



# Quelle énergie pour la neutralité carbone en 2050 ?

Sylvaine Dhion

25 janvier 2024



# Rénover l'économie française, avec ou sans l'énergie nucléaire ?

**1- Contexte : émissions anthropiques de CO2 depuis 1850**

**2- Proposition du Shift project : présentation du Plan de Transformation de l'Économie Française**

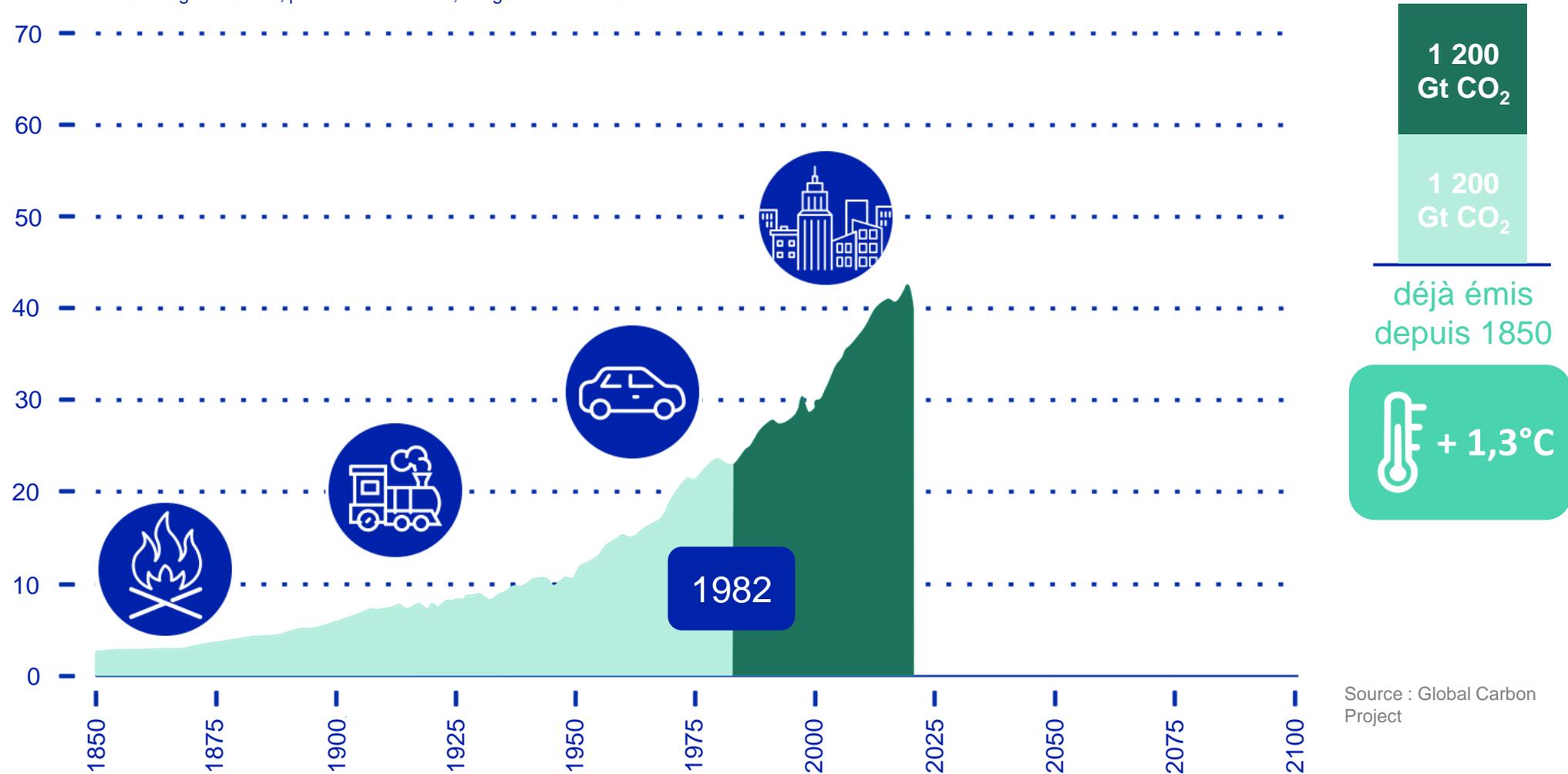
**3- Panorama du nucléaire civil dans le monde**

**4- Scénarios pour un mix électrique décarboné en 2050 (RTE)**

# 1- Contexte : émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> depuis 1850

Émissions anthropiques\* de CO<sub>2</sub> (Gt CO<sub>2</sub>/an)

\* combustion d'énergies fossiles, procédés industriels, usage des sols et forêts.

