



Table ronde prospective de l'énergie

Valérie Masson-Delmotte,
Marc Fontecave
Michel Spiro

Stanislas Pommeret

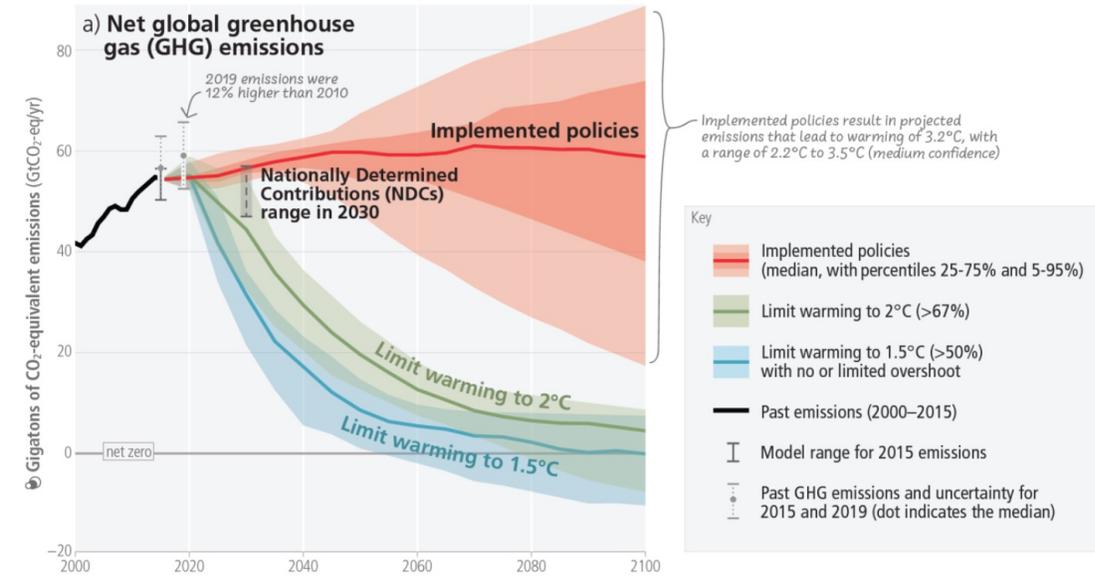
Membre de la Commission énergie de la SFP

Président de la Société Chimique de France

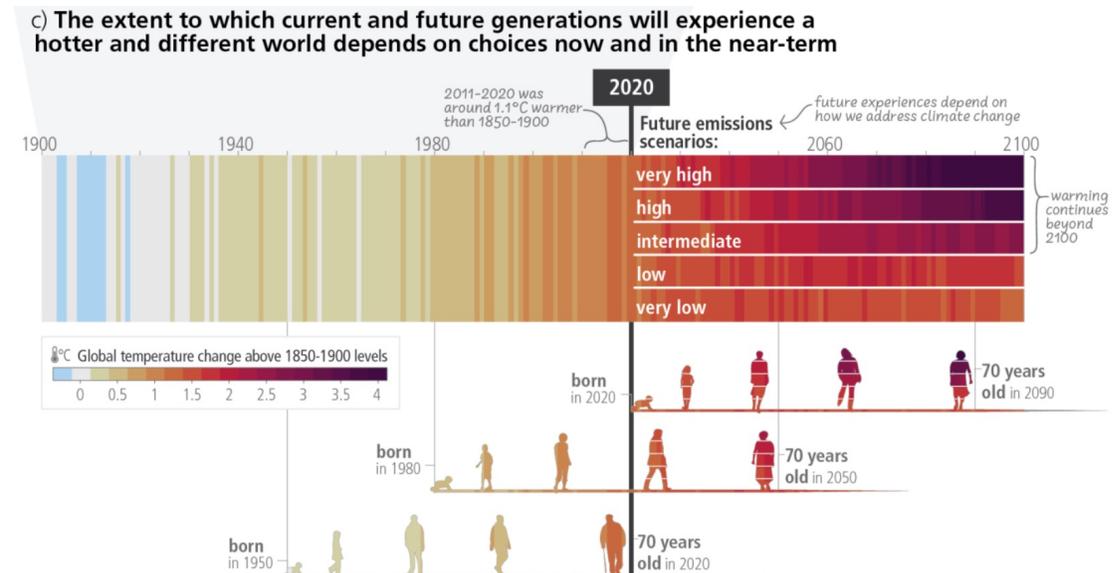
Référent énergie de la Direction de la Recherche Fondamentale du CEA

