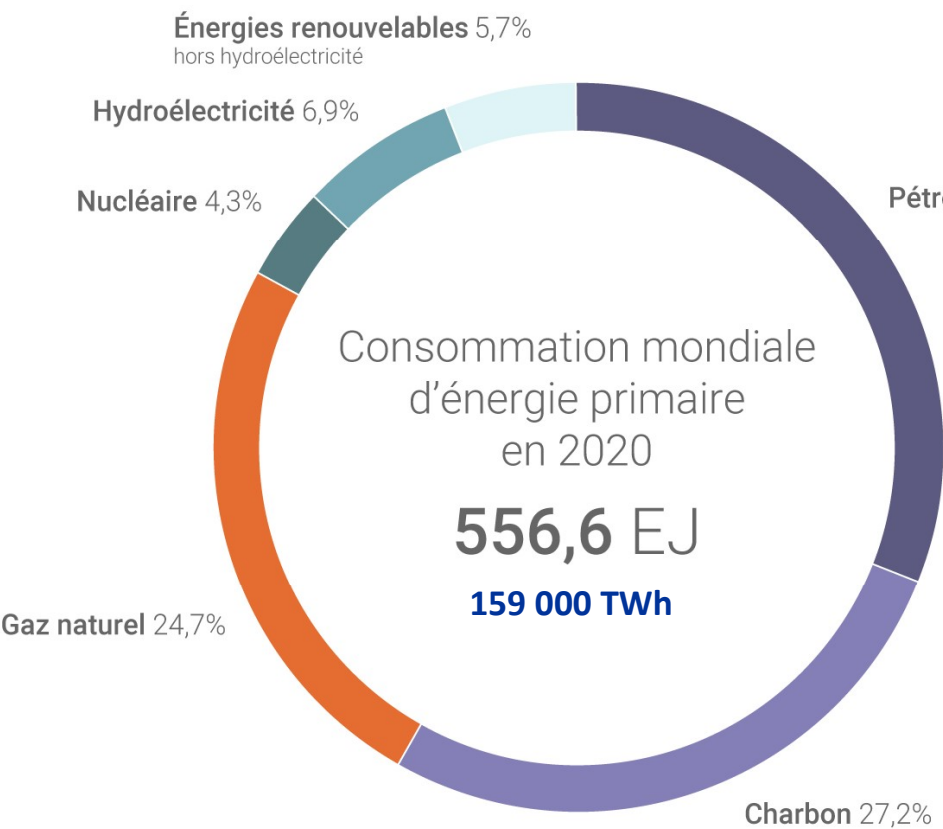
**16,9% d'énergie
décarbonée**

1 TEP = 11630 KW ; 1 tonne de bois = 0,3215 TEP ; 1 tonne d'uranium = 16000 TEP, 1 TEP = 1000m³ de gaz,

1 **TW** (10 puissance 12 W) = 1000 GW , 1 **GW** (10 puissance 9 W)= 1000 MW, 1 **MW** (10 puissance 6 W) = 1000 KW

1 **PW** = « Péta » (10 puissance 15 W), 1 **EW** = « exa » (10 puissance 18 W), 1 **ZT** = « Zetta » (10 puissance 21 W)

Monde La consommation d'énergie totale et la production d'électricité en 2020



Connaissance des Énergies | Sources : BP Statistical Review of World Energy, juin 2021.

~~27000 TWH Electricité mondiale = 17% de l'énergie primaire mondiale en 2020 (159 000 TWh ou 159 PWh - Péta Watt)

Les textes réglementaires...

COP : conférence des parties, (organisée par l'**ONU** pour le Climat et le **CCNUCC**). En 2015, Paris organisait la COP21 qui fut conclue sur un accord historique pour tenter de **maintenir le réchauffement climatique à 1,5°C de plus** par rapport à l'ère préindustrielle d'ici la fin du siècle, **accord ratifié à l'époque par 191 nations**. Pour y parvenir, 2 étapes ont été retenues : **baisse de 40 % des GES d'ici à 2030 et neutralité carbone en 2050**. La demande en énergie augmente, il sera difficile d'atteindre la neutralité CO2 en France...

La **LTECV** (**Loi Transition Énergétique pour une Croissance Verte**) serait à réviser profondément pour la concentrer sur le seul objectif de baisse des émissions de CO2 pour atteindre la neutralité carbone en 2050 : en découlent la **SNBC**, Stratégie Nationale Bas Carbone et la **PPE**, Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, devaient enfin intégrer des objectifs efficaces et pragmatiques.

LEC : la **Loi Energie-Climat**, adoptée en novembre 2019, permet de fixer des objectifs ambitieux pour la politique climatique et énergétique française *parfois en contradiction avec les précédents*...



La PPE, Le PNACC

- La **PPE**, issue de la **LTECV**, a pour objectif de réduire la consommation électrique **et la part du nucléaire**, en **augmentant la part des énergies renouvelables** dans le mix électrique (PPE 1 2016-2018, PPE 2 2018-2023). Pour obtenir un gain très faible de CO2 (3%), il est programmé de doubler la production éolienne et de tripler la production solaire. Cette politique de l'électricité est financée en France au détriment des secteurs qui émettent le plus de CO2 : les transports (40 %), le résidentiel-tertiaire (23%).
- **La PPE 3** de 2019 est un document stratégique de pilotage de la transition énergétique qui fixe une trajectoire pour le mix énergétique et les priorités d'actions pour atteindre les objectifs 2028.
- Le **PNACC**, **Plan national d'adaptation au changement climatique**, porte sur 20 domaines dont santé, eau, biodiversité, risques naturels, agriculture, forêt, pêche et aquaculture, tourisme, énergie et industrie, infrastructures et services de transport, urbanisme, éducation et formation, recherche, littoral, montagne, ... Lancé en 2018 le **PNACC-2**, vise une adaptation effective à un climat avec **une hausse de température de +1,5 à 2 °C** mondial (par rapport/90).

Objectifs de la première LTECV 2015

La transition énergétique désigne une modification structurelle profonde des modes de production et de consommation de l'énergie

Économique : réduire la dépendance énergétique, créer de l'emploi et gagner en compétitivité

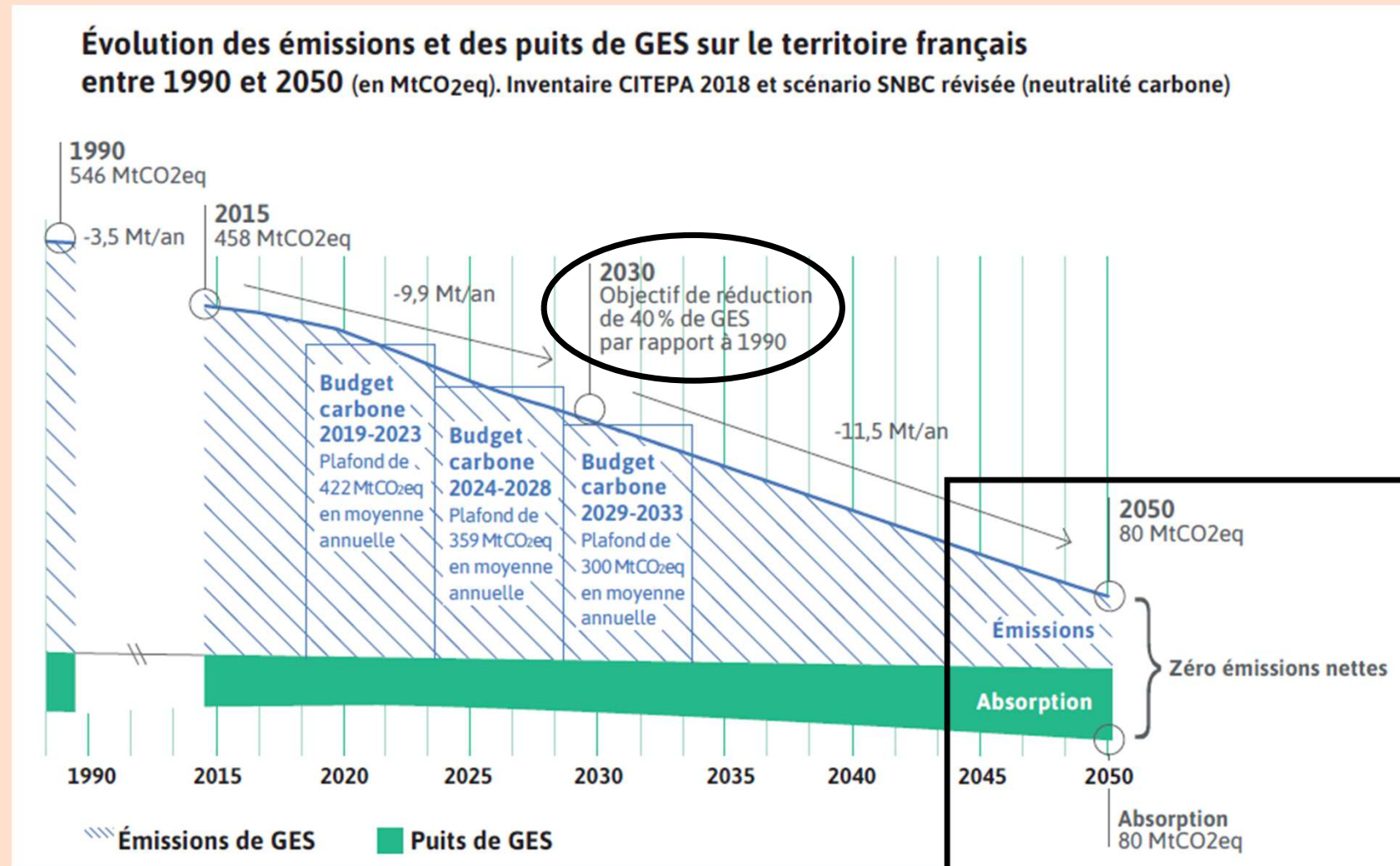
Social : contrôler le prix de l'énergie pour lutter contre la précarité énergétique

Écologique : réduire les GES, diminuer les impacts environnementaux et sanitaires.