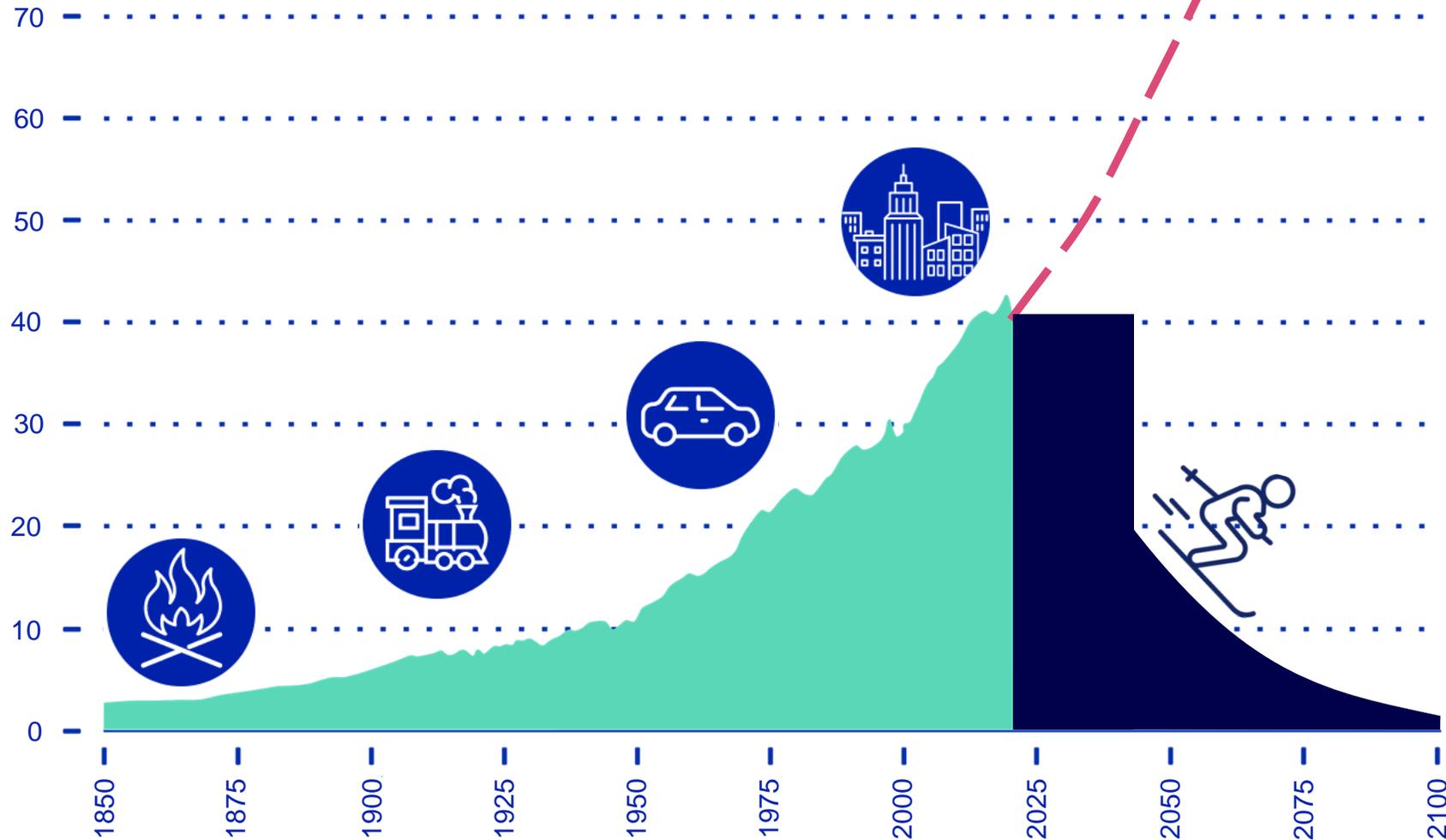


Source : Global Carbon Project

# 1- Contexte : émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> de

Émissions anthropiques\* de CO<sub>2</sub> (Gt CO<sub>2</sub>/an)

\* combustion d'énergies fossiles, procédés industriels, usage des sols et forêts.



