An impressionist painting of a landscape. In the foreground, there are dense green trees and bushes. In the middle ground, a white house with a red roof is visible, partially obscured by the foliage. The background shows a bright, hazy sky. The overall style is characteristic of Impressionism, with visible brushstrokes and a focus on light and color.

PRÉSENTATION DU 07/10/2022 - Louveciennes

La transition énergétique :

Faits et Chiffres pour bien en comprendre les contours

Fête de la science à Louveciennes & Marly le Roi

Christophe Béguinet

Conseiller Energie de Confrontations Europe
Chargé d'enseignement à l'Université d'Economie de Montpellier



L'énergie, l'enjeu essentiel de la transition écologique

La préservation de la planète est un enjeu indiscutable et qu'il est urgent de traiter avec force

Ce qui est à l'origine des tensions environnementales que nous connaissons aujourd'hui... c'est L'ENERGIE

Il nous faut donc à minima faire que nos besoins en énergie n'impactent plus ou quasiment plus notre environnement.



Et au début de tout, le dérèglement climatique

Question – sciences du climat

En quelle année le prix Nobel de chimie, Svante Arrhenius, a-t-il **calculé** que le doublement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère provoquerait un **réchauffement** climatique de 4°C ?

Et au début de tout, le dérèglement climatique

Réponse

« Le doublement du pourcentage de dioxyde de carbone dans l'air augmenterait la température mondiale de la surface de la terre de 4°C »

Svante Arrhenius, « *De l'influence de l'acide carbonique dans l'air sur la température au sol* », Avril 1896.

« Le doublement du pourcentage de dioxyde de carbone dans l'air augmenterait la température mondiale de la surface de la terre de 4°C »

Svante Arrhenius, « *De l'influence de l'acide carbonique dans l'air sur la température au sol* », Avril 1896.

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS*.

I. *Introduction: Observations of Langley on Atmospherical Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall† in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hothouse, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to -200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

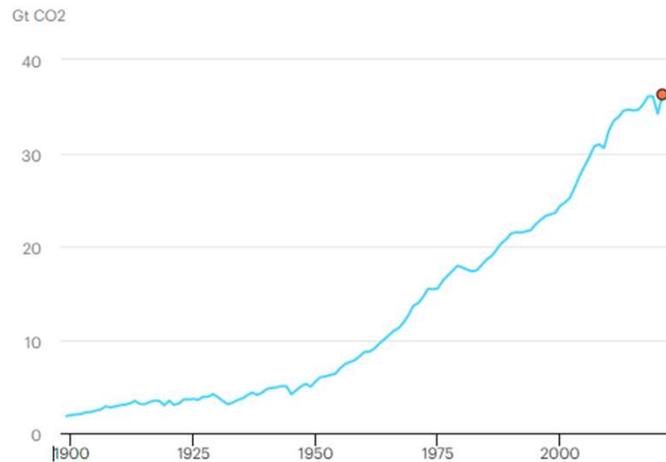
† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (London, 1855).

‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

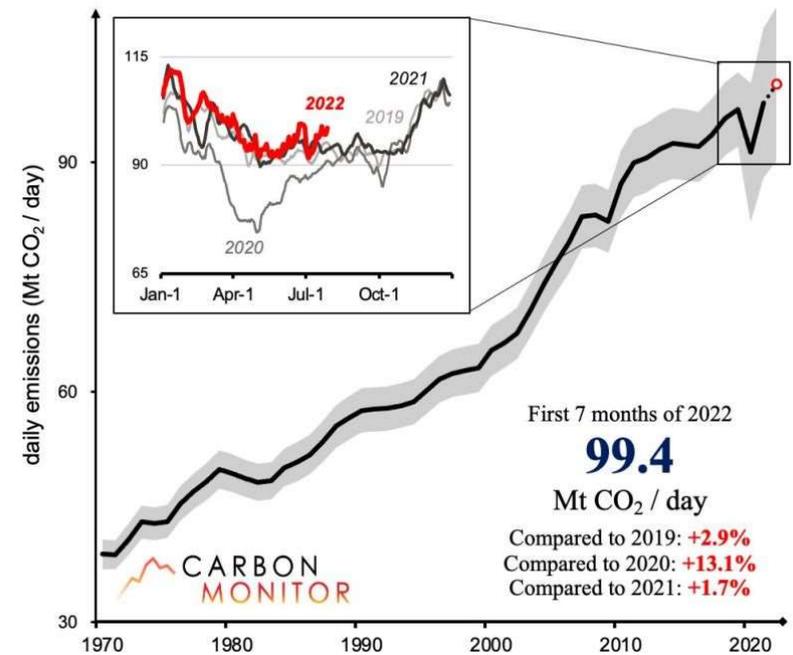
§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).

Cette transition énergétique est engagée... et tout est encore à faire

CO2 emissions
La réduction des émissions de CO2, un programme
avant d'être une réalité



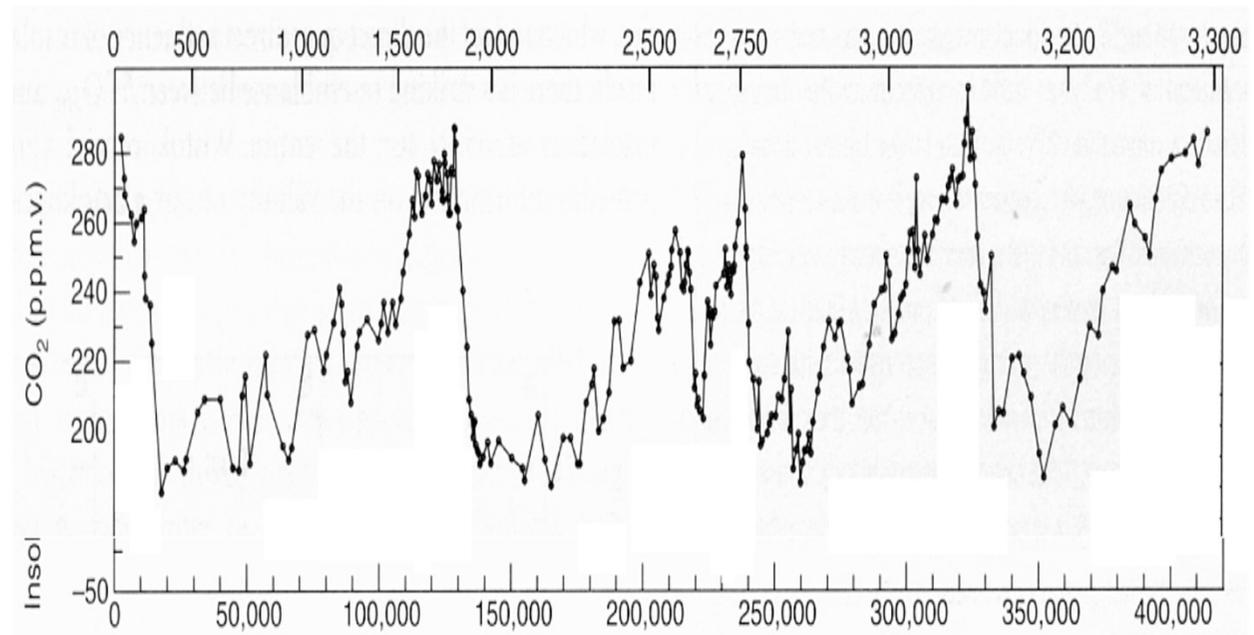
IEA. All Rights Reserved



Cette transition énergétique est engagée... et tout est encore à faire

Emissions de CO₂ et température...
plus vraiment de doutes.

L'inertie de l'effet de serre induit
par le CO₂ est de l'ordre du siècle

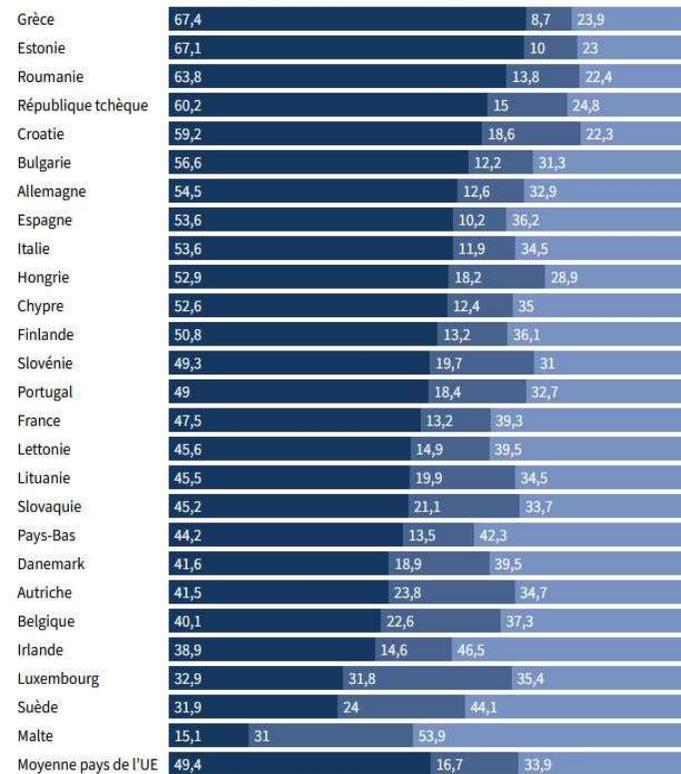


Mais où en est la France précisément

Origine de l'empreinte carbone des pays de l'UE, en 2018

En %.