SNBC révisée en avril 2020 : Objectifs!

D'ici 2050,
nous devons
atteindre la
neutralité
carbone pour
limiter le
réchauffement
de la planète à
+ 2°C ou 1,5°C



MtCO₂eq = Million de tonnes CO₂ équivalent

Rapport RTE « Futurs énergétiques 2050 »

A la demande d'EDF et du Gouvernement, RTE (Réseau de Transport d'Electricité) a lancé une large étude sur l'évolution du système électrique en 2019, présentée le 18 Octobre 2021.

Le rapport complet de plus de 600 pages* présente les scénarios de mix de production qui doivent permettre d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

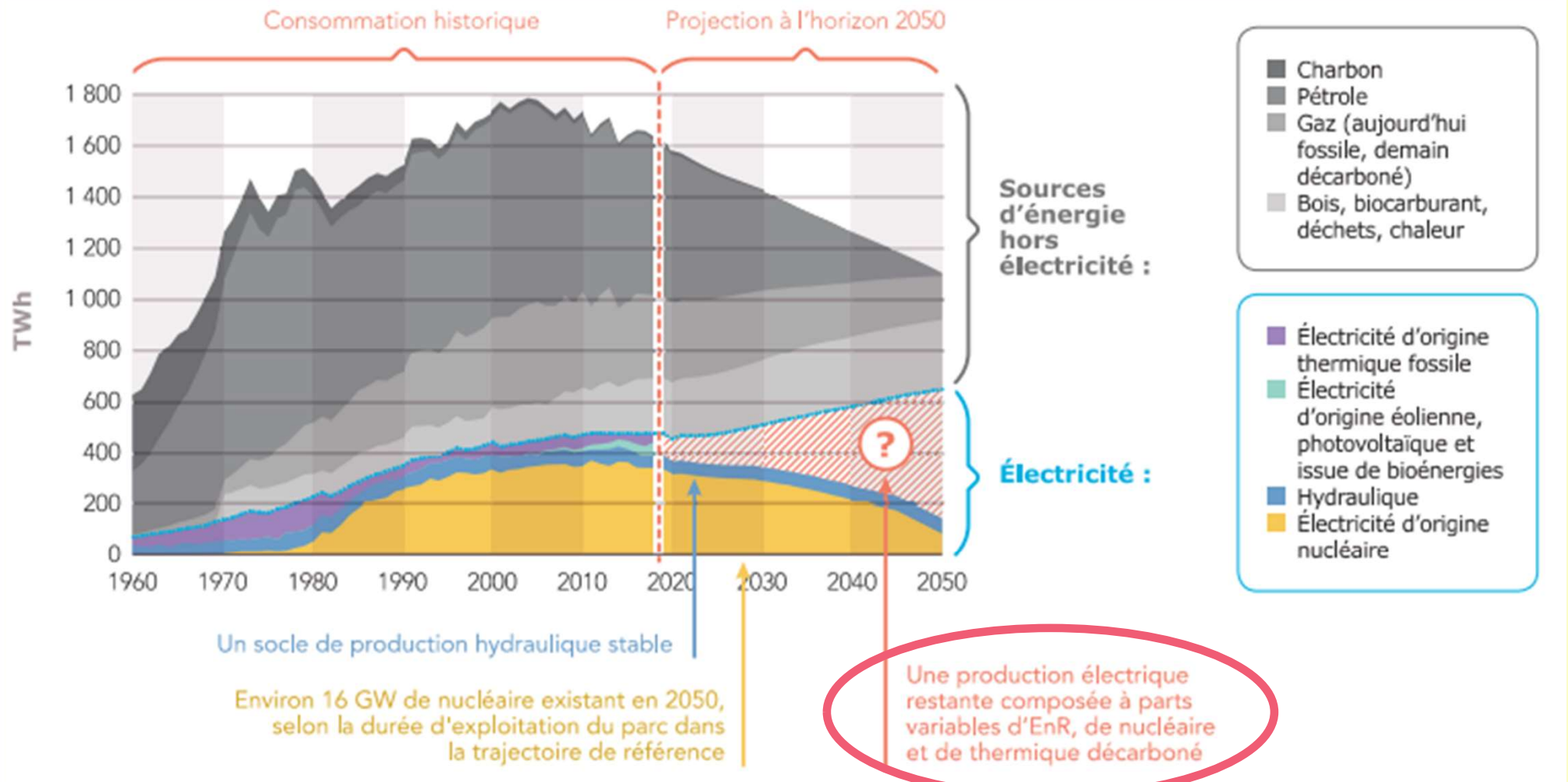
Ce rapport explore 6 scénarios différents pour concilier les objectifs, confort des consommateurs, compétitivité industrielle et respect de l'environnement...

6 scénarios sont étudiés : 3 sans nucléaire et 3 avec nucléaire!

**Quel que soit le scénario choisi, il y a urgence à se mobiliser
sans oublier la souveraineté...**

**(préférer les résultats sur le lien [Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats_0.pdf](#) de 62 pages)*

Problématique générale : sortir des Energies Fossiles



Évolution des émissions et des puits de gaz à effet de serre (historique et objectifs)

Futurs énergétiques 2050 RTE : scénario de référence

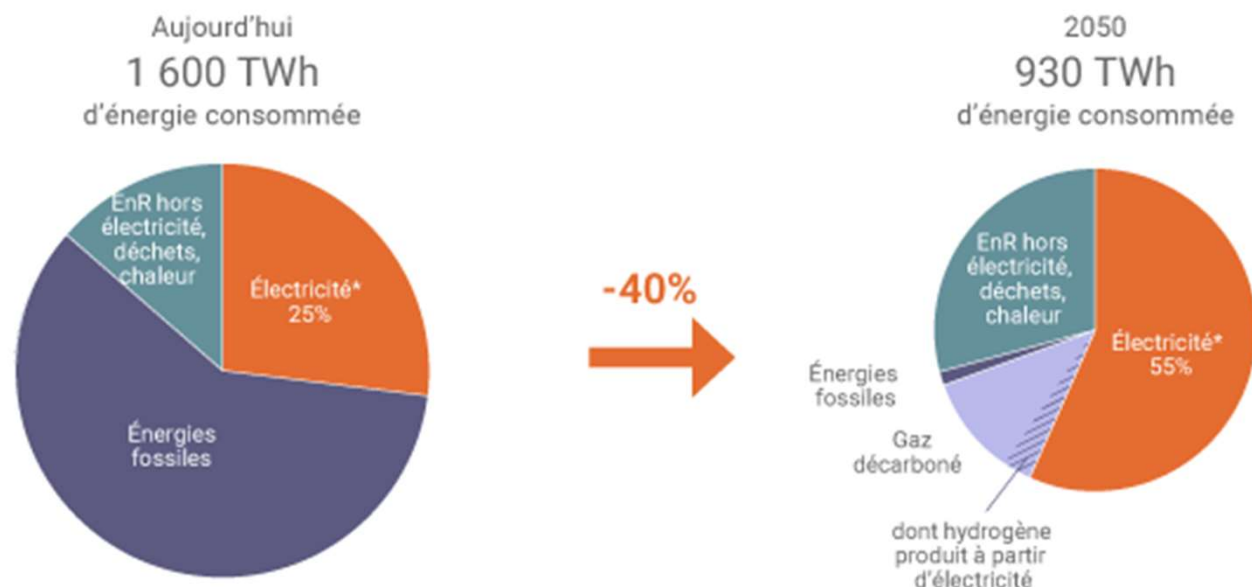
Aujourd'hui l'énergie **totale** consommée annuellement est de **2 000 TWh** (au lieu de 1600 TWh), **avec près de 75 % de fossiles** dont il faudra alors se passer.

L'estimation 2021 de l'**Académie des Sciences et des technologies** est entre **800 et 900 TWh** en 2050 - 645 TWh par RTE

Pour **NégaTep** la consommation d'électricité en 2050 devrait se situer entre **810 et 845 TWh**, rejoignant les estimations des Académies des sciences

RTE aurait largement minimisé le besoin annuel en 2050?

Étude « Futurs énergétiques 2050 » de RTE Part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie en France



645 TWh

Consommation finale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE en 2050

*Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)

Connaissance des Énergies | Source : Futurs énergétiques 2050, RTE, octobre 2021.