+ 4 à 6°C

env. 2 400 Gt CO<sub>2</sub>

déjà émis depuis 1850

+ 1,3°C

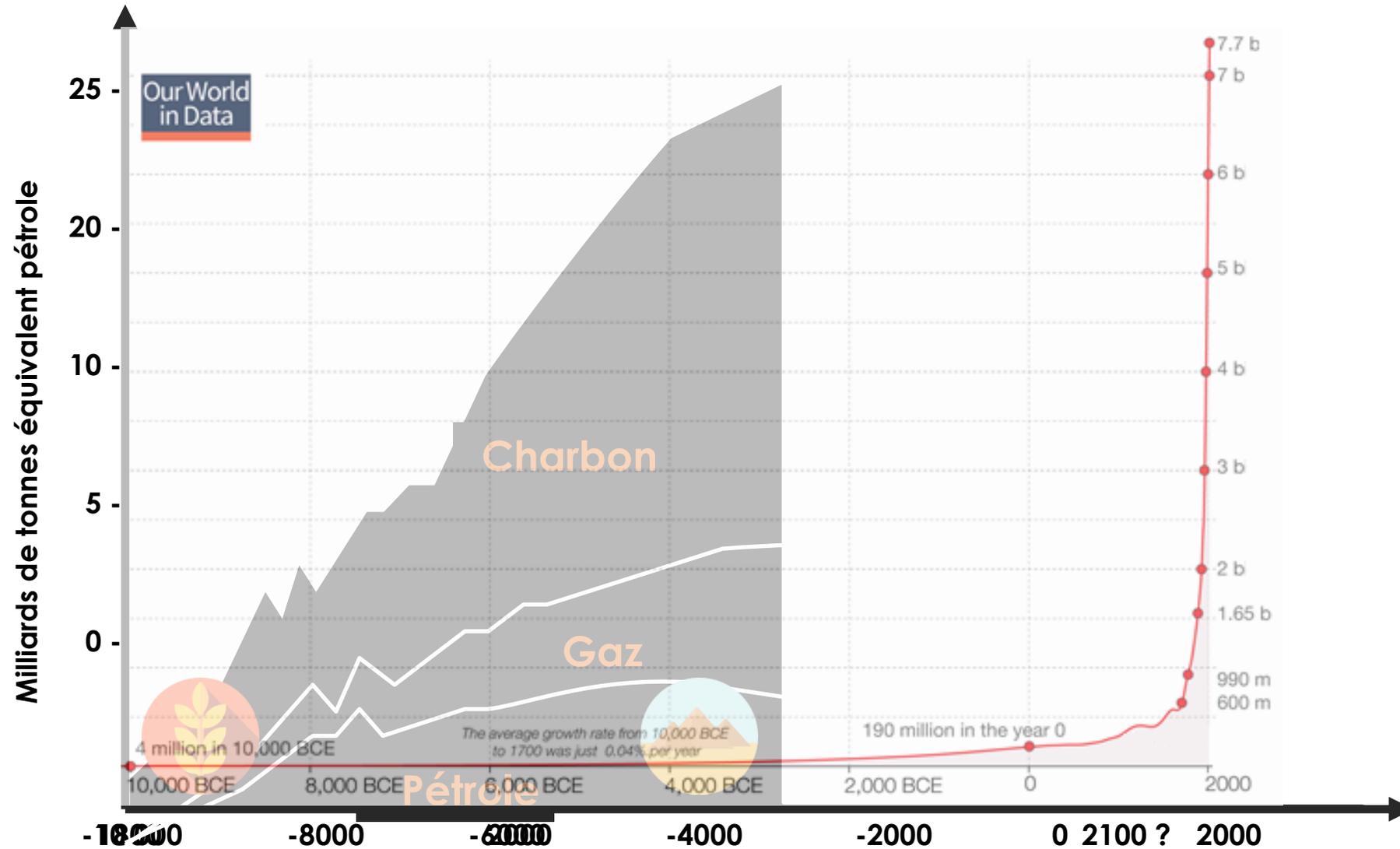
env. 800 Gt CO<sub>2</sub>

restant à émettre d'ici 2100

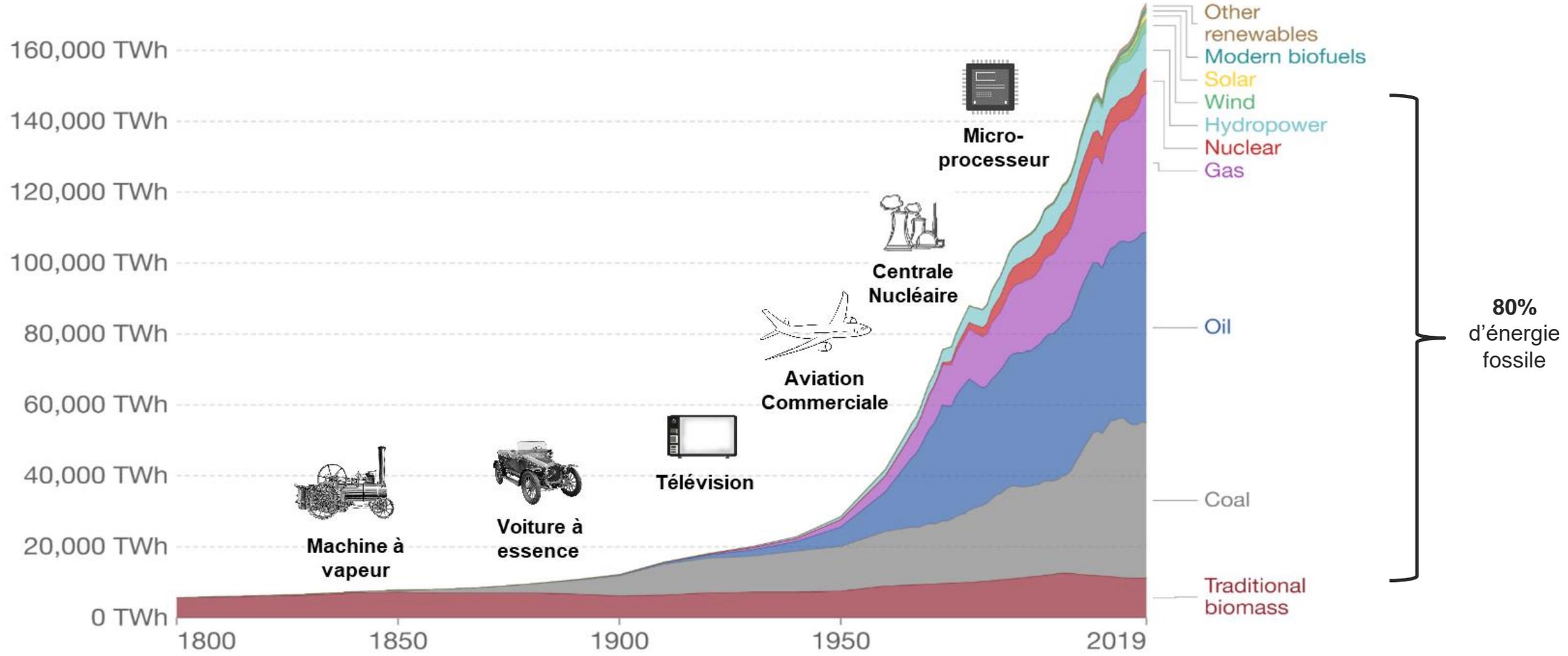
+ 2°C

Source : Global Carbon Project

## 2- Consommation mondiale d'énergie



## 2- Consommation mondiale d'énergie



Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

# Rénover l'économie française, avec ou sans l'énergie nucléaire ?

1- Contexte : émissions anthropiques de CO2 depuis 1850

**2- Proposition du Shift project : présentation du Plan de Transformation de l'Économie Française**

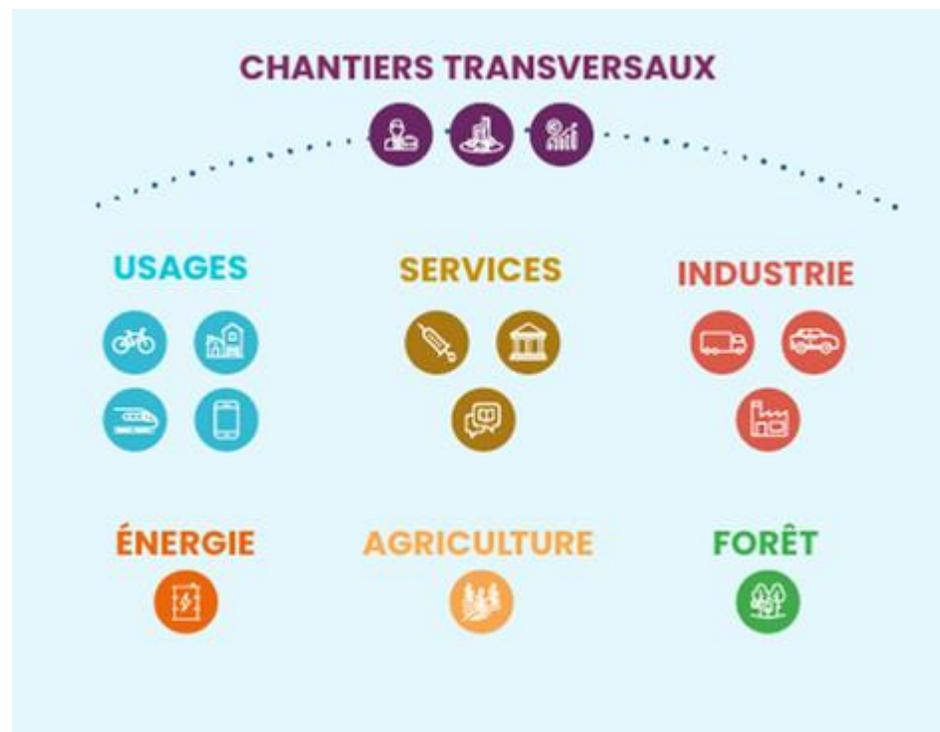
3- Panorama du nucléaire civil dans le monde

4- Scénarios pour un mix électrique décarboné en 2050 (RTE)