■ Part intérieure ■ Part intérieure de l'UE ■ Part importée du reste du monde



La moyenne des pays de l'UE correspond à une moyenne simple des parts des 27 pays de l'UE. En 2018, 47,5 % de l'empreinte carbone de la France a été émise sur son territoire, 13,2 % dans le reste de l'UE, et 39,3 % dans le reste du monde.

Source: base TIES ICIO de l'OCDE, données d'émissions d'Exiobase 3 et de l'OCDE, calculs Insee.

Notre impact ne s'arrête pas à ce qui se passe en France.

Nous avons un impact plus large au travers de ce que nous achetons, ce que nous consommons.

C'est l'empreinte carbone et notre performance n'est pas brillante.

ZOOM sur le numérique

4% des émissions de CO2 pour la France, 3 % pour le monde (8% en 2025)
-> 60% par le Streaming

2022 le double de l'aviation civile
2035 identique au secteur automobile

12% de la consommation électrique en France (56 TWh)

L'enfer du numérique : Guillaume Pitron
Déployer la sobriété numérique : Shift Project

Mais où en est la France précisément

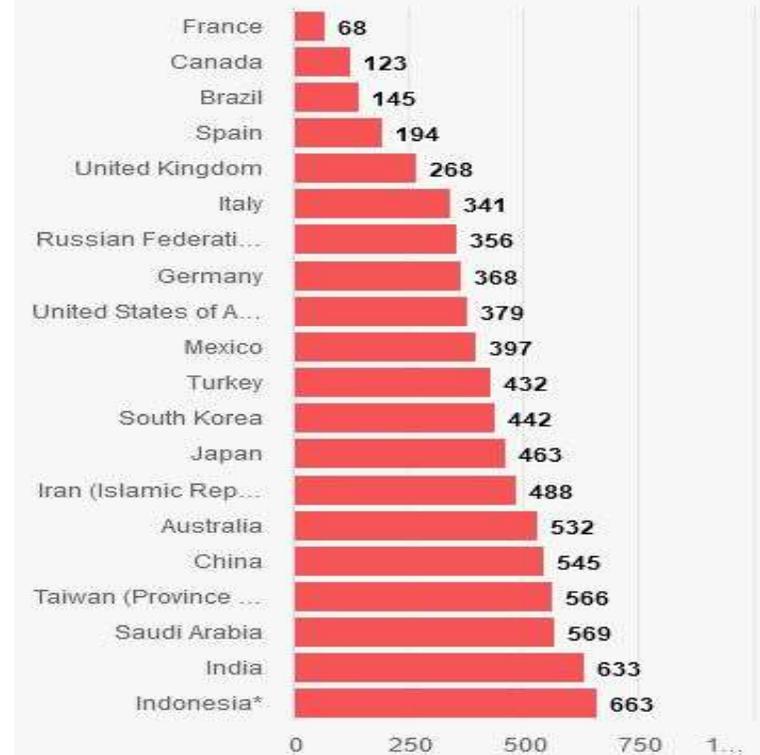
Si l'on regarde l'énergie que nous produisons, l'énergie finale électrique, la France est remarquablement placée.

L'énergie électrique est l'énergie de demain, la France est donc en avance sur la décarbonation de l'économie.

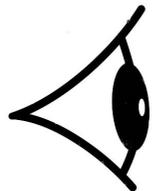
L'exemple de la voiture électrique en Allemagne et en Pologne est éloquent.

Carbon intensity ranking

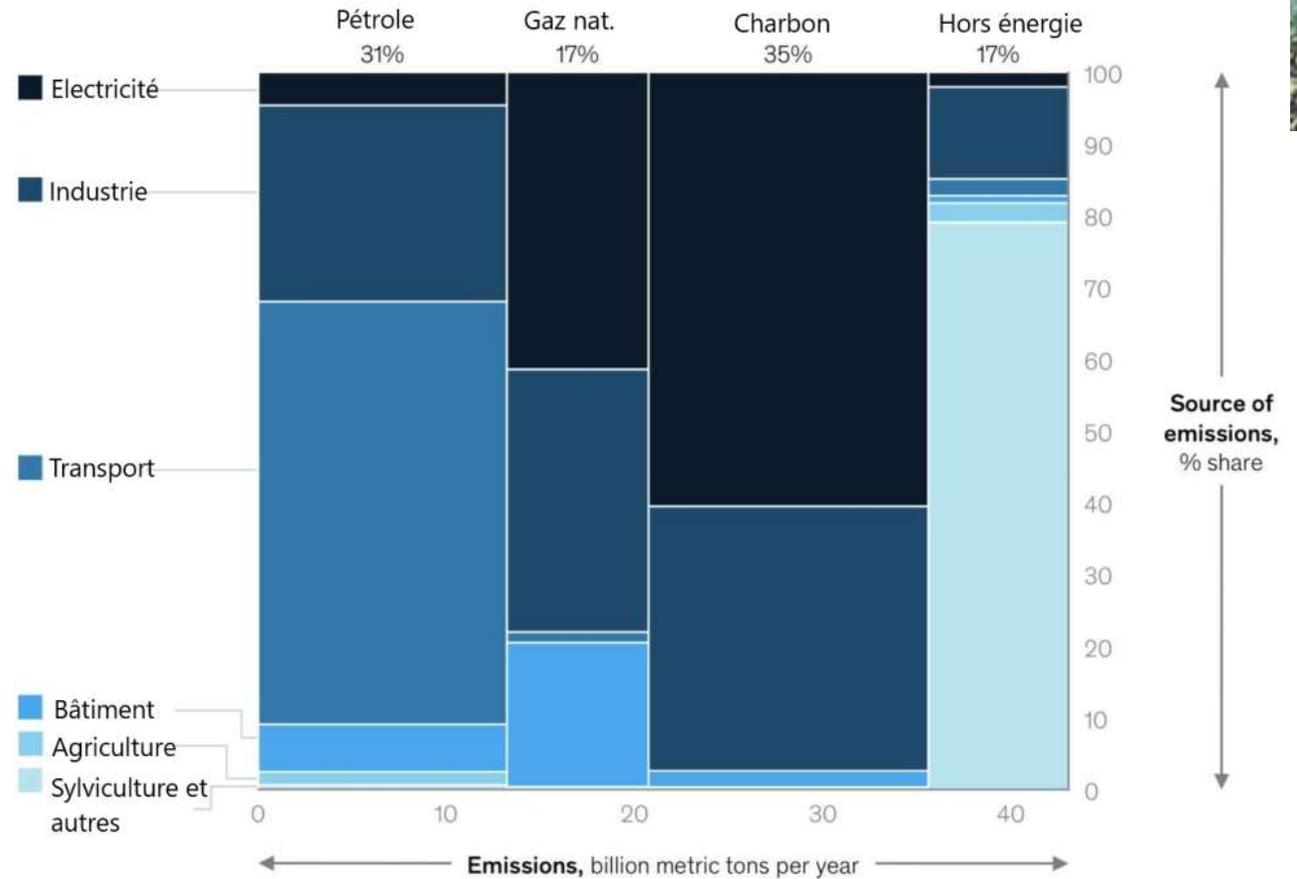
Emissions intensity of electricity production in 2021, *else 2020 (gCO₂eq/KWh)



Une synthèse

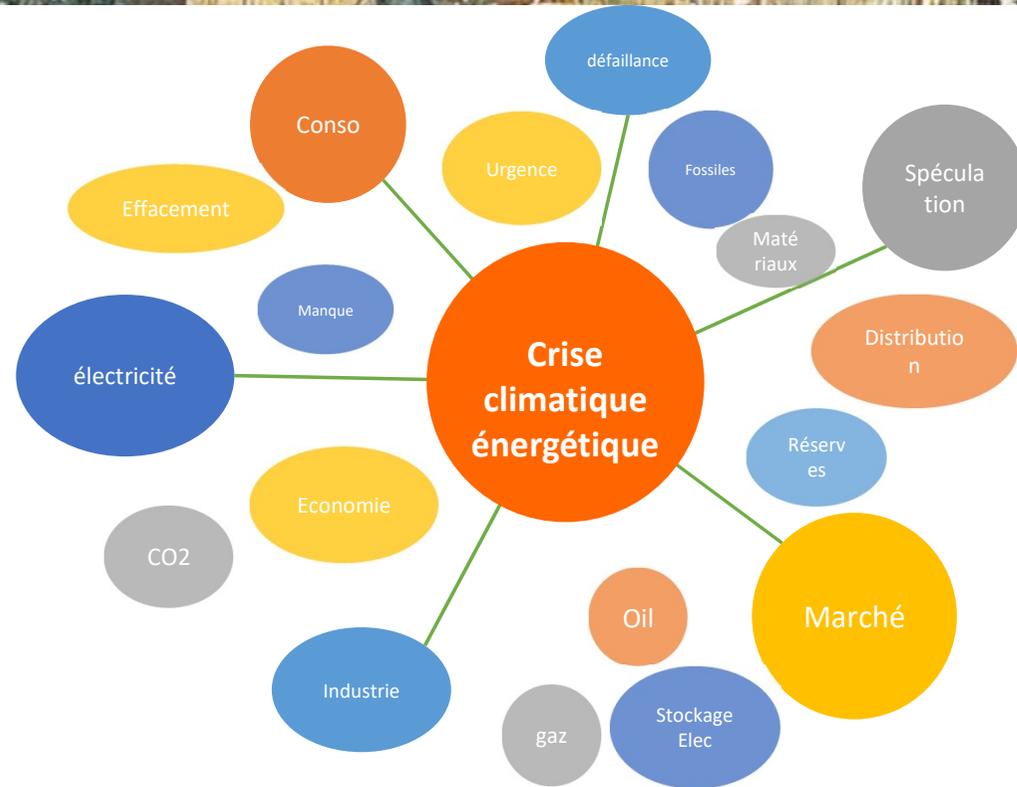
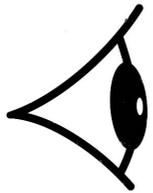