Divers estimations 2021 avant le rapport

Consommations PAYS	Consommation observée en 2019 (TWh)	Consommation anticipée en 2050 (TWh)	Augmentation relative entre 2019 et 2050 (%)	Production requis (*) hors import/export en 2050 (TWh)
FRANCE				
* Académie des Sciences (1)	} ≈ 475	≈ 700 à 900	≈ + 47 à + 89 %	≈ 753 à 978
* Académie des Technologies (2)		≈ 840	≈ + 77 %	≈ 903
* Estimation Négatep (3)		≈ 810 à 845	≈ + 70 à + 78 %	≈ 871 à 909
* Estimation Henri Prévot (4)		≈ 863	≈ + 82 %	≈ 928
<u>Moyenne des estimations hautes</u>		≈ <u>833</u>	≈ <u>+ 75 %</u>	≈ <u>896 arrondis à 900</u>
ALLEMAGNE	≈ 571	> 1 000 (5)	≈ + 70 % (6)	> 1 075
ROYAUME-UNI	≈ 326	> 600	≈ + 80 % (6)	> 645
RTE (hypothèse de référence)	≈ 475	≈ 645 (7)	≈ + 36 %	≈ 693

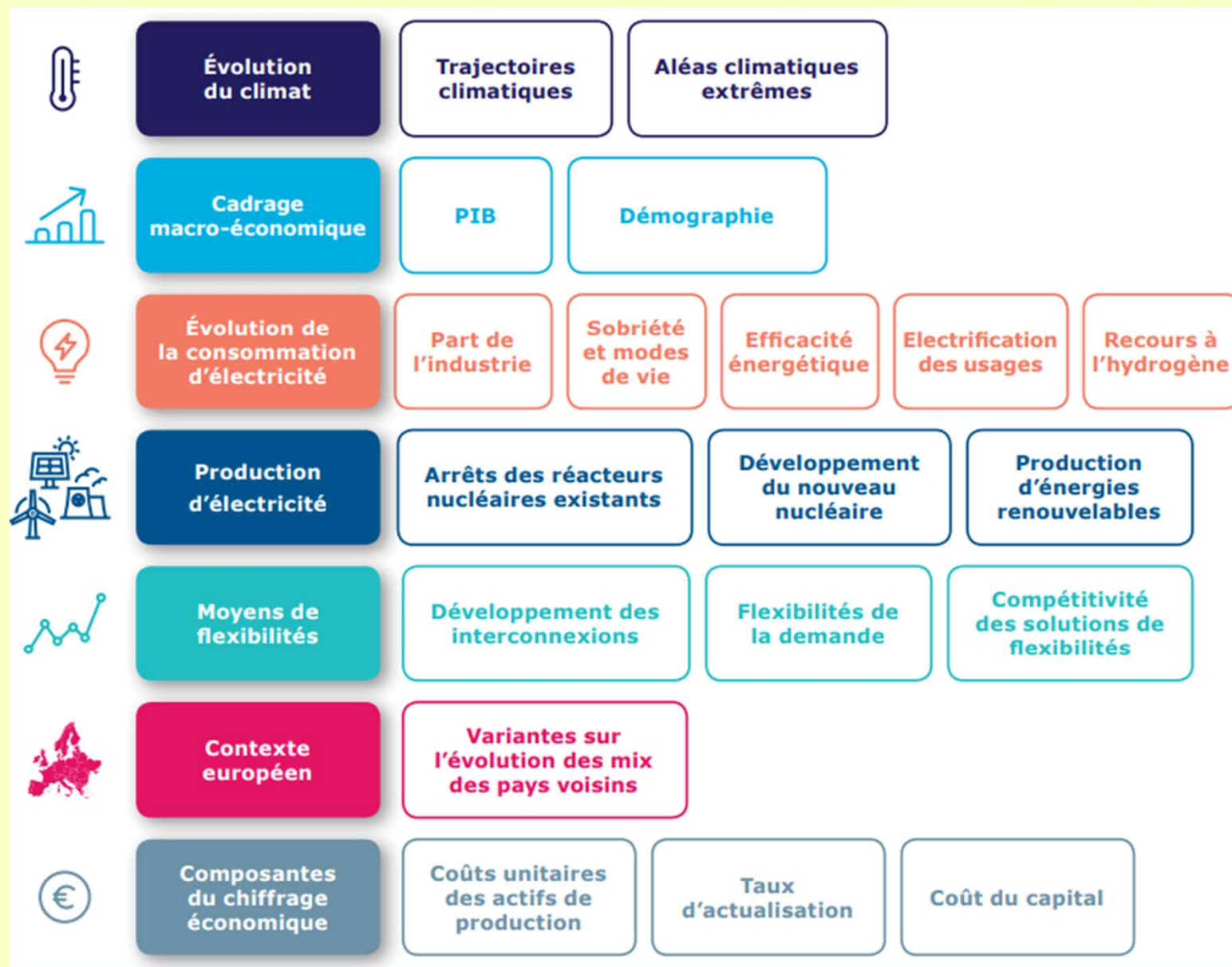
Tableau 1 : estimations les plus élevées comparées aux anticipations en Allemagne et au Royaume-Uni

(*) Compte tenu de pertes réseau prises égales à 7 % environ



Synthèse des principaux paramètres étudiés dans le cadre de l'étude Futurs Energétiques 2050

A la demande de l'Etat français, RTE a lancé en 2019 une large étude sur l'évolution du système électrique concernant les scénarios de mix de production permettant d'atteindre la **neutralité carbone à l'horizon 2050**



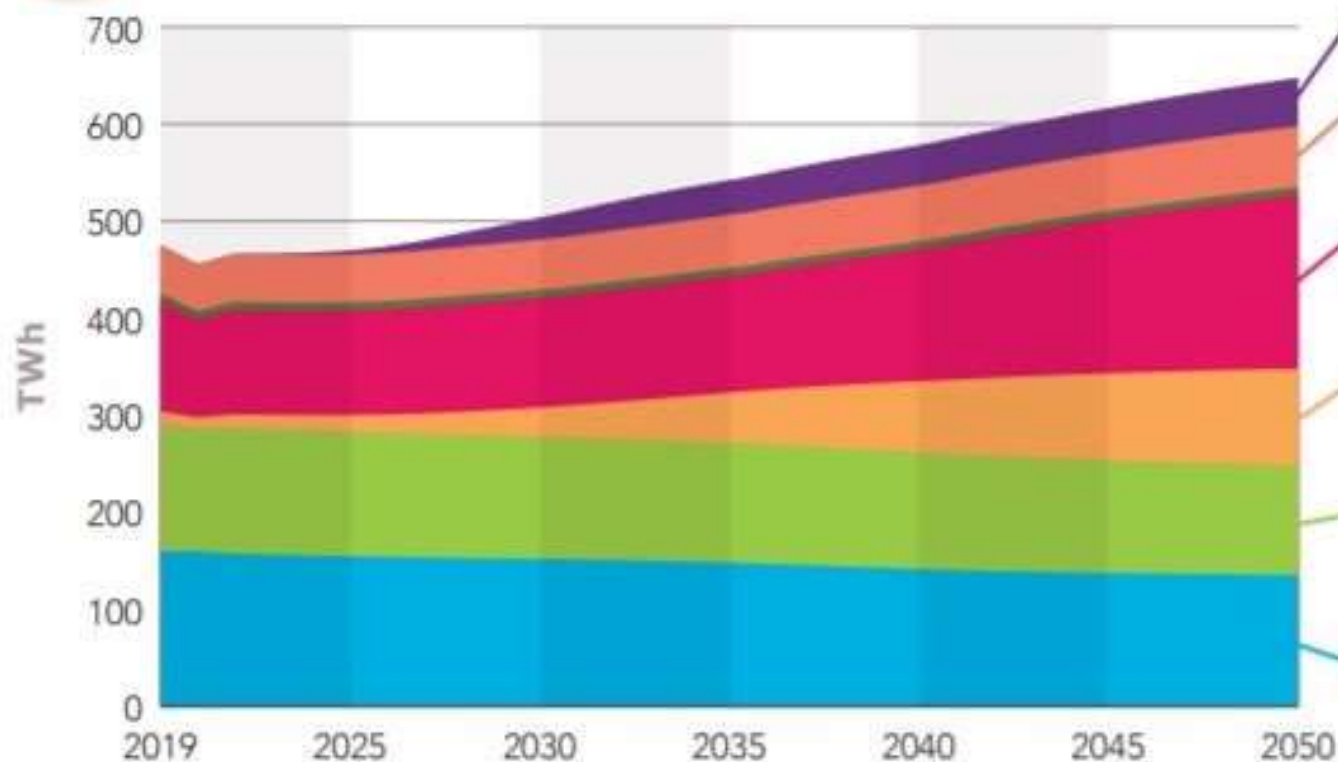


Sfen

645 TWh puissance de référence RTE en 2050



Projection de la consommation totale d'électricité dans la trajectoire de référence de l'étude



Hydrogène bas-carbone (0 → 50 TWh) :

produit par électrolyse (besoins industriels et transport lourd)

Énergie et pertes (50 → 60 TWh) :

corrélé à la demande d'électricité

Industrie (115 → 180 TWh) :