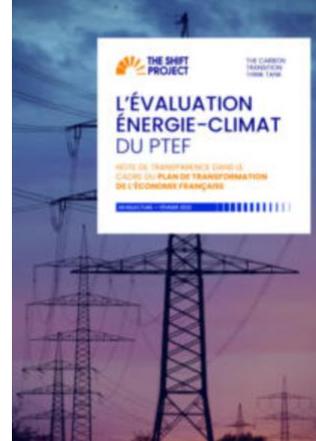
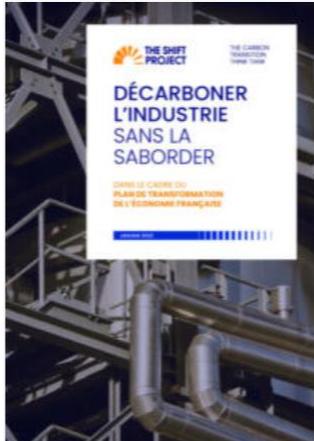
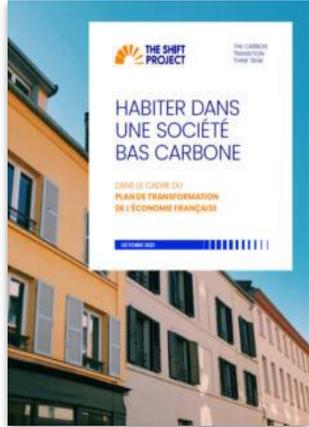
# Le Plan de transformation de l'économie française (PTEF)

**Le PTEF est un vaste programme prospectif et opérationnel pour nous emmener vers la neutralité carbone**

Né dans le sillage de la crise sanitaire, il propose des solutions pragmatiques pour transformer l'économie en la rendant **moins carbonée (- 5 % / an)**, **plus résiliente** et **créatrice d'emplois**.



# Quelques rapports publiés dans le cadre du PTEF



Matières premières  
Energie

L'économie

Biens et services

Se préparer aux crises et contraintes

Economie concrète  
emplois, bâtiments,  
infrastructures ...