Les émissions de CO2 issues de l'énergie - 2019
Par source d'énergie et par usages

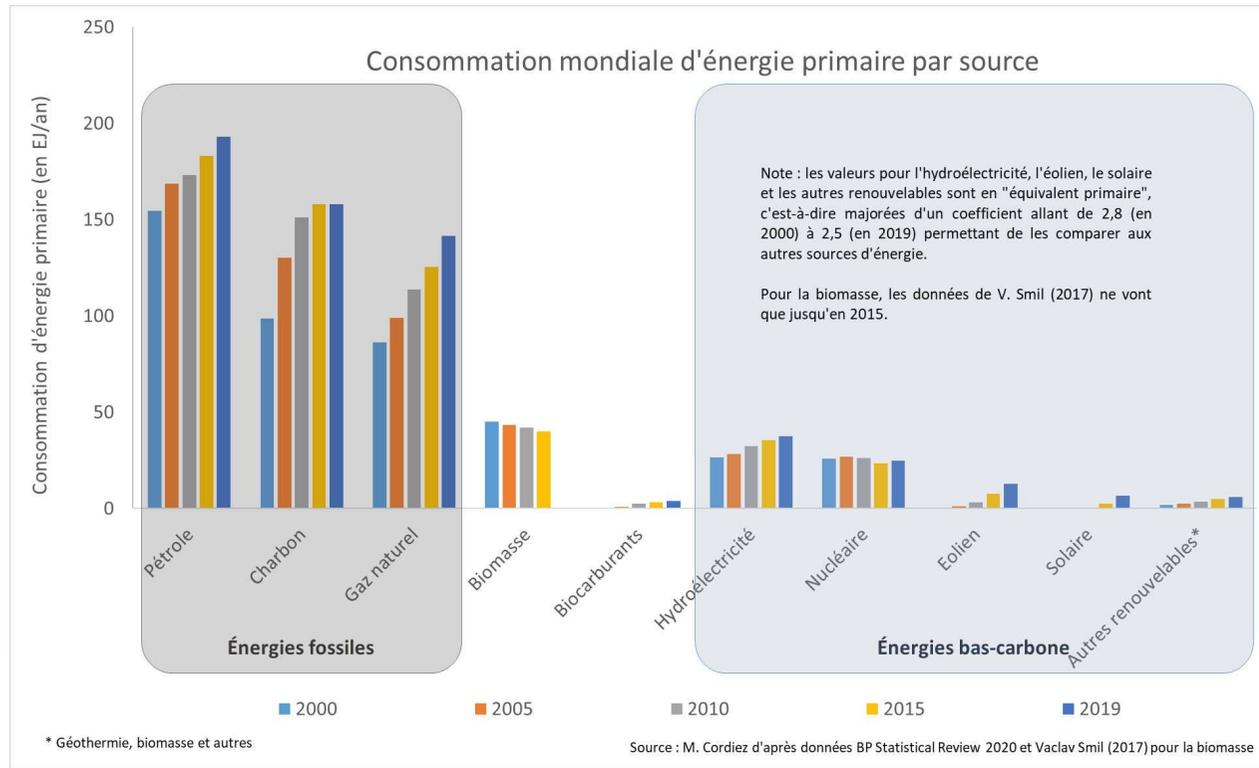
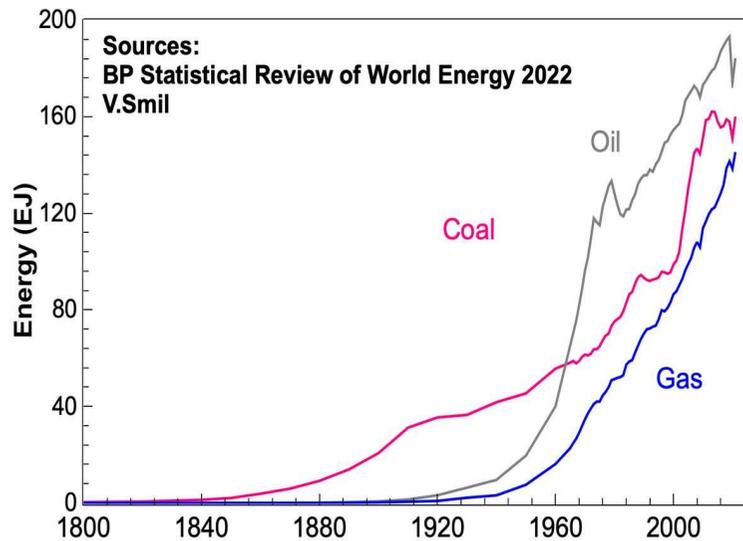
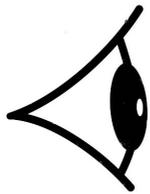


Source: EMIT database by McKinsey Sustainability Insights (September 2021, data for 2019); International Energy Agency; McKinsey Global Energy Perspectives; McKinsey Global Institute analysis

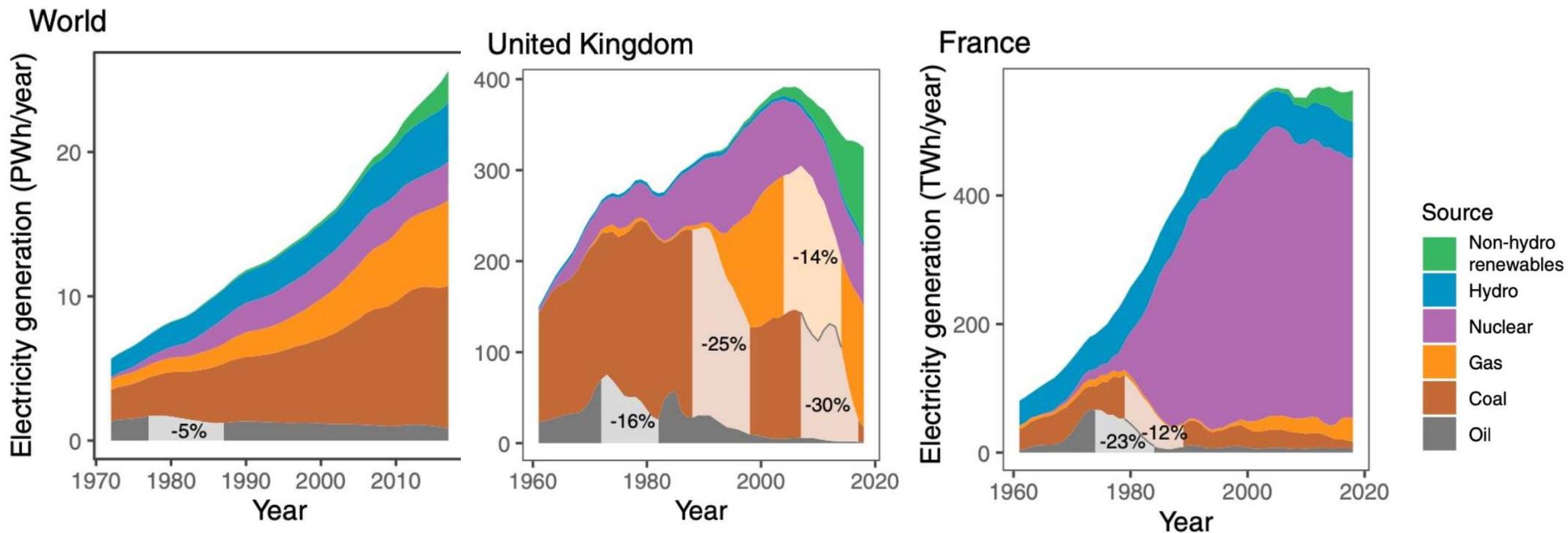
Et comment reboucler avec toutes ces considérations



Cette énergie que nous consommons et qui modifie le climat



Cette énergie que nous consommons





L'énergie, c'est la transformation, le changement.

Avec deux grandes idées à retenir

Rien ne se perd, rien ne se crée... tout se transforme (Antoine Lavoisier)
C'est le principe de la conservation de l'énergie

La transformation n'est pas parfaitement réversible, il y a des pertes

Et il faut intégrer que de tout temps, l'énergie dont l'homme a profité est d'une certaine façon gratuite. Le soleil a été gratuit durant des millénaires, l'eau et le vent l'ont été et les énergies fossiles comme fissiles le sont également. C'est à chaque fois un don de la nature.

L'énergie, c'est quoi ?

L'énergie est un peu comme la prose de monsieur Jourdain, on l'utilise, on la consomme sans vraiment s'en rendre compte et sans vraiment appréhender toute la valeur qu'elle représente.

Vous avez vu ici la production de ... 0,021 kWh.
Pour 1 litre d'essence, il faut 476 Robert Forstemann.

Pour 1 seconde de fonctionnement d'un réacteur nucléaire moyen, il faut 13 227 Robert Forstemann.

Pour chaque français, il nous faut 4500 Robert Forstemann par jour pour répondre à nos besoins en énergies

Et nous ne sommes pas tous des Robert !



Et la puissance ?

La puissance est un peu l'angle mort des approches sur la transition énergétique

1 Robert Forstemann c'est 700 Watt. La centrale de Saint Alban avec 2 réacteurs de 1335 MW, c'est presque 4 millions de Robert Fortsemann.