Paris, le 6 juillet 2023

La neutralité carbone : un défi mondial touchant toutes les dimensions de l'énergie



- Améliorer radicalement et continûment l'efficacité énergétique
- Décarboner et augmenter la production électrique
- Accroître la pénétration de l'électricité
- Décarboner la production de chaleur
- Développer les biocarburants et les carburants synthétiques
- Développer les usages de l'hydrogène
- Développer massivement l'économie circulaire du carbone
- Développer les réseaux de transport et de distribution
- Faire massivement appel aux technologies numériques
- Développer les puits de carbone



La neutralité carbone : un défi multi-factoriel et sociétal

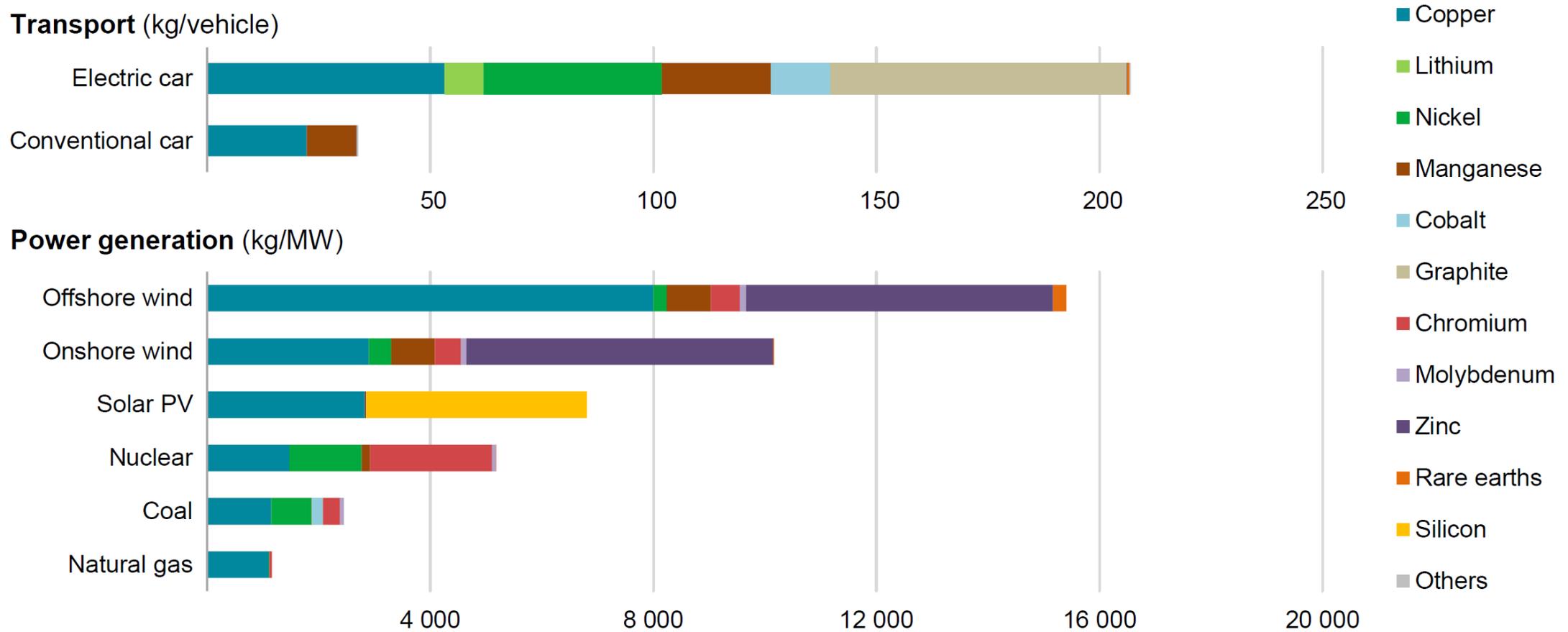
- Agir pour une transition juste, en luttant contre toutes les discriminations et inégalités et en garantissant les mêmes droits, opportunités et libertés à toutes et à tous.
- Transformer les modèles de sociétés par la sobriété carbone et l'économie des ressources naturelles, pour agir en faveur du climat, de la planète et de sa biodiversité.
- S'appuyer sur l'éducation et la formation tout au long de la vie, pour permettre une évolution des comportements et modes de vie adaptés au monde à construire et aux défis du développement durable.
- Agir pour la santé et le bien-être de toutes et tous, notamment via une alimentation et une agriculture saines et durables.
- Rendre effective la participation citoyenne à l'atteinte des objectifs de développement durable, et concrétiser la transformation des pratiques à travers le renforcement de l'expérimentation et de l'innovation territoriale.
- Œuvrer au plan européen et international en faveur de la transformation durable des sociétés, de la paix et de la solidarité.