électrification et croissance de la valeur ajoutée

Transports (15 → 100 TWh) :

fin des ventes des véhicules thermiques en 2040 : en 2050, 94% des véhicules légers et 21% de camions sont électriques

Tertiaire (130 → 110 TWh) :

croissance de la consommation des data centers (~x3), compensée par l'amélioration de l'efficacité énergétique dans d'autres usages

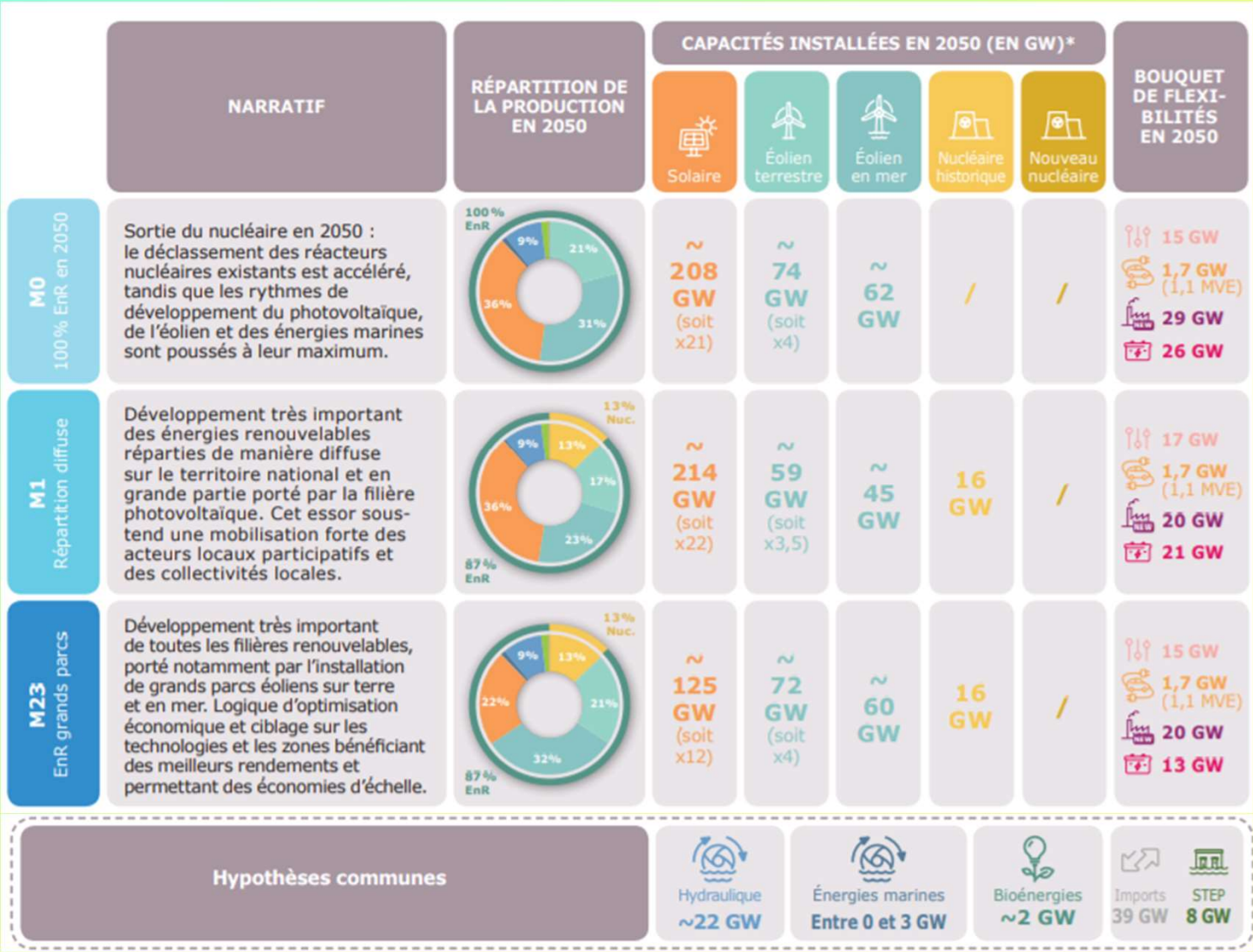
Résidentiel (160 → 135 TWh) :

développement du chauffage électrique par pompes à chaleur, compensé par la rénovation des bâtiments et des équipements électriques plus efficaces



Futurs Énergétiques 2050

LES 3 SCÉNARIOS DE MIX DE PRODUCTION sans nouveau nucléaire



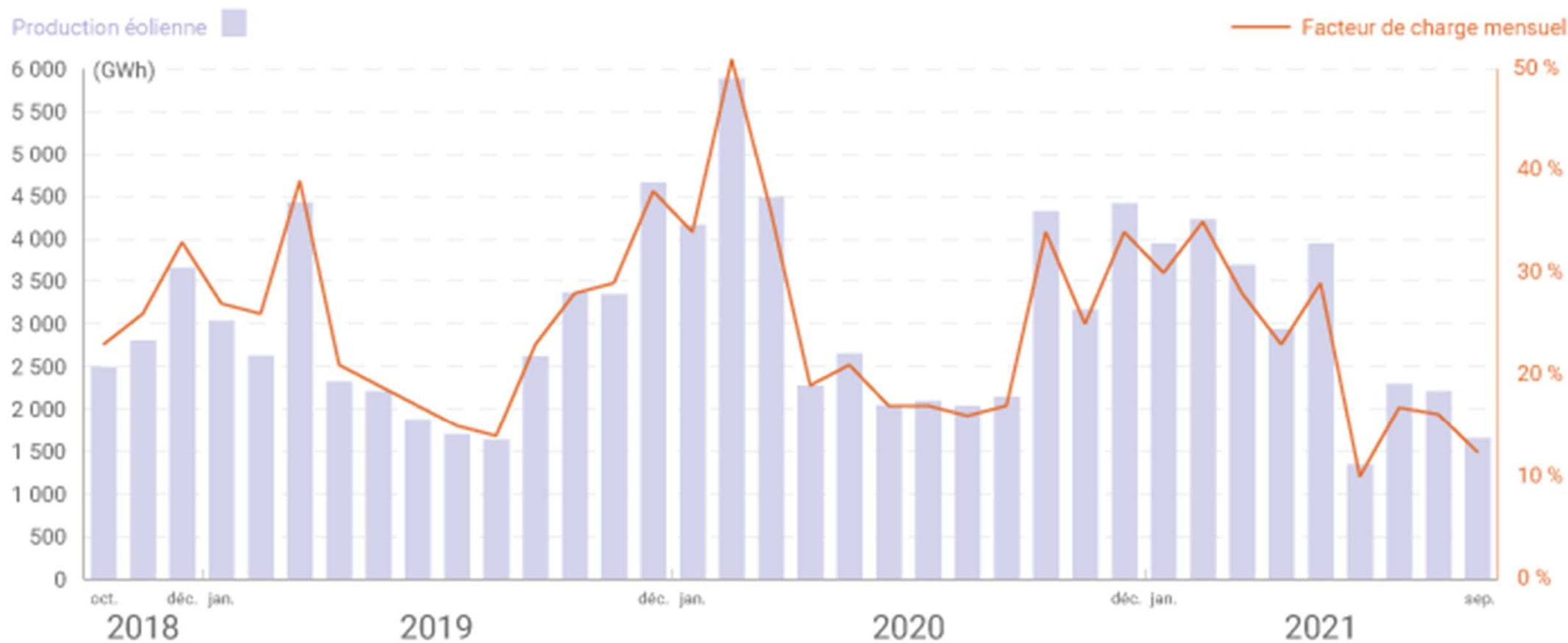
Flexibilités de la demande (hors V2G)