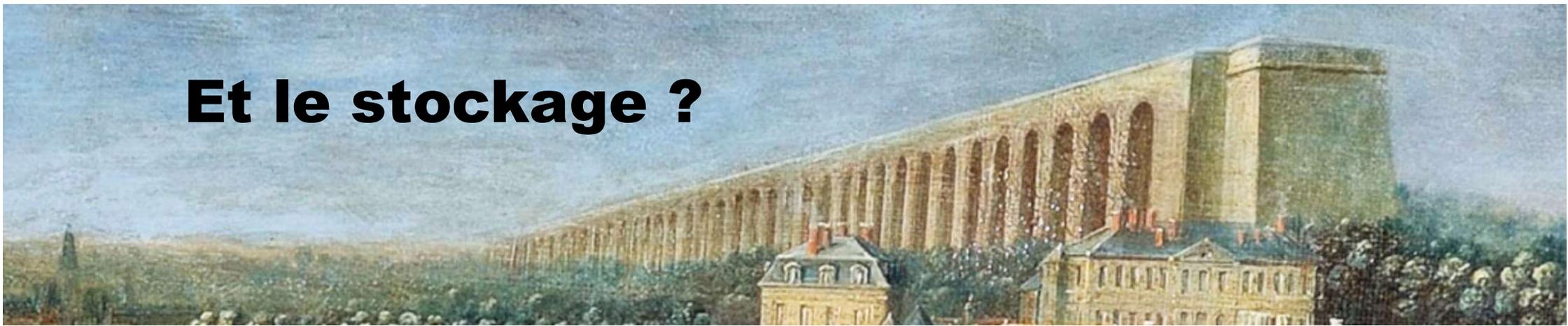
La demande d'électricité en France est très constante, autour de 480 TWh par an (440 pour l'année Covid 2020)

L'appel de puissance l'est beaucoup moins : 102 GW en 2012, 74 GW en 2021

La puissance correspond à la capacité de disposer de l'énergie dont on a besoin, à moment donné, et dans un laps de temps défini.

Les moyens de production photovoltaïque et éolien peuvent poser un problème sur les appels de puissance.

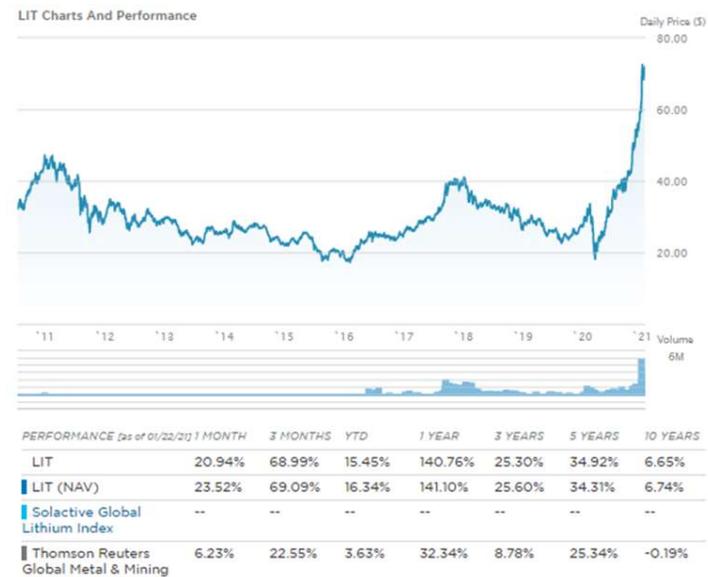
Et le stockage ?



Et le stockage un espoir pas encore à portée de main

1 millions de batterie de voitures électriques récentes (55 kWh) permet d'être alimenté pendant 1 heure.

..... Et c'est 15 milliards €



La trajectoire ...

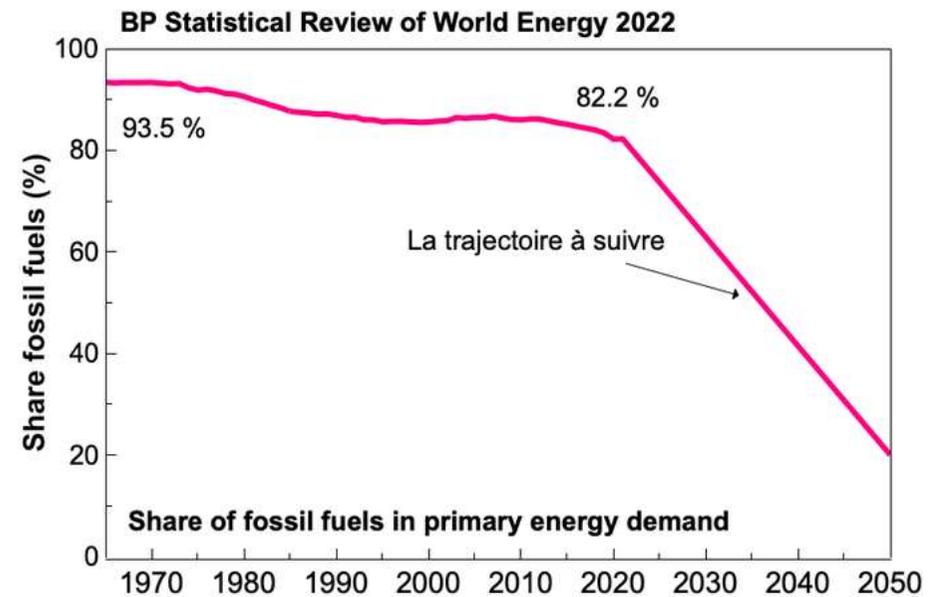
L'année 2020 avec 2 confinements et une adaptation brutale de notre économie

⇒ 5 % de consommation d'électricité consommée en moins

⇒ 10 % de consommation de produits pétroliers consommés en moins

L'exigence d'une neutralité carbone à l'horizon de 2050 impose de passer d'une consommation de 1650 TWh à environ 1000 TWh

⇒ c'est environ onze fois consécutive une année COVID comme 2020 !



Les gestes prioritaires pour aller vers plus de sobriété

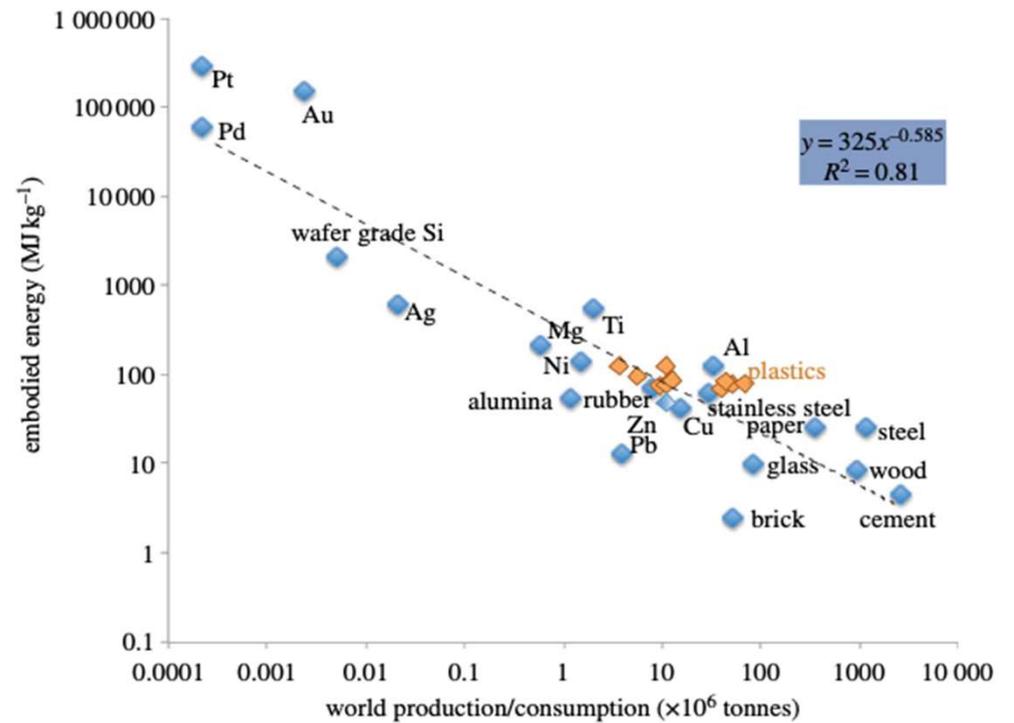
Quelques repères sur les postes de consommation d'énergie et l'ampleur de ce qui est consommé.

C'est le moyen de savoir où et comment être sobre.