Urgence

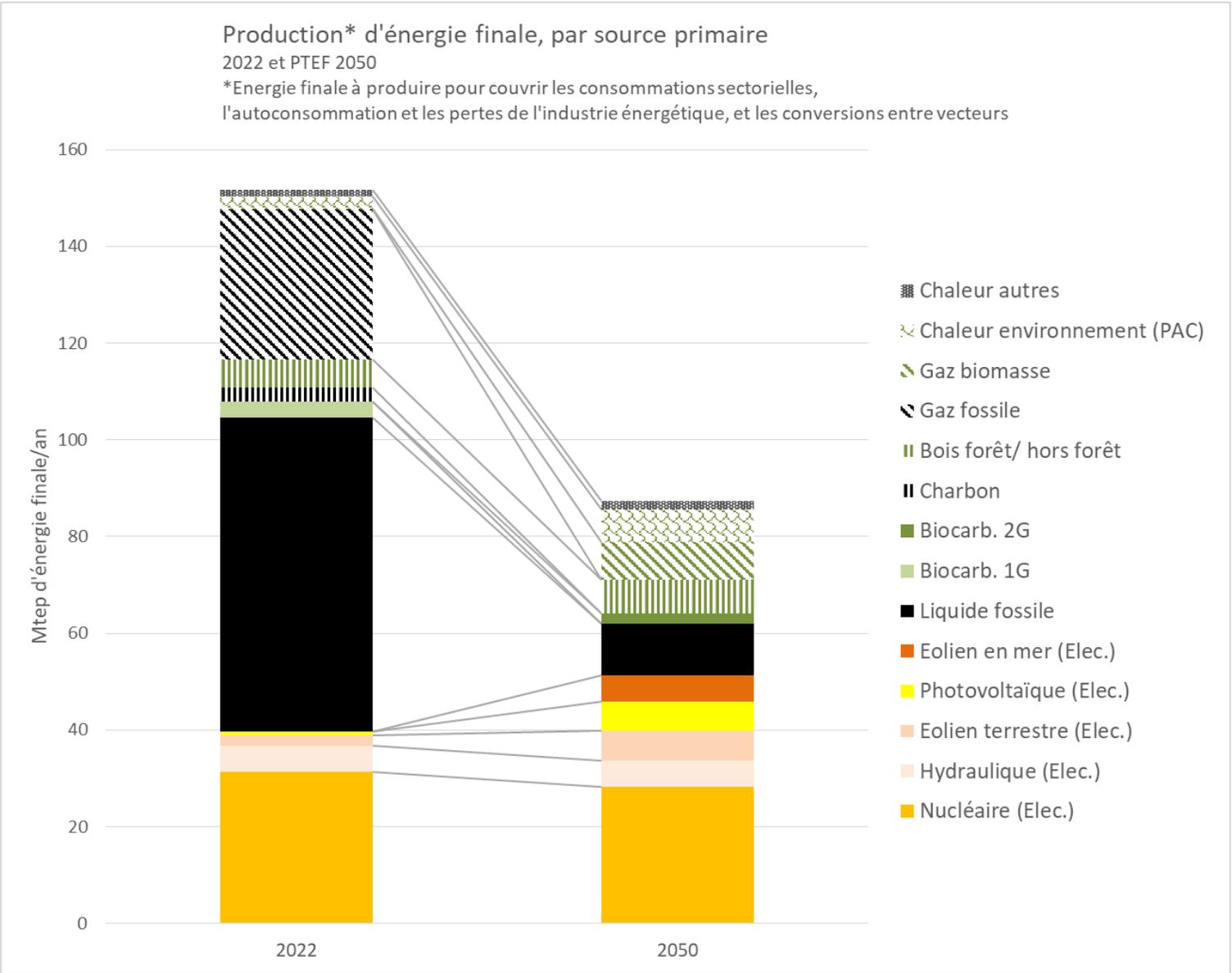
Résilience

**1**  
Le climat :  
Réduire les émissions de  
GES

**2**  
L'énergie :  
au cœur de nos sociétés,  
pas disponible infiniment

Double contrainte carbone

# Evolution de la demande en énergie finale suite au PTEF



# Rénover l'économie française, avec ou sans l'énergie nucléaire ?

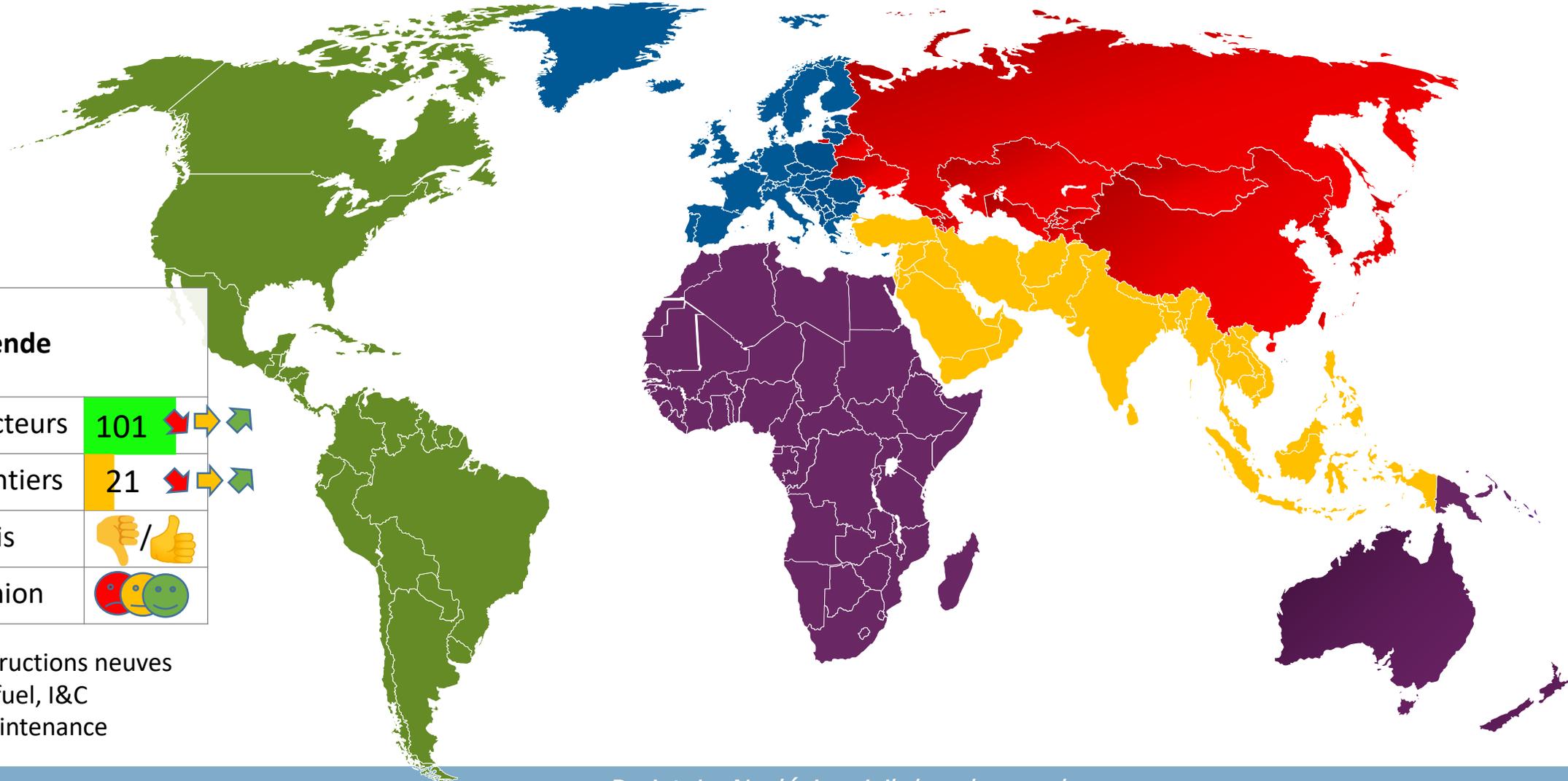
1- Contexte : émissions anthropiques de CO2 depuis 1850

2- Proposition du Shift project : présentation du Plan de Transformation de l'Économie Française

**3- Panorama du nucléaire civil dans le monde**

4- Scénarios pour un mix électrique décarboné en 2050 (RTE)

# • Le nucléaire dans le monde



# Le nucléaire dans le monde

Amérique du Nord	
Réacteurs	115
Chantiers	2
Partis	
Opinion	



Europe de l'Ouest	
Réacteurs	101
Chantiers	5
Partis	
Opinion	

Europe de l'Est	
Réacteurs	19
Chantiers	4
Partis	
Opinion	

Chine, Russie et ex-URSS	
Réacteurs	108
Chantiers	24
Partis	
Opinion	

Corée, Japon, Taiwan	
Réacteurs	61
Chantiers	8
Partis	
Opinion	

Amérique du Sud	
Réacteurs	5
Chantiers	1
Partis	
Opinion	

Afrique	
Réacteurs	2
Chantiers	4
Partis	
Opinion	

Moyen-Orient et Asie du Sud-Est	
Réacteurs	31
Chantiers	19
Partis	
Opinion	

Océanie	
Réacteurs	0
Chantiers	0
Partis	
Opinion	

# • L'Europe perd de l'influence dans le monde

Constructions neuves  
Hors fuel, I&C  
et maintenance

## FRANCE

### Réacteurs en opération

France : 56

Belgique : 2

Chine : 6

Corée : 2

Afrique du Sud : 2

### Réacteurs en construction

France : 1

Finlande : 1

Royaume-Uni : 2

### Projets

Inde, UK

Afrique du sud

## ALLEMAGNE

### Réacteurs en opération

Allemagne : 3

Argentine : 2

Pays-Bas : 1

Brésil : 1 ; Espagne : 1

Suisse : 1

### Projets (avec Framatome)

Brésil



# • L'activité du Canada et des USA se contracte

## WESTINGHOUSE / GE

### Réacteurs en opération

Etats-Unis : 94

Belgique : 5

Brésil : 1 ; Chine : 4

Corée : 5 ; Espagne : 6

Inde : 2 ; Japon : 2

Mexique : 2 ; Suède : 2

Royaume-Uni : 1 ; Suisse : 3

Slovénie : 1 ; Taiwan : 3

### En construction

USA : 2

### Projets

Estonie ; Rép. Tchèque

Philippines ; Turquie

## CANDU

### En opération

Canada : 19

Roumanie : 2 ; Chine : 2

Corée : 3 ; Argentine : 1

Inde : 2 ;

### Projets

Inde

Constructions neuves  
Hors fuel, I&C  
et maintenance



- Nombreux réacteurs en opération dans le monde mais peu de projets de nouvelles constructions
- Les mises en chantier ont régressé ou se font avec des versions localisées (cession des droits de propriété)

# • La Chine gagne de l'influence dans le monde

## CHINE

### Réacteurs en opération

Chine : 37

Pakistan : 5



### Réacteurs en construction

Chine : 18 ; Pakistan: 1



### Projets (extensif)

Roumanie ; Brésil ; Iran



UK ; Rep Tchèque ; Turquie

Arménie ; Afrique du Sud

Kenya ; Soudan ; Kazakhstan

Egypte ; Indonésie ; Vietnam



Constructions neuves  
Hors fuel, I&C  
et maintenance

## COREE

### Réacteurs en opération

Corée : 14 ; EAU : 2



### En construction

EAU : 2



### Projets (extensif)

Afrique du sud, Egypte

Kenya ; Ukraine, USA



Inde, Brésil, Philippines

République Tchèque

- Réacteurs en opération dans peu de pays mais nouveaux projets dans de nombreuses régions
- Nouveaux projets nucléaires à rapprocher des nouvelles influences géopolitiques.