Véhicule-to-grid

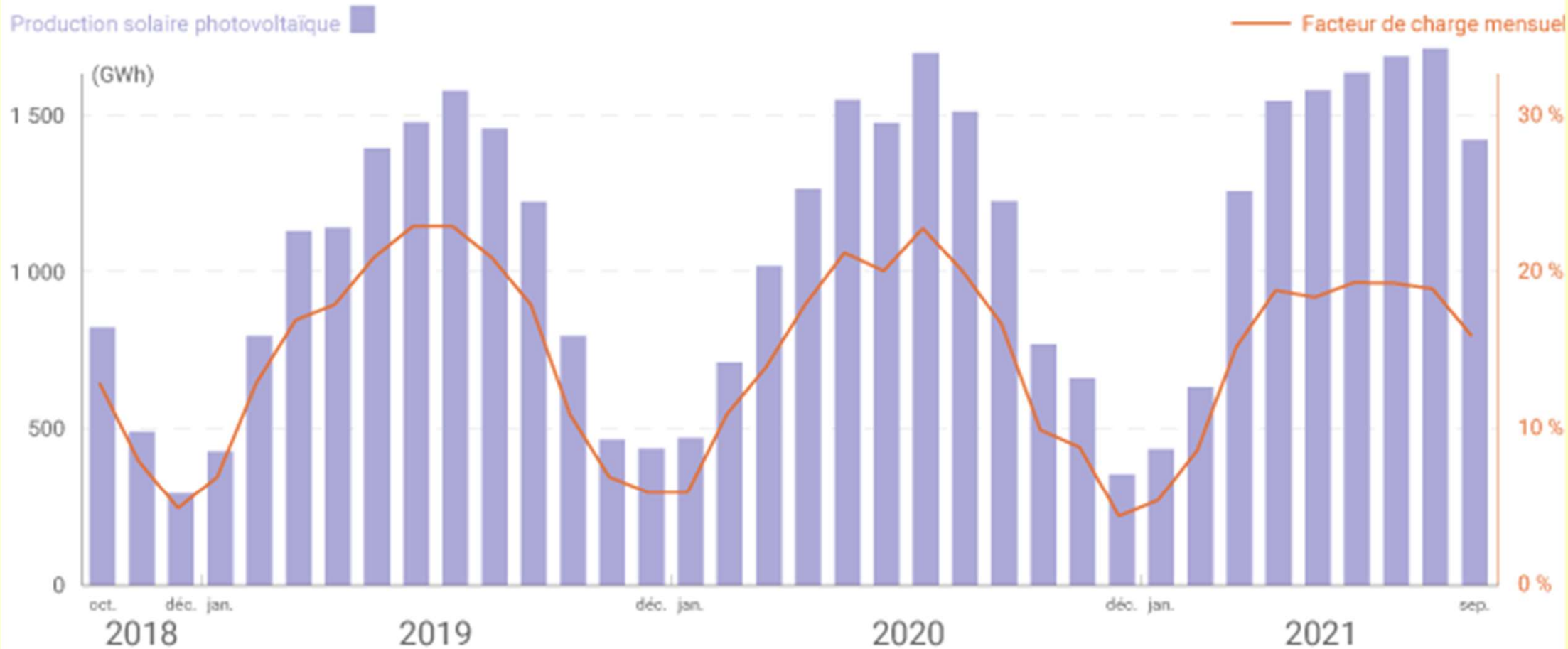
Nouveau thermique décarboné

Batteries

Éolien Évolution de la production d'électricité et du facteur de charge moyen de la filière par mois en France métropolitaine



Solaire photovoltaïque Évolution de la production d'électricité et du facteur de charge moyen de la filière par mois en France métropolitaine





Futurs Energétiques 2050

LES 3 SCÉNARIOS DE MIX de PRODUCTION avec nouveau nucléaire

Les scénarios nucléaires présentent par ailleurs un avantage économique lorsque l'ensemble des coûts de système sont pris en compte.

Les scénarios mettent en évidence qu'atteindre la neutralité en 2050 sans nucléaire engendrerait des coûts sur la flexibilité. Cela coûterait plus cher sans construire de nouveaux réacteurs

Flexibilités de la demande (hors V2G) Nouveau thermique décarboné
Véhicule-to-grid Batteries

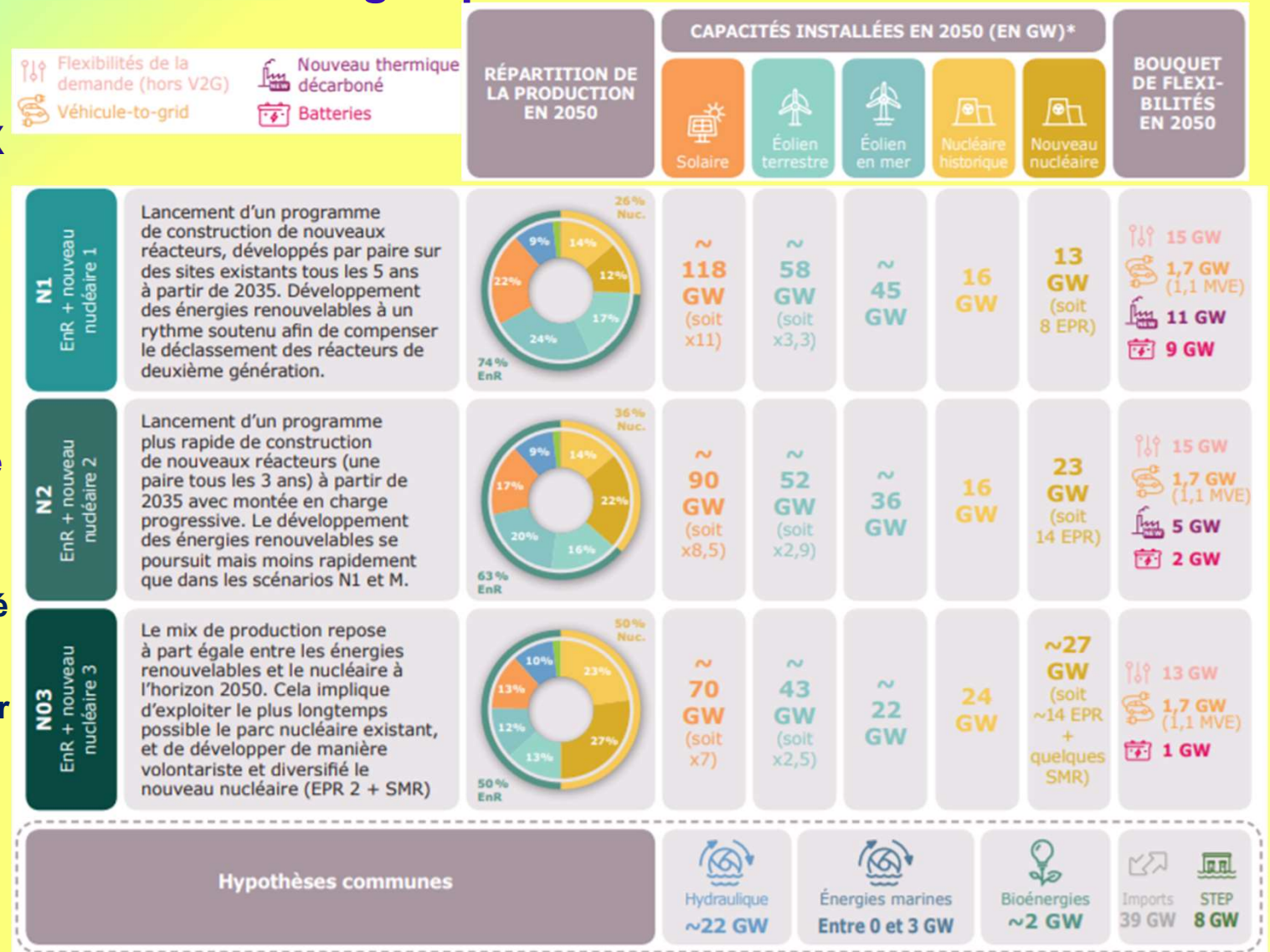
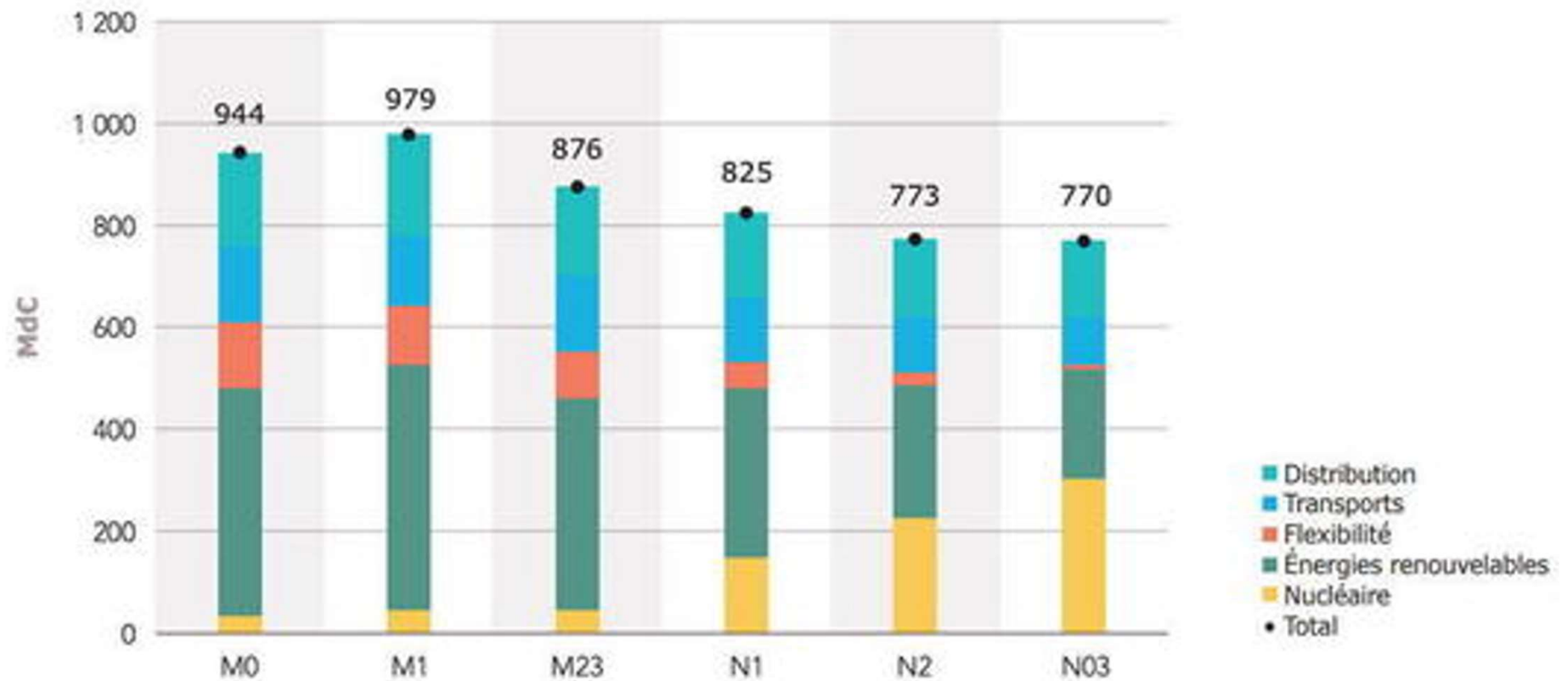