	Thème	Consommation	Hypothèse
	Avion – Paris Pékin (A/R) Distance : 16400 Km	< 7500 kWh / passager	Enorme 5l de kérosène / 100 Km
	Avion – Paris Nice (A/R) Distance : 1360 Km	< 623 kWh / passager	Important 5l de kérosène / 100 Km
	Baisse de température de chauffage (gaz) de 1°C (19°C au lieu de 20 °C) Famille Pavillon 5 pièces	700 kWh	Important 10 000 kWh / an à 20°C Gain de 7% par degré.
	Voiture thermique Paris à Nice (A/R) Distance : 1860 Km Vitesse : 130 Km/h	1050 kWh / voiture	Important 6,2 l essence / 100 Km
	Voiture Thermique Paris Lyon (A/R) Distance : 1860 Km Vitesse 110 Km/h	850 kWh / voiture	Important 5 l essence / 100 Km (Baisse de 20 % de la consommation à 110 Km/h)
	Gain lié à la baisse de vitesse	200 kWh / voiture	Important
	TGV Paris – Nice Distance : 1380 Km	83 kWh / passager	Faible 0,06 kWh / passager / Km
	Ampoule LED	< 9 kWh	Très faible Puissance : 10 W Usage : 1 mois
	Box Wifi – 1 mois	< 8 kWh	Très faible 10 W pendant 1 mois
	Chargeur branché	< 1 kWh	Négligeable Chargeur branché et non utilisé pendant 1 mois Puissance consommée : 0,1 W

La contrainte sur la matière et sur les matériaux

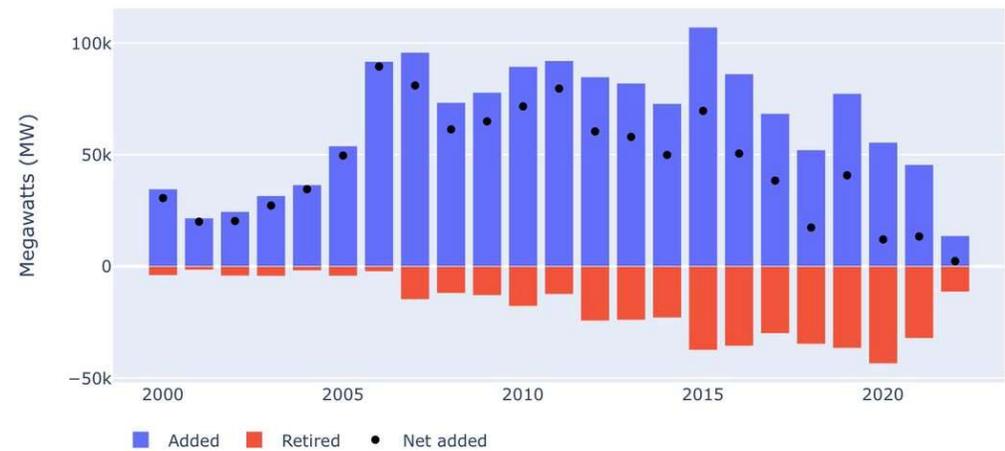
Extraire des métaux, fabriquer du béton, c'est consommer énormément d'énergie



Le développement du charbon

La crise en cours a amené à réduire la fermeture programmée des centrales au charbon ou au lignite mais parfois jusqu'à remettre en route des centrales récemment fermées.

Coal Power Capacity Added or Retired

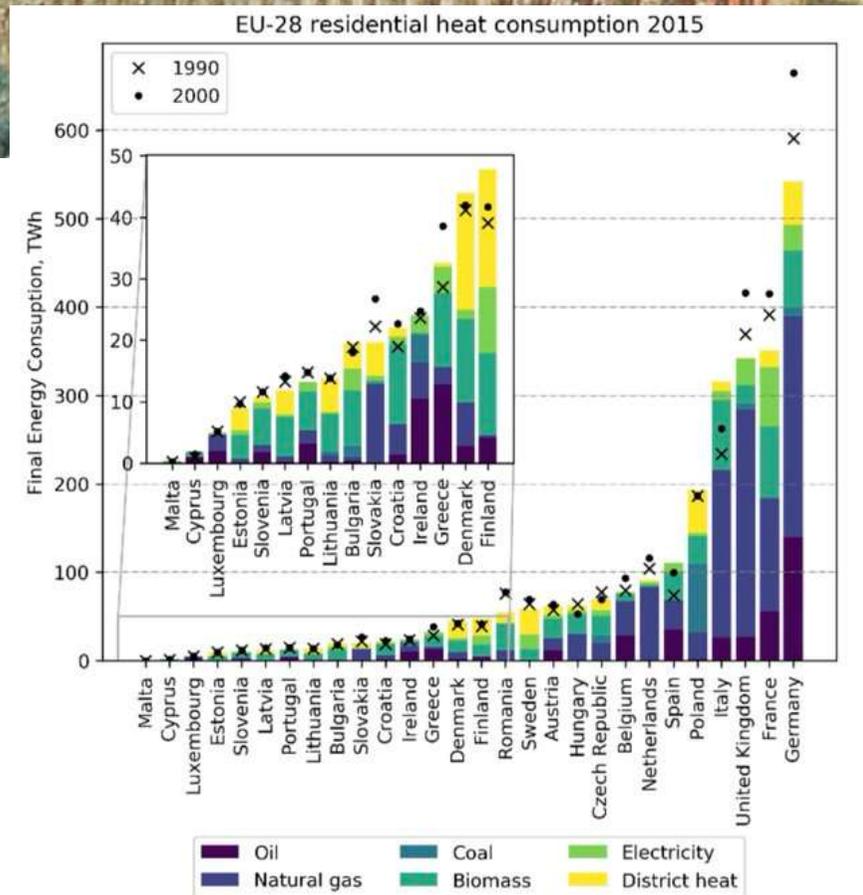


Data from Global Coal Plant Tracker, July 2022 release

Les gestes prioritaires pour aller vers plus de sobriété

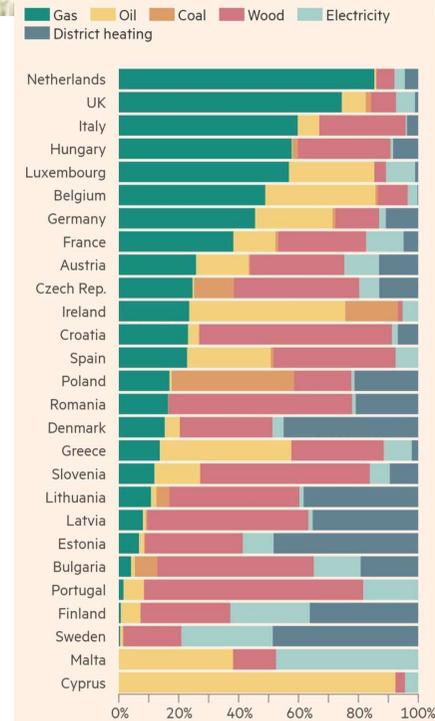
Le chauffage

Cela pose surtout la question de la performance thermique des enveloppes des bâtiments.



The Netherlands and the UK are the most dependent on gas for heating homes

Energy used for residential heating, by source. The EU average for gas is 39 per cent



FINANCIAL TIMES Source: Odyssee-Mure (2019). Data for Slovakia is not available

Les marchés de l'électricité

Une crise majeure, exceptionnelle

Années

Trimestres

Mois

Semaines

J-1

J

Temps réel

A posteriori

Marchés à terme

Marché
spot

Marché
intrajournalier

Marché
d'ajustement
des réserves

Règlement des
écarts

Le fonctionnement contractuel

Les marchés de l'électricité

Une crise majeure, exceptionnelle

- La formation des prix de l'électricité (cas du monopole comme cas du marché de gros)
 - logique dite du « merit order » : on appelle les centrales dans l'ordre des coûts marginaux croissants (ne pas confondre coût marginal et coût moyen)
 - A chaque instant, le prix correspond au coût marginal de fonctionnement de la centrale marginale – hors période d'extrême pointe (« coût de défaillance »)
 - A l'équilibre, en moyenne sur l'année, le prix couvre le coût complet des moyens de production.

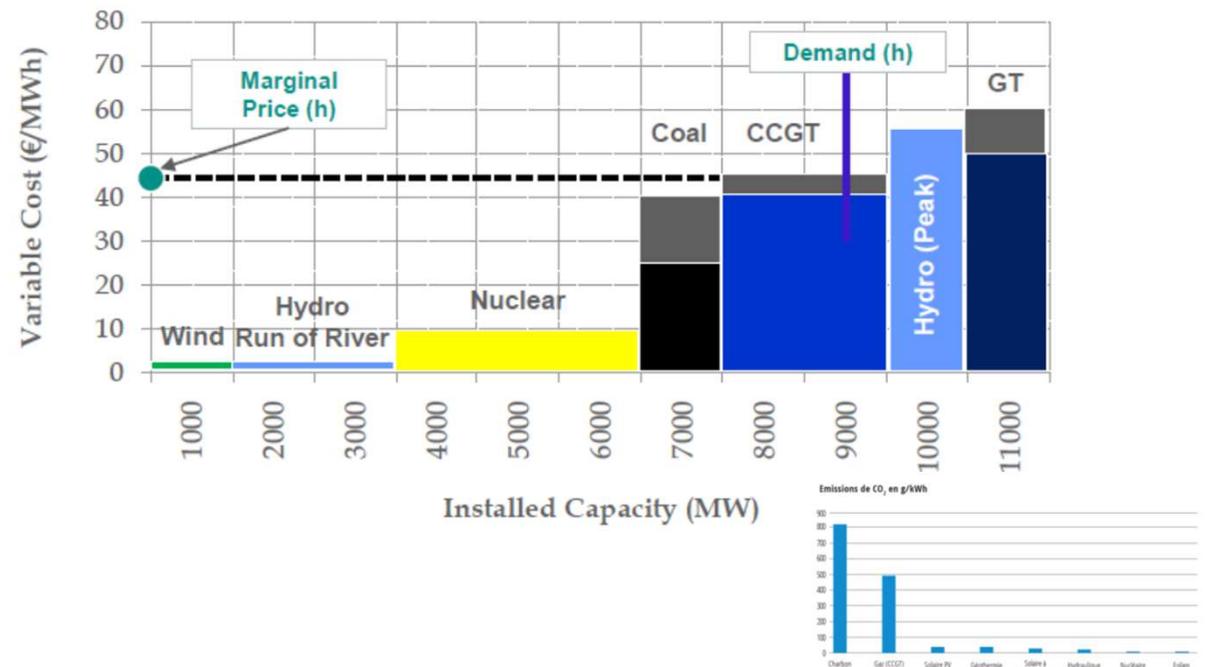


Figure 1. Émissions de CO₂ sur la chaîne de la cogénération de l'énergie.
Source : Præparat du G20 sur l'évolution du climat (2014).