« Les sciences fondamentales fournissent des moyens essentiels pour relever des défis tels que l'accès universel à la nourriture, à l'énergie, à la couverture sanitaire et aux technologies de communication. »

Michel Spiro, Président de l'IUPAP

Les nouvelles technologies de l'énergie sont consommatrices de matériaux

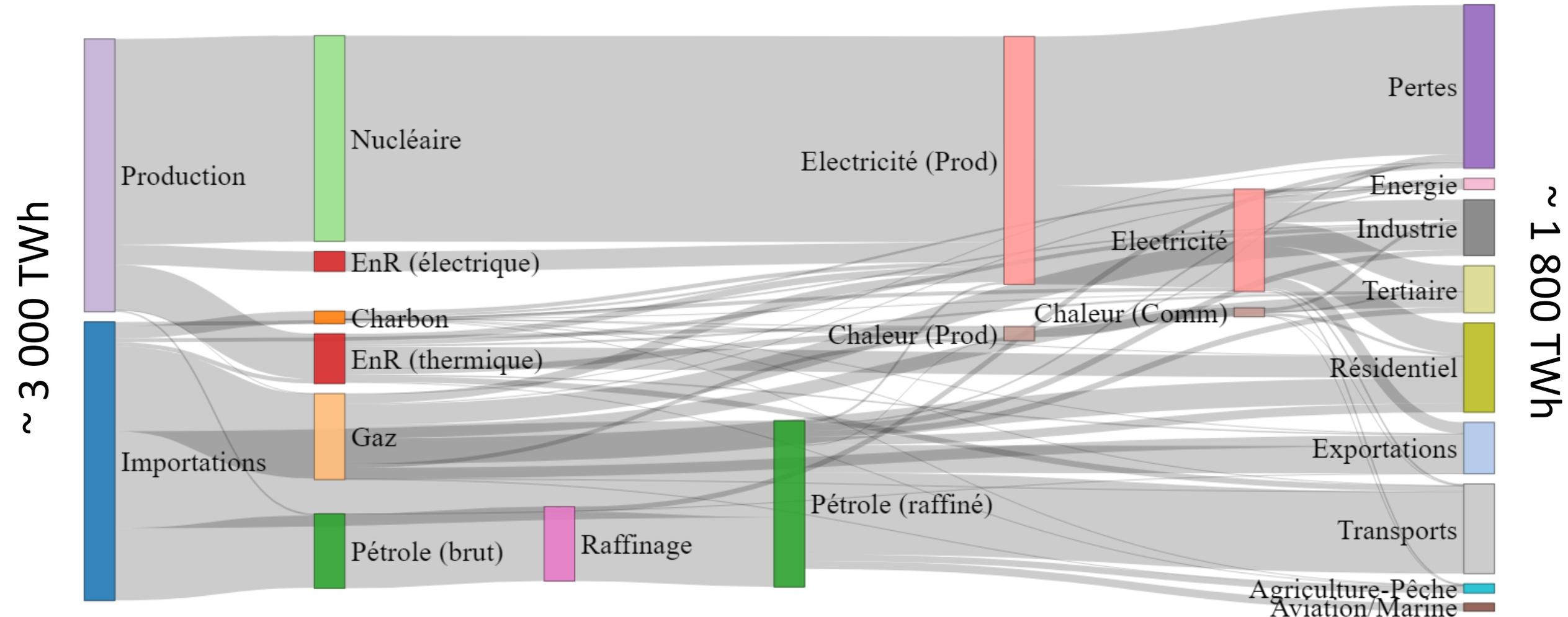


IEA. (2022). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, World Energy Outlook Special Report*. www.iea.org/t&c/

Bilan énergétique de la France en 2021

Energie primaire

Energie finale



Valérie Masson-Delmotte

CLIMAT ET ENERGIE: « NOUVEAUX » PARADIGMES

- **Adaptation !**
- **Stockage d'énergie**
- **Nouveau Carbone ?**

Marc Fontecave

Professeur au Collège de France



ZÉRO-CARBONE (2050) : VRAIMENT ?

Climat : encore des projets de nouvelles centrales à charbon dans 34 pays, dont la Chine

L'Express avril 2022

Climat : 600 projets de centrales à charbon en Asie

La Chine, l'Inde, l'Indonésie, le Japon et le Vietnam ont au total plus de 600 nouvelles centrales à charbon en projet.