# • La Russie étend son influence historique

Constructions neuves  
Hors fuel, I&C  
et maintenance

## Réacteurs en opération

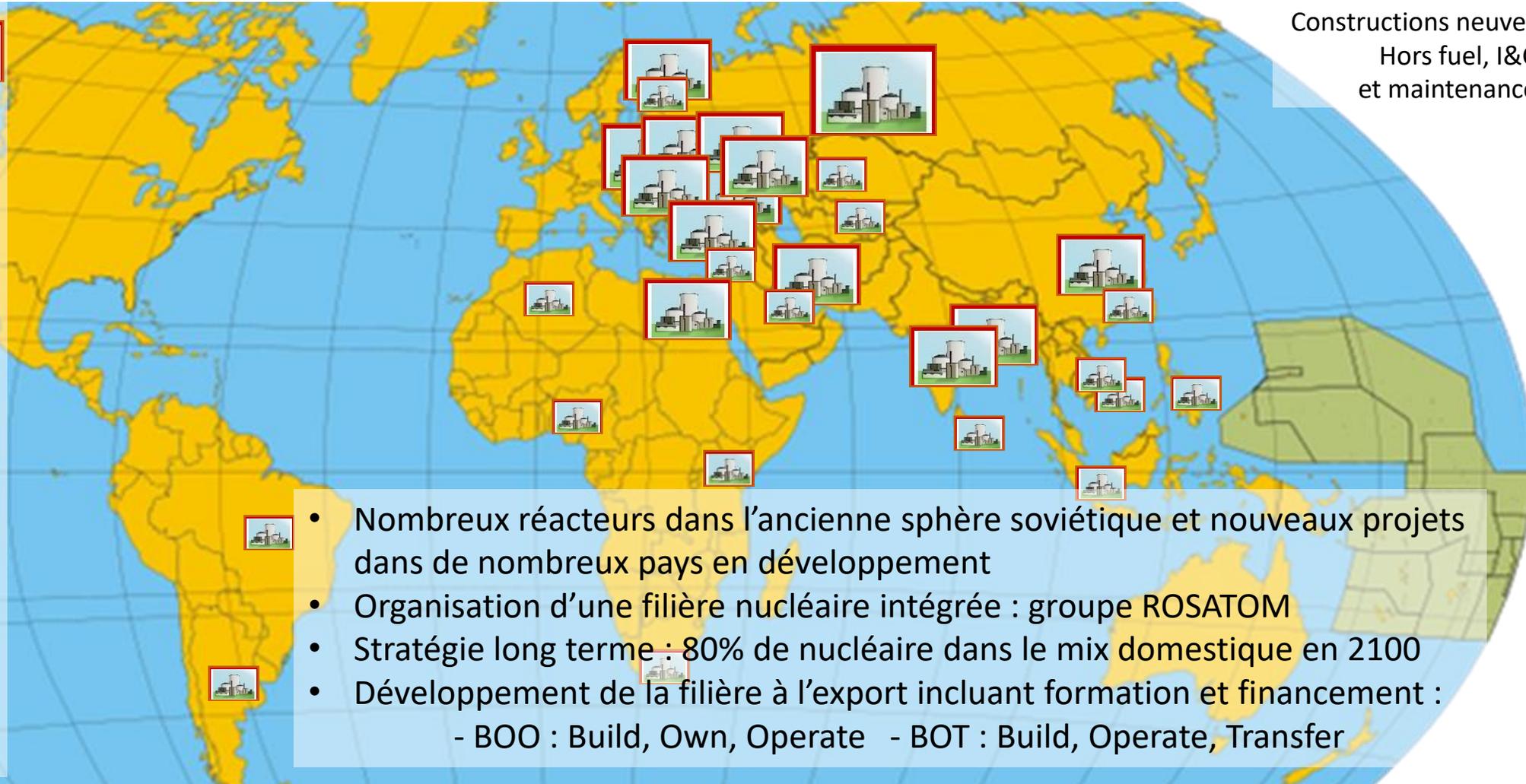
Russie : 38  
Arménie : 1 ; Chine : 4  
Biélorussie : 1  
Bulgarie : 2 ; Finlande : 2  
Hongrie : 4 ; Inde : 2  
Iran : 1 ; Rep. Tchèque : 6  
Slovaquie : 4 ; Ukraine : 15

## Réacteurs en construction

Bangladesh : 2 ;  
Biélorussie : 1  
Egypte : 4 (TBC) ; Inde : 4  
Iran : 1 ; Finlande : 1 (2023)  
Hongrie : 2 (2022) ; Russie : 3  
Slovaquie : 2 ; Turquie : 3

## Projets (extensif)

Ouzbékistan ; Chine  
Afrique du Sud ; Koweït  
Nigéria ; Sri Lanka ; Kenya  
Algérie ; Kazakhstan  
Brésil ; Laos ; Rep Tchèque  
Indonésie ; Argentine  
Jordanie ; Vietnam



- Nombreux réacteurs dans l'ancienne sphère soviétique et nouveaux projets dans de nombreux pays en développement
- Organisation d'une filière nucléaire intégrée : groupe ROSATOM
- Stratégie long terme : 80% de nucléaire dans le mix domestique en 2100
- Développement de la filière à l'export incluant formation et financement :
  - BOO : Build, Own, Operate
  - BOT : Build, Operate, Transfer

# Rénover l'économie française, avec ou sans l'énergie nucléaire ?

1- Contexte : émissions anthropiques de CO2 depuis 1850 (5 min)

2- Proposition du Shift project : présentation du Plan de Transformation de l'Économie Française (5 min)

3- Panorama du nucléaire civil dans le monde (20 min)