Les marchés de l'électricité Une crise majeure, exceptionnelle

Un marché relève de choix de conception, c'est le Market Design :

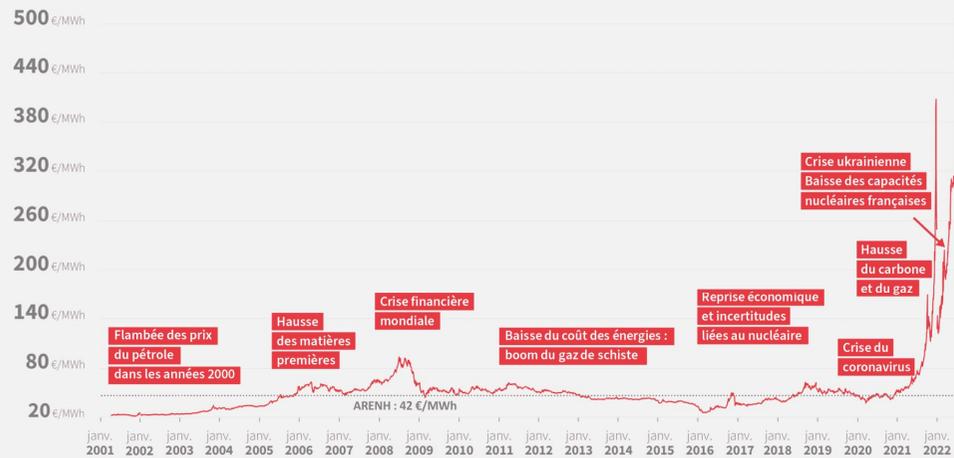
- Pour l'électricité, on a les règles classiques de fonctionnement d'un marché avec une chaîne de valeur, des acteurs en concurrence mais on a trois particularités structurantes
 - L'équilibre Offre/Demande qui ne tolère aucun écart
 - Des infrastructures essentielles qui ne peuvent être en concurrence
 - Pas réellement de logisque, clé de la mise en place d'un marché fluide et efficace

Le marché fait l'objet depuis septembre 2021 de très fortes critiques – factuellement justifiées – qui incitent les dirigeants européens à questionner les règles de fonctionnement en situation de déséquilibre.

Le chantier s'est engagé sous la Présidence Française de l'Union Européenne.

Les marchés de l'électricité Une crise majeure, exceptionnelle

Évolution du prix de l'électricité* depuis 2001 au 1^{er} août 2022



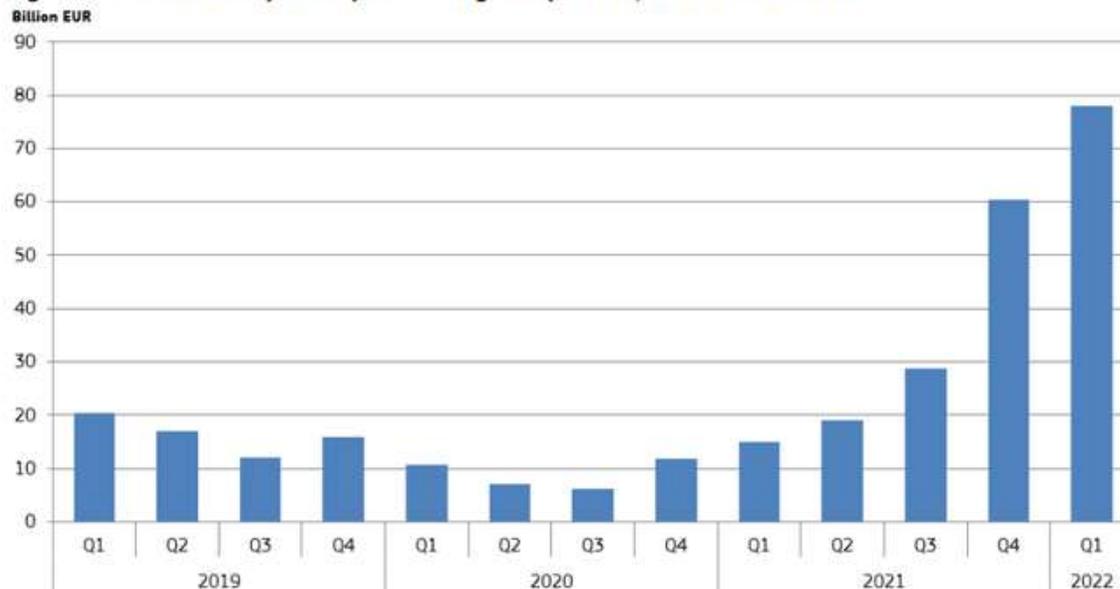
* Évolution des prix de clôture baseload calendar n+1

© Opéra Énergie

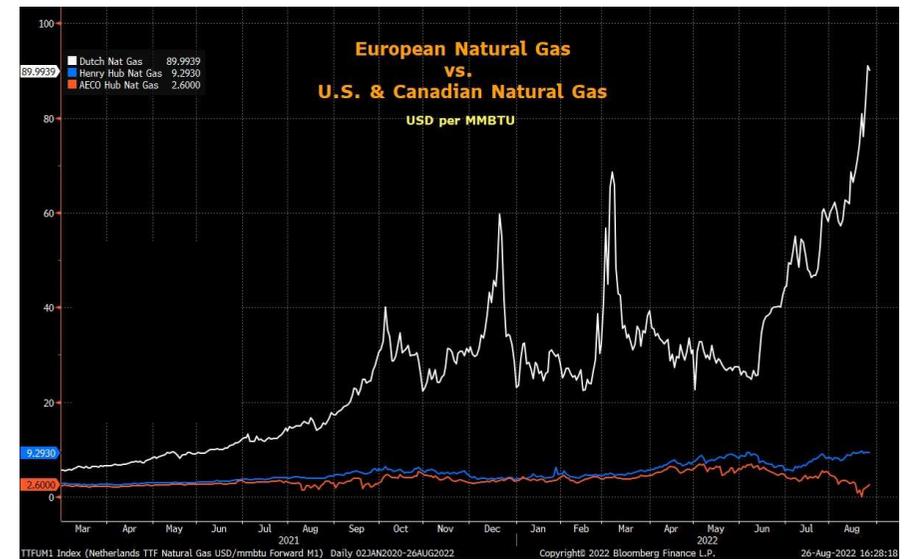


Les marchés de l'électricité Une crise majeure, exceptionnelle

Figure 11 – Estimated quarterly extra-EU gas import bill, in billions of euros

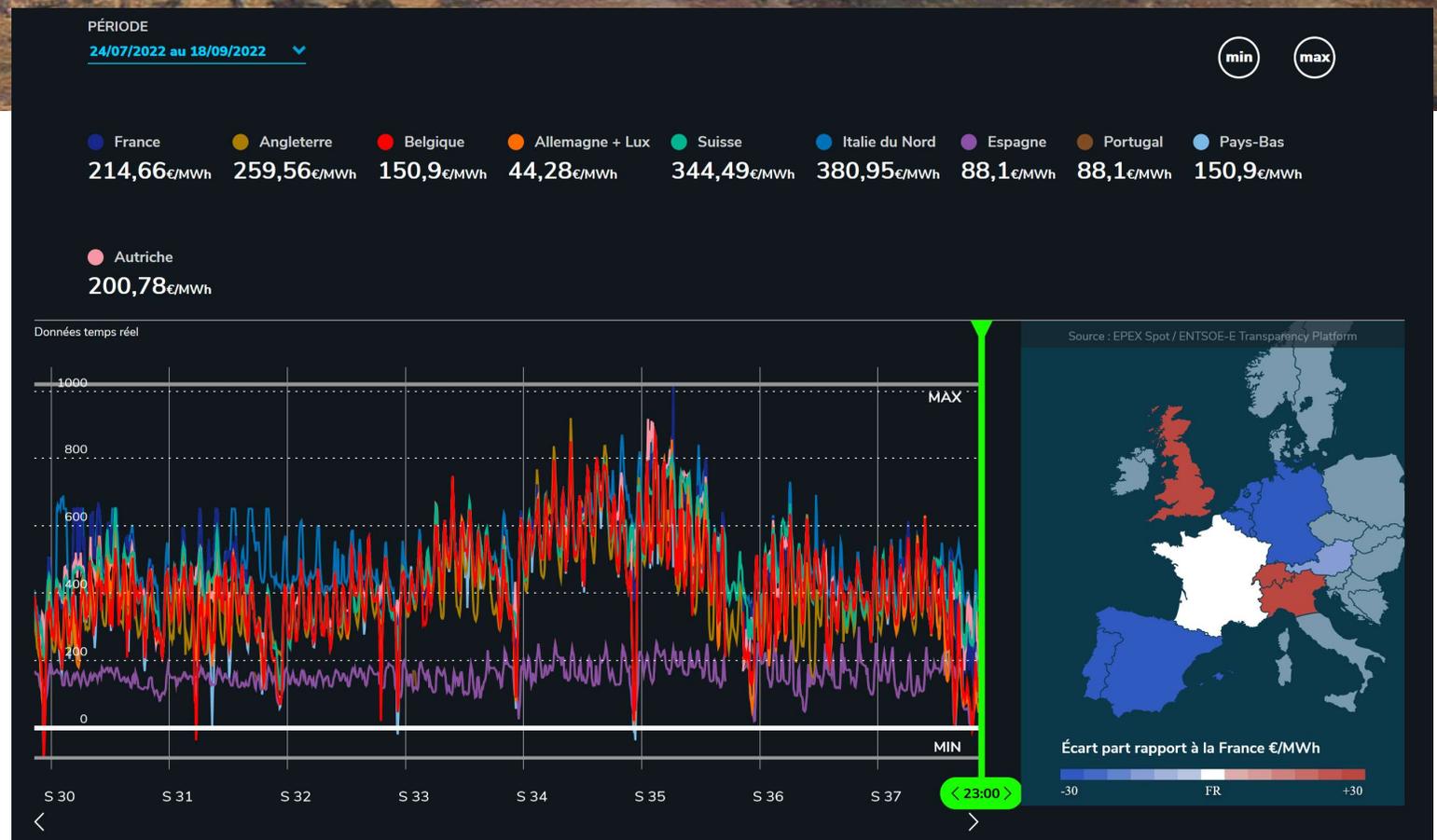


Source: ENTSO-G, Eurostat and own data calculations for the EU weighted average of import gas prices