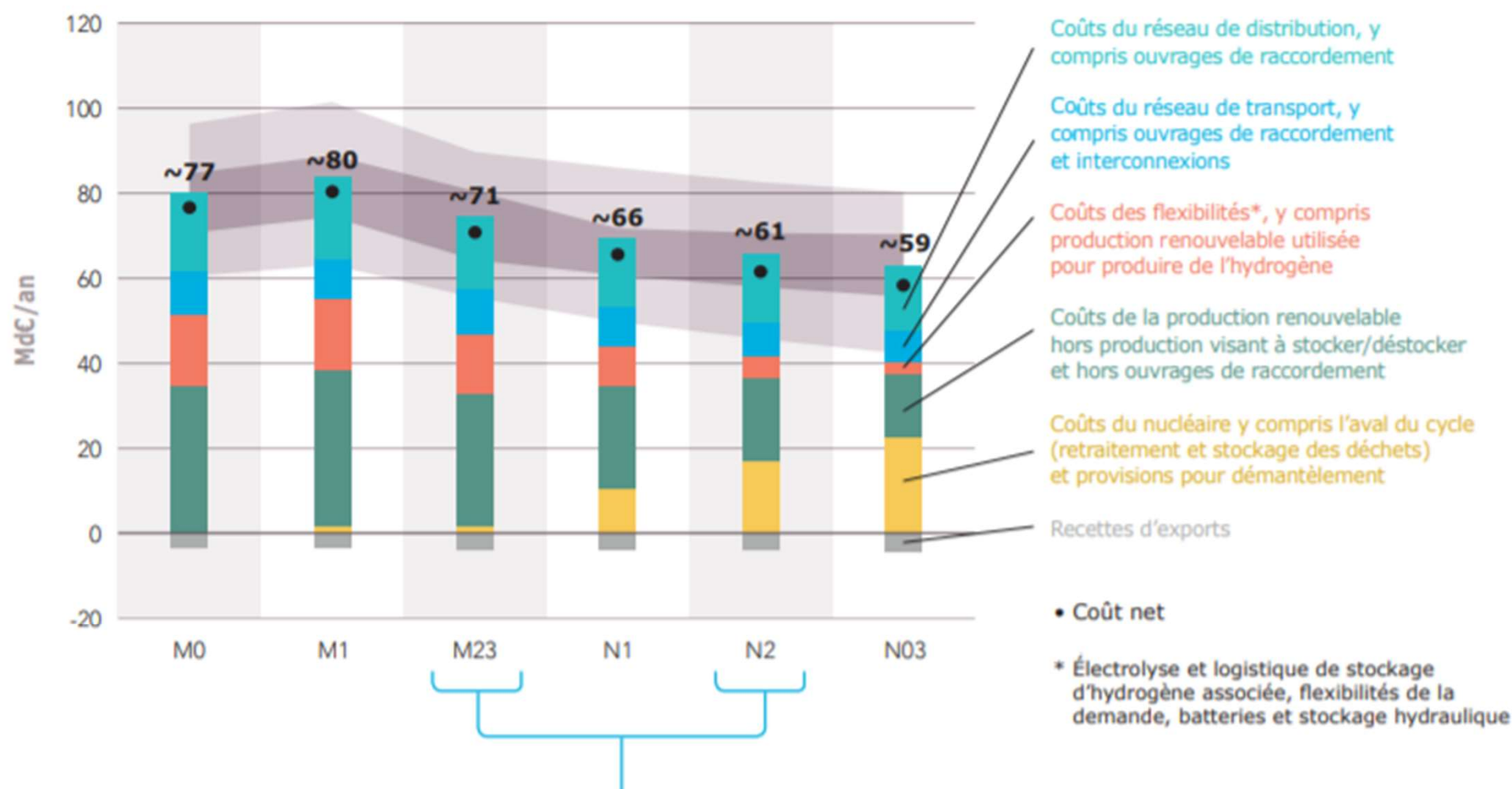
Figure 11.22 Dépenses d'investissement dans le système électrique cumulées sur la période 2020-2060

Sfen



Les énergies renouvelables sont-elles vraiment moins chères que le nucléaire ?

Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060



Évolution de l'écart de coûts complets annualisés entre les scénarios selon les variantes (en MdC/an)

Prérequis technologiques et industriels

		M0	M1	M23	N1	N2	N03
Paris liés au développement des énergies renouvelables	Accélérer fortement les rythmes de déploiement des EnR terrestres	Fort	Fort	Fort	Moyen	Faible	Faible
	Développer et raccorder de nouvelles énergies marines (éolien flottant...)	Fort	Moyen	Fort	Moyen	Faible	Faible
	● Compenser la variabilité des EnR par des moyens de flexibilités adaptés	Fort	Fort	Fort	Fort	Faible	Faible
	● Reconfigurer les réseaux (transport, distribution)	Fort	Fort	Moyen	Moyen	Faible	Faible
	● Assurer la stabilité du système électrique	Fort	Moyen	Moyen	Moyen	Fort	Fort
	● Faire évoluer les réserves opérationnelles	Fort	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Faible
Paris liés à la filière nucléaire	Prolonger certains réacteurs actuels jusqu'à 60 ans	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Fort	Fort
	Prolonger certains réacteurs existants au-delà de 60 ans	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Fort
	Mettre en service un grand nombre de nouveaux réacteurs entre 2035 et 2050	Nul	Nul	Nul	Moyen	Fort	Fort
	Installer plusieurs gigawatts de petits réacteurs nucléaires	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Fort

Incertitudes associées :

- Fort
- Moyen
- Faible
- Nul

● Enjeu décrit dans le rapport RTE-AIE, publié en janvier 2021, « Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050 »

Avec quels moyens...?

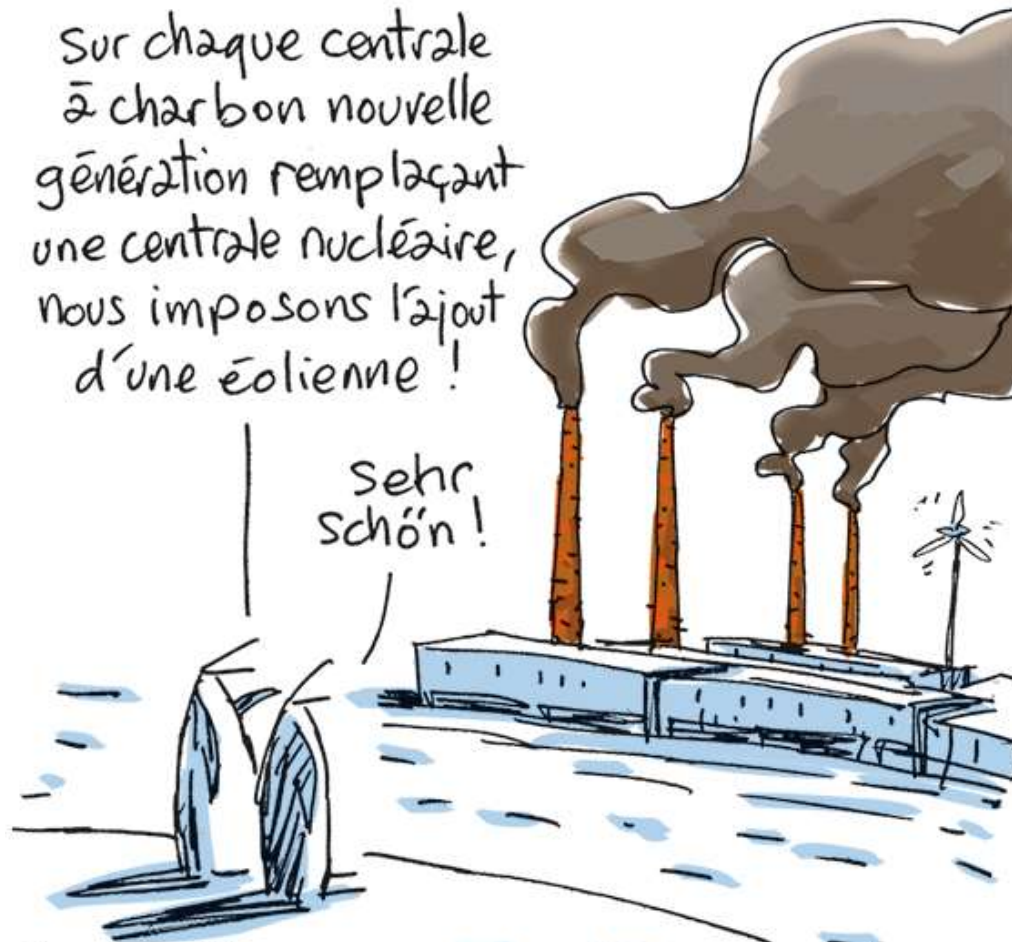
Vous avez votre
passeport sanitaire
d'humour?