**4- Scénarios pour un mix électrique décarboné en 2050 (RTE)**

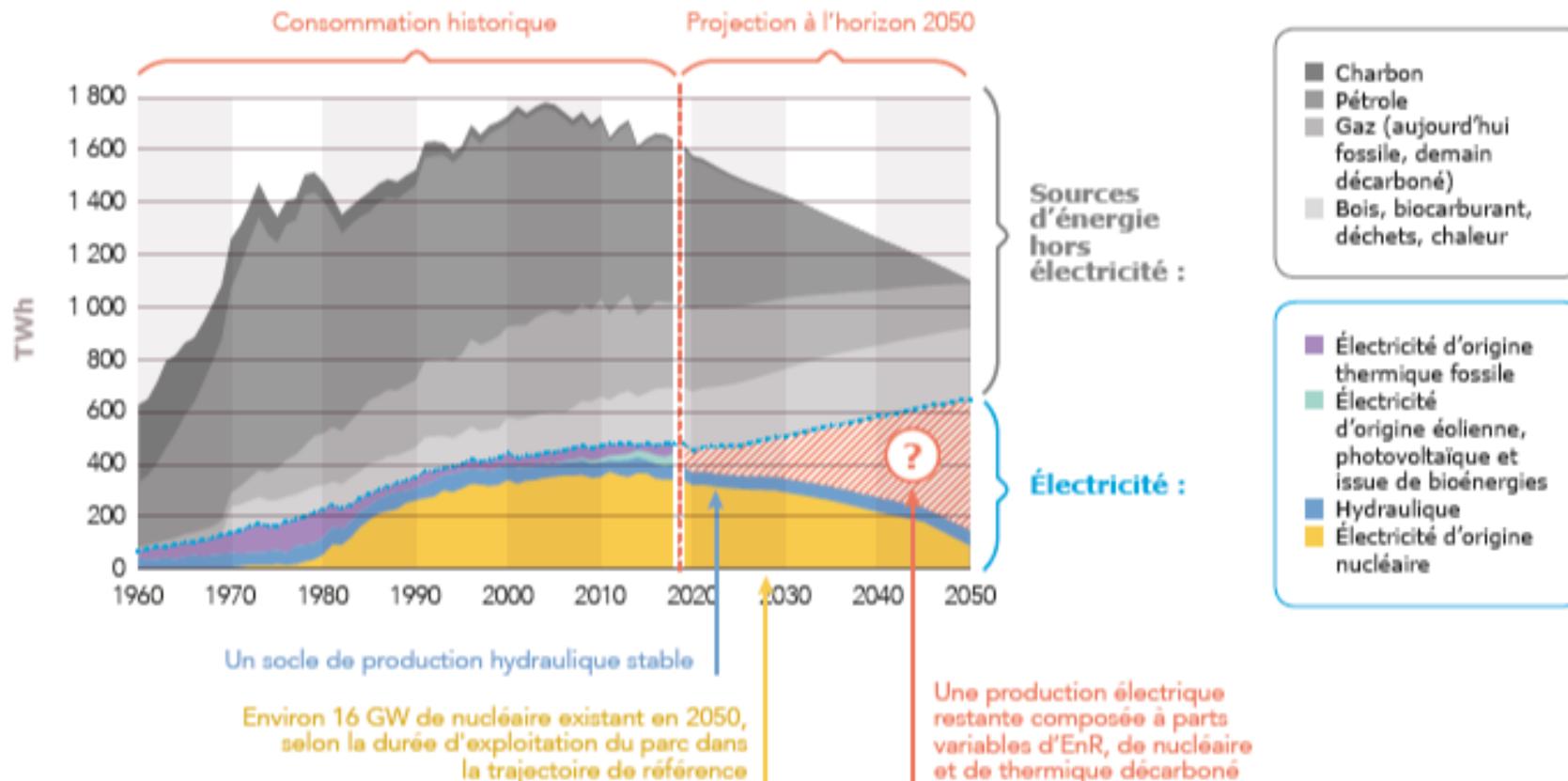
# Contexte

- Scénarios de mix de production permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 – « Futurs énergétiques 2050 », RTE, Octobre 2021
- Lien vers l'étude  
[Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 | RTE \(rte-france.com\)](https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques)  
(<https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>)

# Hypothèses

- Augmentation de la part de l'électricité dans le mix énergétique
- Consommation électrique : 645 TWh en 2050

**Figure 3** Évolution de la consommation totale d'électricité et de la consommation d'énergie finale pour les autres énergies en France



# Scénarios (1/2)

	NARRATIF	RÉPARTITION DE LA PRODUCTION EN 2050	CAPACITÉS INSTALLÉES EN 2050 (EN GW)*					BOUQUET DE FLEXIBILITÉS EN 2050
			Solaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Nucléaire historique	Nouveau nucléaire	
M0 100% EnR en 2050	Sortie du nucléaire en 2050 : le déclassement des réacteurs nucléaires existants est accéléré, tandis que les rythmes de développement du photovoltaïque, de l'éolien et des énergies marines sont poussés à leur maximum.		~ 208 GW (soit x21)	~ 74 GW (soit x4)	~ 62 GW	/	/	⚡ 15 GW 🏠 1,7 GW (1,1 MVE) 🏭 29 GW 📅 26 GW
M1 Répartition diffuse	Développement très important des énergies renouvelables réparties de manière diffuse sur le territoire national et en grande partie porté par la filière photovoltaïque. Cet essor sous-tend une mobilisation forte des acteurs locaux participatifs et des collectivités locales.		~ 214 GW (soit x22)	~ 59 GW (soit x3,5)	~ 45 GW	16 GW	/	⚡ 17 GW 🏠 1,7 GW (1,1 MVE) 🏭 20 GW 📅 21 GW
M23 EnR grands parcs	Développement très important de toutes les filières renouvelables, porté notamment par l'installation de grands parcs éoliens sur terre et en mer. Logique d'optimisation économique et ciblage sur les technologies et les zones bénéficiant des meilleurs rendements et permettant des économies d'échelle.		~ 125 GW (soit x12)	~ 72 GW (soit x4)	~ 60 GW	16 GW	/	⚡ 15 GW 🏠 1,7 GW (1,1 MVE) 🏭 20 GW 📅 13 GW