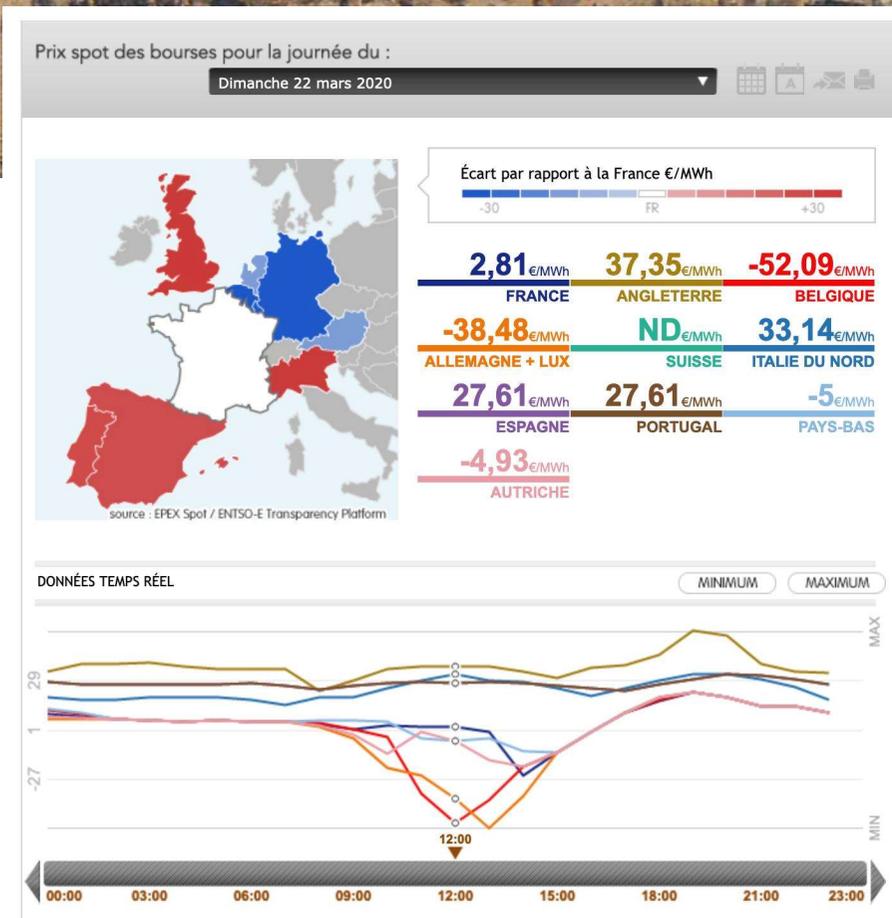
Les marchés de l'électricité et du gaz

Une crise majeure, exceptionnelle

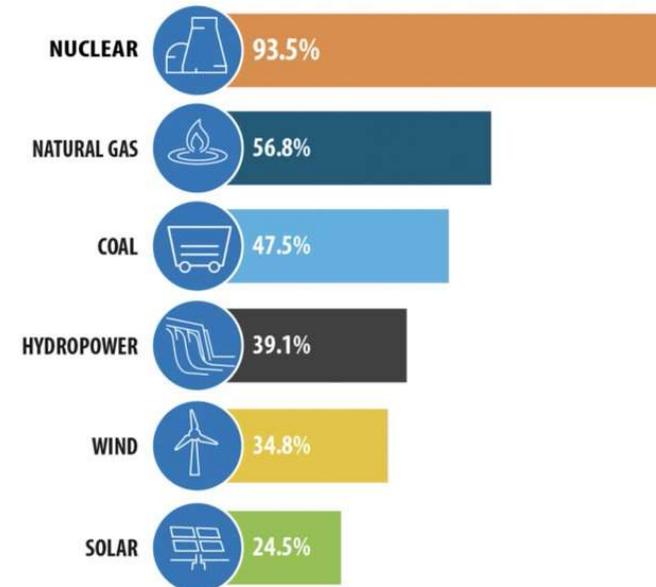


Les marchés de l'électricité et du gaz

Une crise majeure, exceptionnelle



Capacity Factor by Energy Source – 2019





Les perspectives au-delà de la crise

Vers la sobriété ... et l'électrification afin de décarbonner notre économie

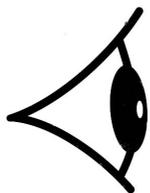
Nous allons devoir réduire notre consommation (SNBC gouvernementale) de 45 %

... et nous allons augmenter notre consommation d'électricité de 45%

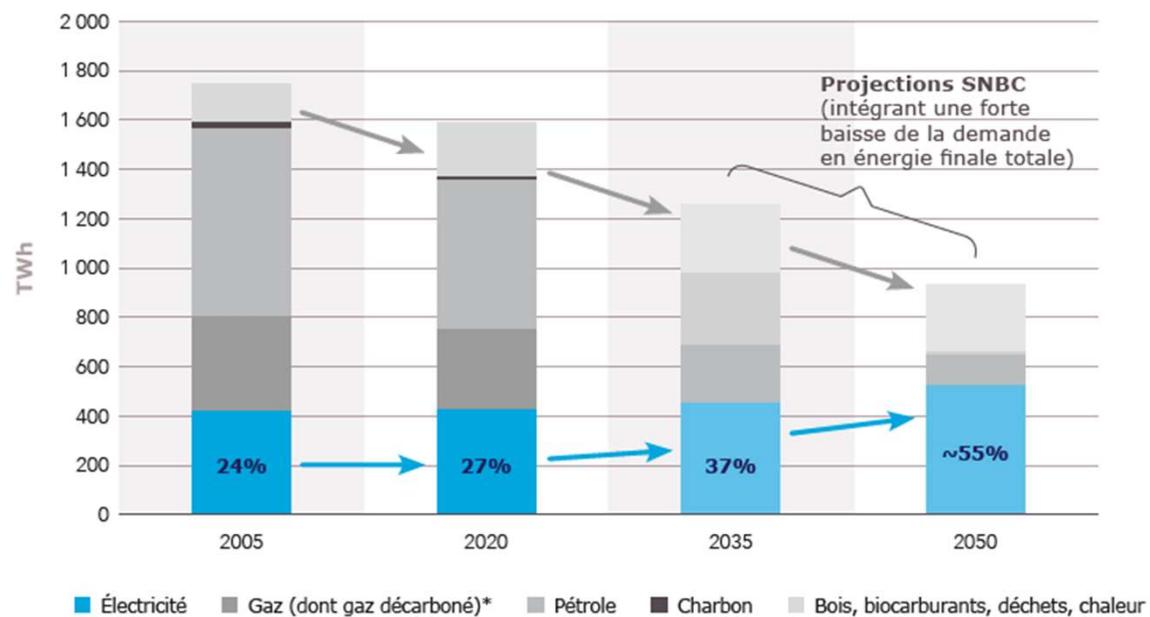
2050

Les futurs énergétiques de RTE

La prospective à l'oeuvre



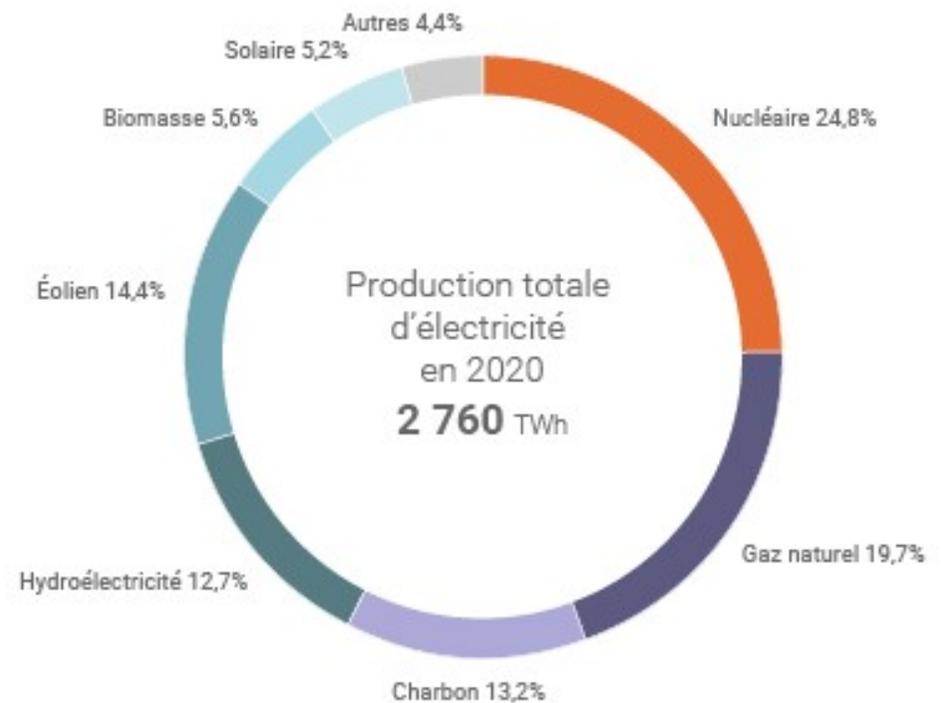
➔ L'effort pourra être plus important de à plus courte échéance compte tenu de la crise sur le gaz



* Le vecteur gaz consiste aujourd'hui quasi-exclusivement en du gaz naturel d'origine fossile. Il est amené à évoluer pour n'être constitué, en 2050, que de gaz verts (hydrogène, biométhane, méthane de synthèse, ammoniac, etc.).