Kavir Gonce-

Sur chaque centrale
à charbon nouvelle
génération remplaçant
une centrale nucléaire,
nous imposons l'ajout
d'une éolienne !

Sehr
Schön!



Kavir Gonce



Perspectives futures des EPR (European Pressurized Reactor)

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) établie par l'Etat en 2018 prévoit de ramener la part du nucléaire de 70% à 50% dans le mix électrique français, à l'horizon 2035. Selon EDF, cela nécessite de lancer dès 2022 la construction de **6 réacteurs EPR2**.

Le rapport de RTE « Futurs énergétiques 2050 » d'octobre 2021, présente un scénario nécessitant **14 EPR2**, avec en complément des SMR, tout en prolongeant le parc existant jusqu'à 60 ans (remettant en cause la fermeture anticipée de 12 réacteurs prévue dans la PPE).

La Cour des Comptes en novembre 2021 estime qu'il faut construire **25 à 30 réacteurs EPR2**.

Un projet d'EPR crée 8 350 emplois pendant la phase d'études puis de construction (emplois directs, indirects et induits, en moyenne).

Un projet d'EPR crée également des emplois sur le long terme : **la phase d'exploitation comprend 1 600 emplois** pérennes, qualifiés et non délocalisables



Perspectives Futures pour l'éolien et le photovoltaïque

Eoliennes :

Terrestres $\simeq$ 9000 au 30/9/2021 = 18,4 GW installés (76%/objectif 2023)

En Mer posées : fin 2021 pour 0 GW installé, en 2035 18 GW seront mis en service avec beaucoup de retard! 3 GW ont été attribués en 2021, 0 GW en 2021

En Mer flottantes en Méditerranée (fonds océaniques plongeant rapidement au-delà de 60m de profondeur) : 3 projets de fermes pilotes éoliennes flottantes de prévus puis mise en service de 3 GW à horizon 2030, 0 GW en 2021

Solaire Photovoltaïque : parc raccordé au 30/9/2021, 500 000 installations pour 12,3 GW : rappel des objectifs prévus par la PPE de 20 GW en 2023 (66%) et objectif de 35 GW en 2028 (option basse) à 44 GW en 2028 (option haute).

Eolien + Solaire : puissance installée fin 2021 30,7 GW (6% de production 2021) pour 36% de l'objectif bas inscrit dans la PPE de 85 GW (à 94GW max) en 2028

Au 3/1/2022 le parc éolien tourne à 7% de sa puissance maximale depuis 15 jours (conditions anticycloniques standards en hiver)



Hydroélectricité et Biomasse

L'HYDRAULIQUE EN FRANCE

En France, l'hydroélectricité est la 2e source de production d'électricité et la 1ère source à partir des énergies renouvelables avec une **capacité installée de 25,5 GW en 2021...** On dénombre environ **2 300 installations hydroélectriques en métropole dont 447 barrages**, de tailles et de puissances très diverses, dont 433 sont exploitées par EDF et C.N.R. (STEP heures de pointe)

En 2019, la **production française d'électricité d'origine hydraulique** représentait un total de **60 TWh** en 2019 soit Soit 11% de la consommation française
4 régions se partagent plus de 90 % de la production d'électricité d'origine hydraulique : Auvergne Rhône-Alpes (45%), Occitanie (16 %), PACA (15 %) et Grand Est (14 %).

La BIOMASSE EN France (principalement injection dans les réseaux de gaz)

L'électricité d'origine biomasse est surtout produite localement, le plus souvent en cas de besoins simultanés et sur une même zone de chauffage et de courant électrique.

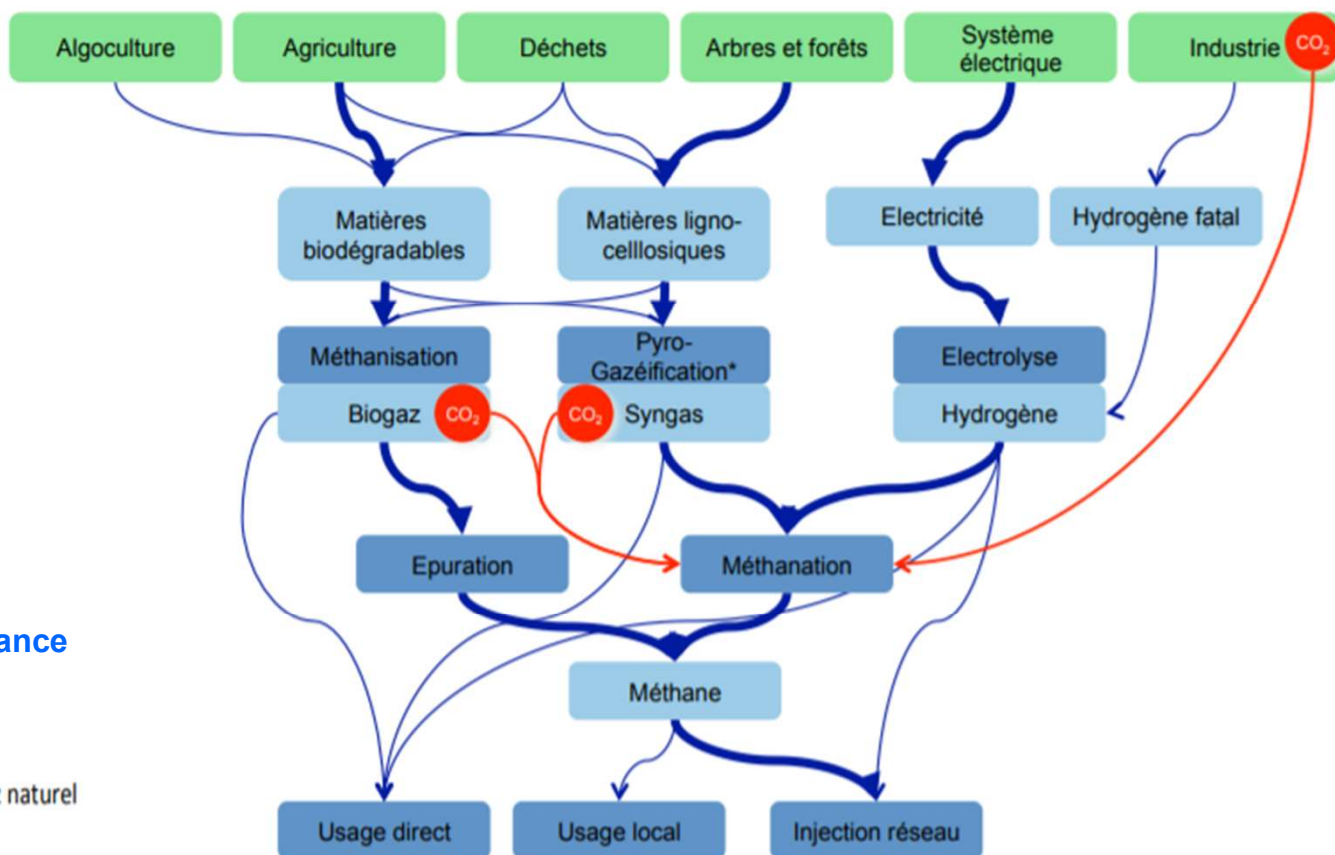
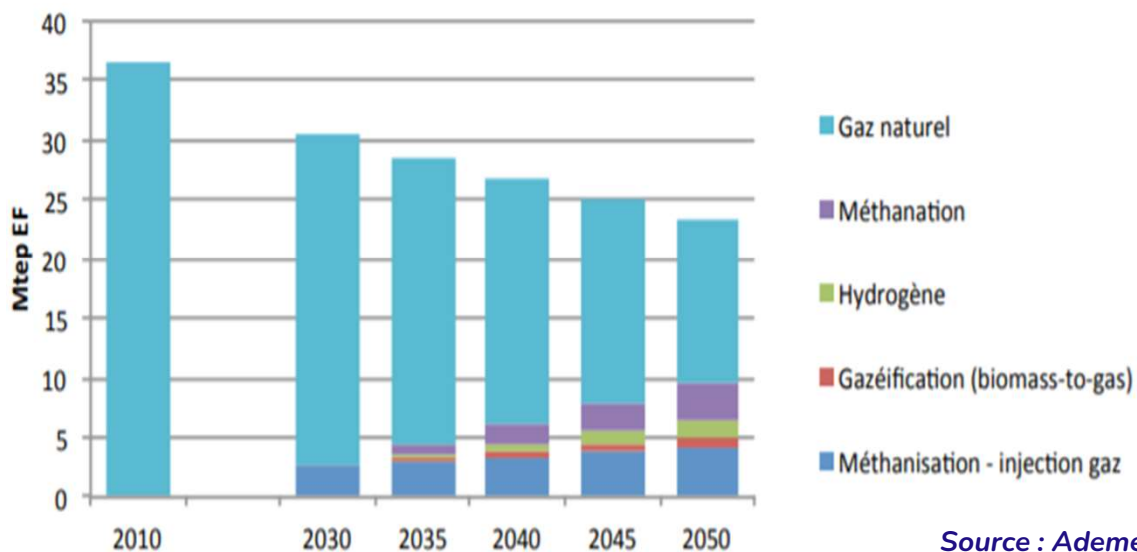
Les bioénergies se divisent en 4 catégories : les déchets ménagers, les déchets de papèterie, le biogaz et le bois-énergie et autres composants solides. **Elle représentait 2 GW en 2019,**



Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050?