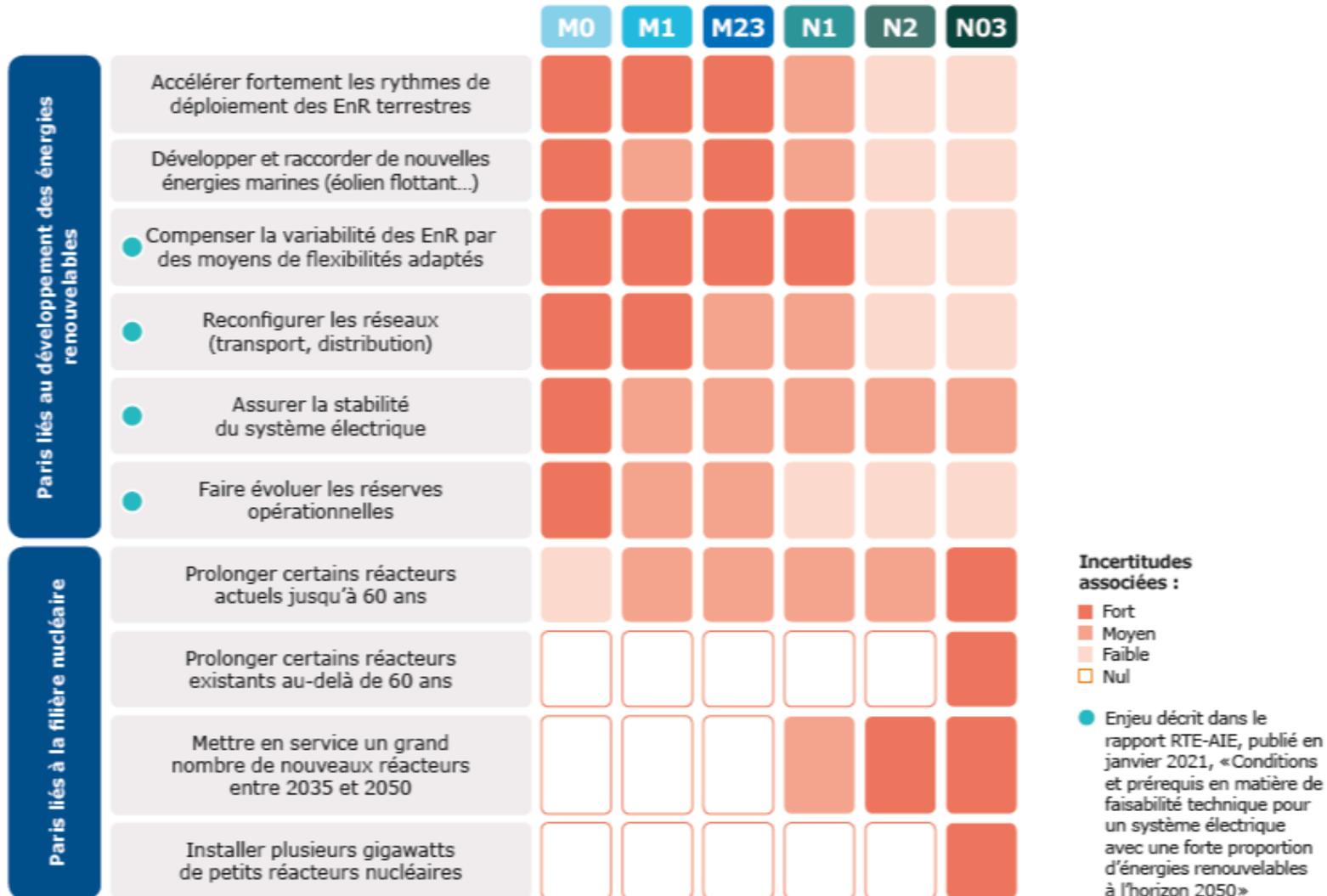
# Scénarios (2/2)

	NARRATIF	RÉPARTITION DE LA PRODUCTION EN 2050	CAPACITÉS INSTALLÉES EN 2050 (EN GW)*					BOUQUET DE FLEXIBILITÉS EN 2050
			Solaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Nucléaire historique	Nouveau nucléaire	
N1 EnR + nouveau nucléaire 1	Lancement d'un programme de construction de nouveaux réacteurs, développés par paire sur des sites existants tous les 5 ans à partir de 2035. Développement des énergies renouvelables à un rythme soutenu afin de compenser le déclassement des réacteurs de deuxième génération.	<p>26% Nuc. 74% EnR</p>	~118 GW (soit x11)	~58 GW (soit x3,3)	~45 GW	16 GW	13 GW (soit 8 EPR)	⚡ 15 GW 🏭 1,7 GW (1,1 MVE) 🏭 11 GW 📦 9 GW
N2 EnR + nouveau nucléaire 2	Lancement d'un programme plus rapide de construction de nouveaux réacteurs (une paire tous les 3 ans) à partir de 2035 avec montée en charge progressive. Le développement des énergies renouvelables se poursuit mais moins rapidement que dans les scénarios N1 et M.	<p>36% Nuc. 63% EnR</p>	~90 GW (soit x8,5)	~52 GW (soit x2,9)	~36 GW	16 GW	23 GW (soit 14 EPR)	⚡ 15 GW 🏭 1,7 GW (1,1 MVE) 🏭 5 GW 📦 2 GW
N03 EnR + nouveau nucléaire 3	Le mix de production repose à parts égales sur les énergies renouvelables et sur le nucléaire à l'horizon 2050. Cela implique d'exploiter le plus longtemps possible le parc nucléaire existant, et de développer de manière volontariste et diversifié le nouveau nucléaire (EPR 2 + SMR)	<p>50% Nuc. 50% EnR</p>	~70 GW (soit x7)	~43 GW (soit x2,5)	~22 GW	24 GW	~27 GW (soit ~14 EPR + quelques SMR)	⚡ 13 GW 🏭 1,7 GW (1,1 MVE) 📦 1 GW

# Risques associés

Enseignement n° 11

Prérequis technologiques et industriels associés aux différents scénarios et incertitudes



# Principaux enseignements

## CONSOMMATION

- Agir sur la consommation grâce à l'efficacité énergétique, voire la sobriété est indispensable pour atteindre les objectifs climatiques
- La consommation d'énergie va baisser mais celle d'électricité va augmenter pour se substituer aux énergies fossiles

## TRANSFORMATION DU MIX

- Atteindre la neutralité carbone en 2050 est impossible sans un développement significatif des ENR
- Se passer de nouveaux réacteurs nucléaires implique des rythmes de développement des énergies renouvelables plus rapides que ceux des pays européens les plus dynamiques

## ÉCONOMIE

- Construire de nouveaux réacteurs nucléaires est pertinent du point de vue économique, *a fortiori* quand cela permet de conserver un parc d'une quarantaine de GW en 2050 (nucléaire existant et nouveau nucléaire)
- Les énergies renouvelables électriques sont devenues des solutions compétitives. Cela est d'autant plus marqué dans le cas de grands parcs solaires et éoliens à terre et en mer
- Les moyens de pilotage dont le système a besoin [sont de différentes natures] ; le besoin de construire de nouvelles centrales thermiques est important si la relance du nucléaire est minimale.

## GÉNÉRAL

- Pour 2030 : développer les énergies renouvelables le plus rapidement possible et prolonger les réacteurs nucléaires existants dans une logique de maximisation de la production bas-carbone augmente les chances d'atteindre la cible du nouveau paquet européen « -55 % net »
- Quel que soit le scénario choisi, il y a urgence à se mobiliser