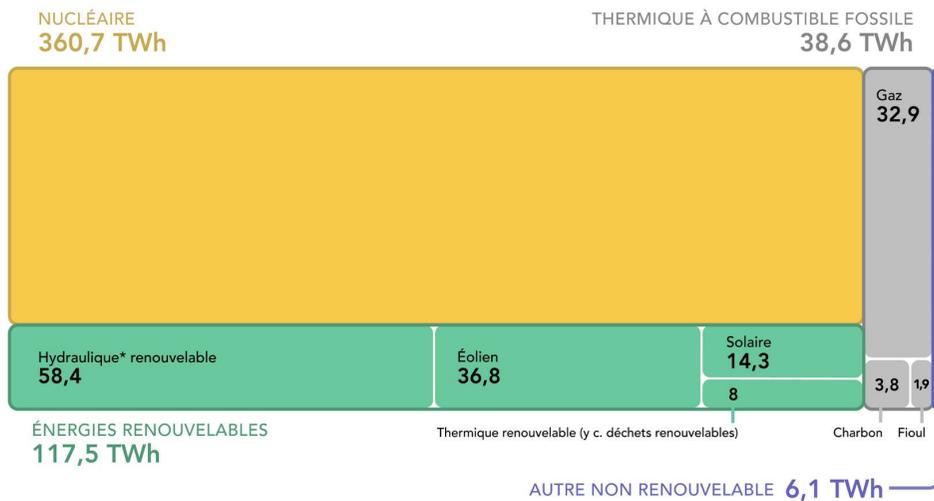
Dans un contexte européen où 1/3 de la production d'électricité est issue de fossile

- Cependant, la dynamique de décarbonation existe bien avec une part de fossile dans le mix électrique qui est passée de 50% à 33%
- Le nucléaire est de son côté resté stable autour de 25%
- Cependant, la contrainte sur la part pilotable du mix se fait jour notamment sur le marché spot de l'électricité [J+1 et intraday]



L'équation française du système électrique

Énergie produite en 2021, en TWh



Parc français au 31/12/2021, en GW



L'équation française du système électrique

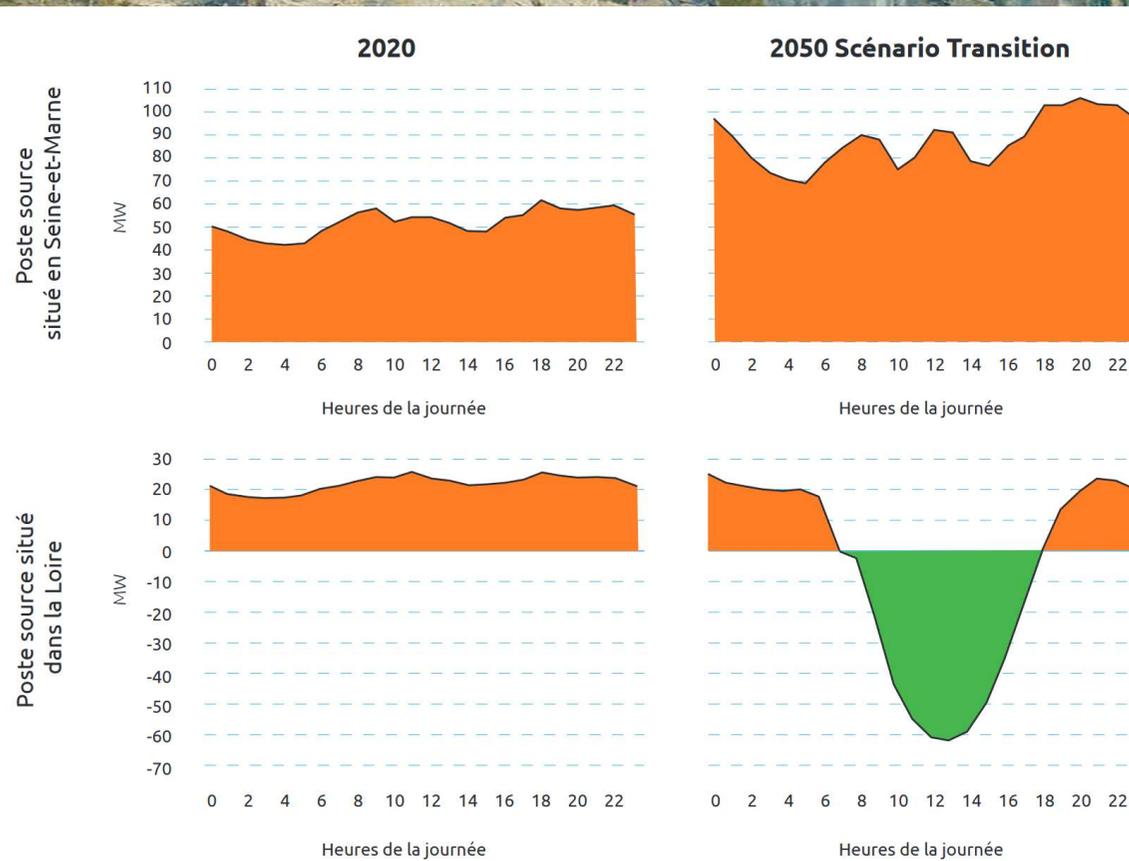


Tableau 3 : Comparaison du profil de puissance horaire au jour de pointe annuelle

L'équation française du système électrique

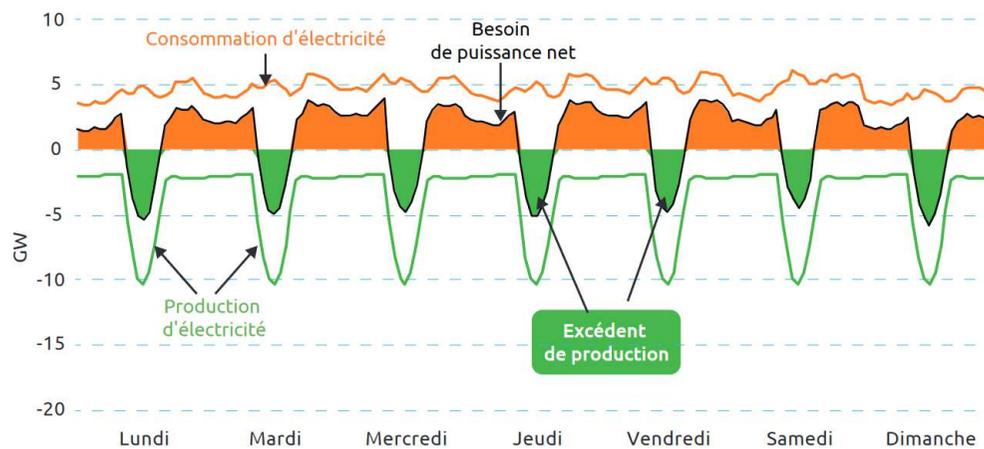
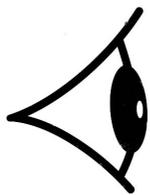


Figure 10 : Profil de production et de consommation en Occitanie en 2050 dans le scénario Transition durant une semaine d'hiver au périmètre du réseau de distribution

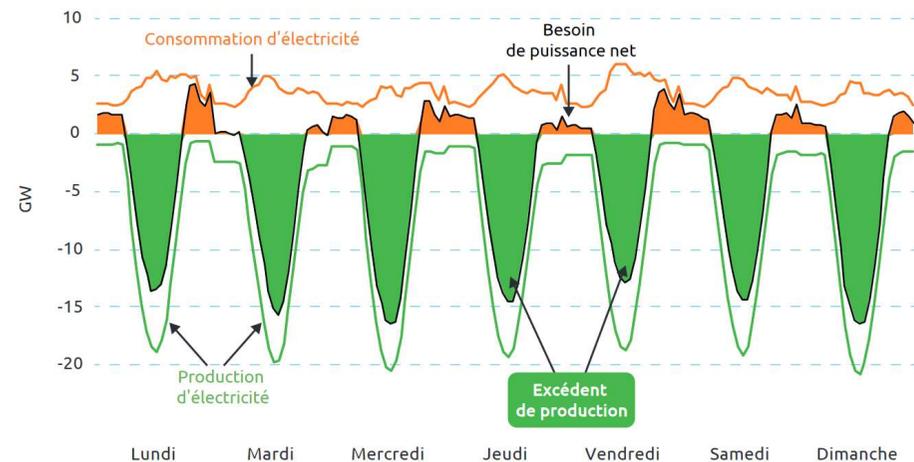


Figure 11 : Profil de production et de consommation en Occitanie en 2050 dans le scénario Transition durant une semaine d'été au périmètre du réseau de distribution