Etude ADEME 2018

Evolution du mix énergétique du réseau de gaz en France



Les différentes voies de production de gaz renouvelables

Méthanation (réaction de Sabatier) selon laquelle les molécules d'**hydrogène** (H₂) et de dioxyde de carbone (CO₂) réagissent en présence de catalyseurs pour former du méthane (CH₄) et de l'eau (H₂O).

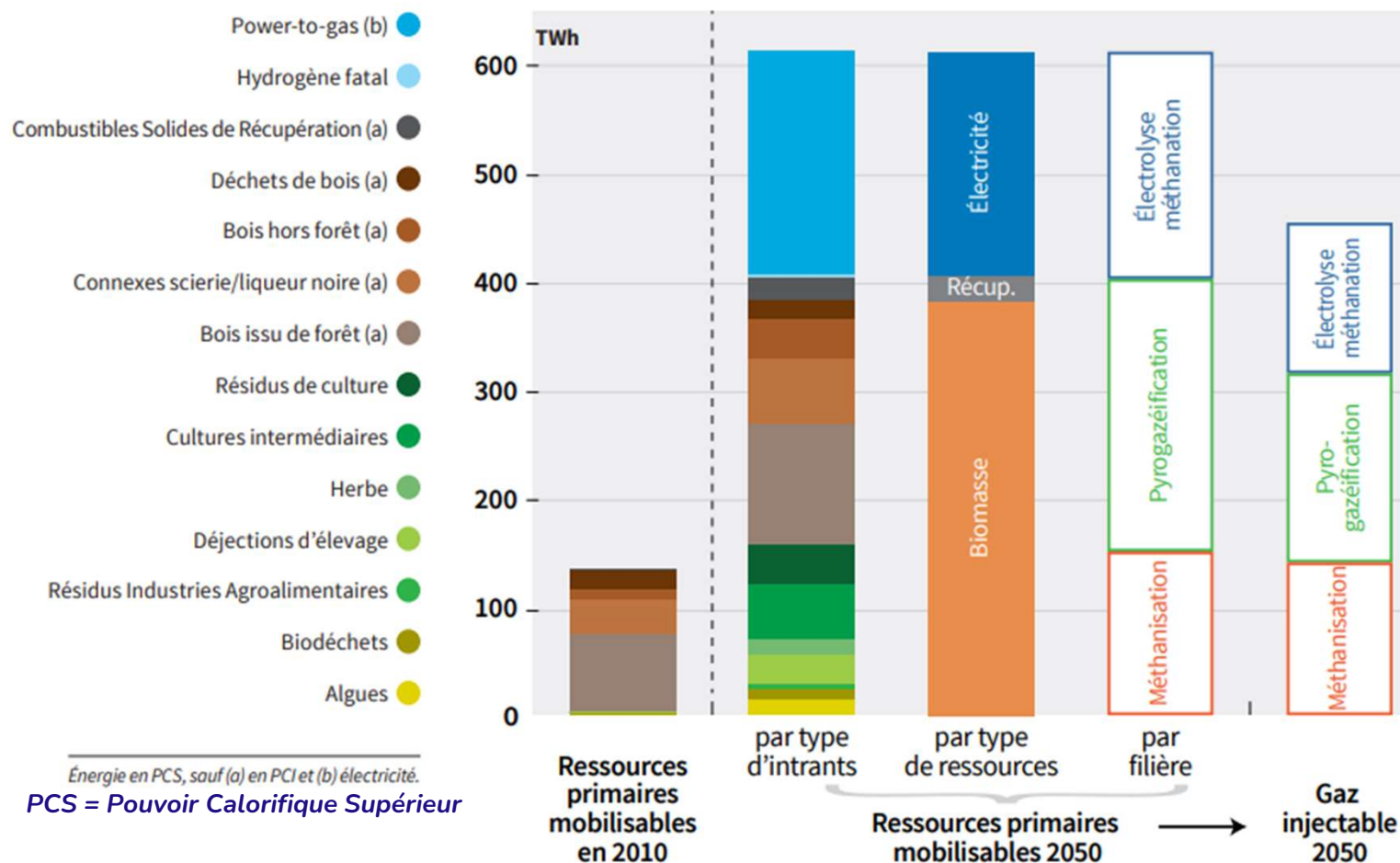
Avantages : le CO₂ (gaz à effet de serre) est ainsi valorisé et H₂O est recyclé vers l'électrolyseur.

DISPONIBILITÉ EN RESSOURCES ET PRODUCTION POTENTIELLE

Le potentiel total de ressources primaires renouvelables susceptibles de produire du gaz s'élève à environ 620 TWh.

Le potentiel théorique de ressources primaires identifié pourrait produire jusqu'à 460 TWhPCS de gaz renouvelable injectable :

- 30 % par la filière mature de méthanisation,
- 40 % fournis par pyrogazéification du bois,
- 30% pourraient être fournis par le « power to-gas » avec la production de gaz de synthèse



L'énergie fatale désigne la quantité d'énergie perdue, car non récupérée ou valorisée, lors d'un processus de production d'énergie dont elle n'est pas l'objet premier.

Source : Ademe



Réacteurs génération IV, autres, SMR et ITER,

- ▶ **Génération IV** : à moyen terme, les réacteurs de 4e génération ont vocation à succéder aux réacteurs actuels REP en fonctionnement. Encore au stade de la recherche ou du prototype industriel au sein des plus grands pays nucléaires, ces « réacteurs du futur » permettront d'optimiser la valorisation des ressources d'uranium et les déchets HA. (~ 2035 – 2100) : le réacteur à neutrons rapides à caloporteur gaz (RNR-G) ou à caloporteur sodium (RNR-Na) (Superphénix) ou à caloporteur alliage de plomb (RNR-Pb)
- ▶ **Les autres réacteurs à l'étude sont** : (20 années nécessaires de recherche pour la conception d'un réacteur nucléaire, avant même sa construction) : **le réacteur à très haute température, refroidi à l'hélium (RTHT)**, **le réacteur à eau supercritique (RESC)**, **le réacteur à sels fondus (MSR : Molten Salt Reactor ... à ne pas confondre avec les SMR)**.
- ▶ **La relance subite des petits réacteurs modulaires « SMR »**, Small Modular Reactor,* : **ils ne seront pas opérationnels que vers 2035....** (*remplacement des centrales à charbon et au gaz*)
- ▶ **La fusion avec en ligne de mire le projet international ITER, prévue vers 2100, permet d'affirmer que le nucléaire ne sera pas une énergie de transition mais une énergie bien pérenne.** ITER (*ou « Chemin » en latin*) pour International Thermonuclear Experimental Reactor



Conclusions...

Une consultation publique nationale a été lancée par le Ministère de la Transition écologique sur la "**future Stratégie française sur l'énergie et le climat**", du 2/11/21 au 15/02/2022, consultation accessible par l'URL : <https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr>

Les décisions à prendre devraient répondre aussi aux objectifs suivants :

- Avoir une filière française solaire et éolien complète (production des matériels, installation, réutilisation, recyclage).
- Privilégier les sites de production existants pour renouveler les outils.
- Surveiller l'acceptabilité sociétale et sociale : le débat citoyen fonctionne très bien sur l'énergie, l'échange favorisera un glissement du consommateur individuel vers le « **citoyen responsable** »
- Viser l'objectif « d'indépendance et de suprématie énergétique de la France dans L'Europe »

Conclusions...fin

Quel que soit le scénario choisi, il y a urgence à se mobiliser

Suite au rapport de RTE sur les scénarios électriques, la Cour des comptes a publié le 13/12/2021 ses observations sur les coûts du système électrique :

« La connaissance des coûts de production de l'électricité est indispensable au décideur public dès qu'il s'agit d'éclairer les choix futurs, pour déterminer la part que chacune des filières devraient prendre dans la production électrique française dans les 30 prochaines années. »

Aucune solution prise ne sera idéale : il faudra innover pour rendre possible la montée des énergies renouvelables, attendre l'arrivée du stockage massif et individuel « bas carbone » et continuer à rendre le nucléaire encore plus sûr!

La France a pris la présidence de l'Union Européenne le premier janvier 2022 . 80% des règles environnementales applicable aux entreprises aux exploitants agricoles sont d'origine européenne.

Une chose certaine pour cette année 2022 est que ce ne sera pas le calme plat.



**Merci de votre
attention**

*Prenez soin
de vous!*

Des questions?