France Info/AFP juin 2021

Demain, encore des fossiles

- Il sera difficile de se passer des fossiles si vite
- De nombreux pays continueront à les utiliser
- La population mondiale va augmenter (+ 2 milliards)
- Nous aurons des besoins massifs de carbone
- Tout ne sera pas électrique (ex: transports)
- La construction massive de nouvelles centrales nucléaires de parcs éoliens et solaires, etc.. demanderont des quantités massives d'énergie et de matériaux émetteurs (ciment, acier, etc..)
- 100% de notre électricité ne sera pas renouvelable
- Tout le CO2 ne sera pas capturé et séquestré

ZÉRO-CARBONE (2050) : VRAIMENT ?

La consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté d'environ 1 % en 2022 (hausse de près de 3 % comparé aux niveaux pré-Covid de 2019)

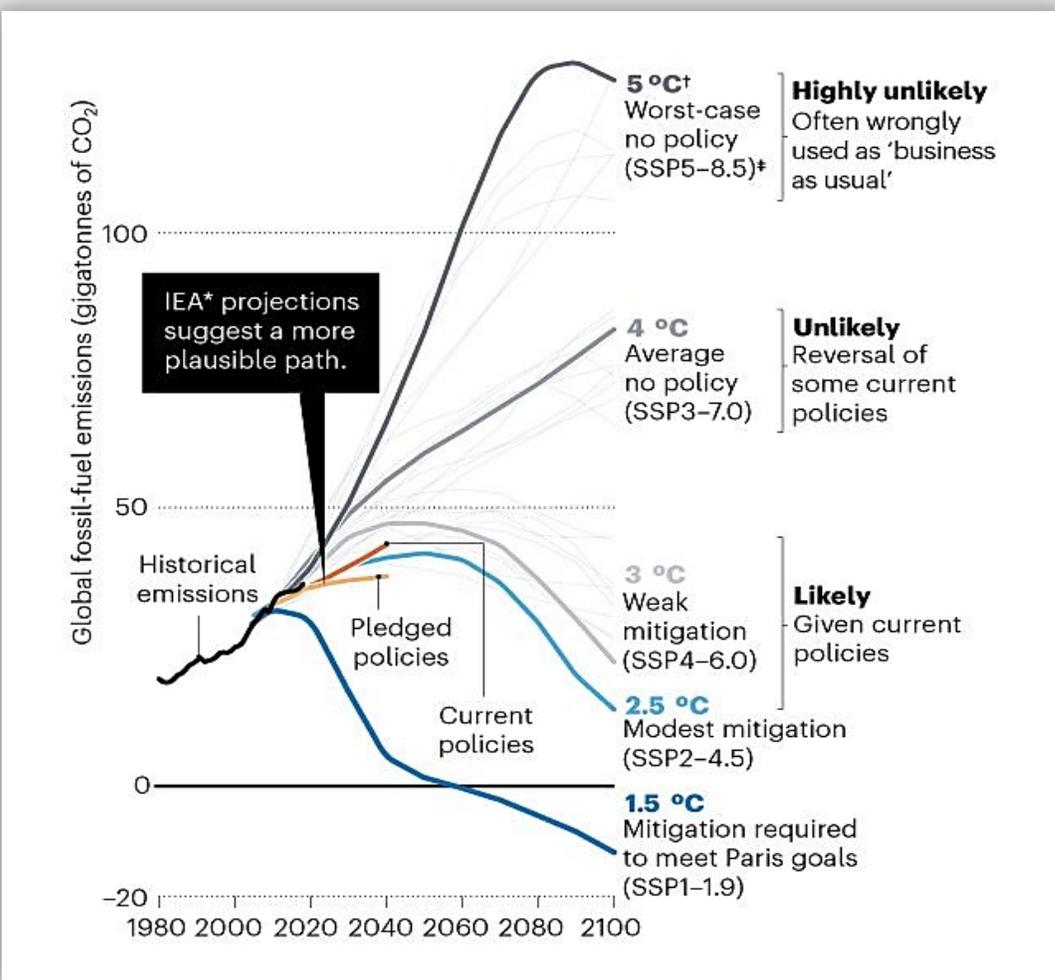
Les carburants fossiles représentent 82 % du total des énergies consommées, malgré la montée en force des renouvelables.

Les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation énergétique, des processus industriels, ont augmenté de 0,8 % l'an dernier et atteint de nouveaux records .

Les énergies renouvelables ont bénéficié en 2022 de la plus forte augmentation de capacité de production d'énergie solaire et éolienne, pour parvenir conjointement à une part record de 12 % de la génération d'électricité.

1,5°C (2100) : VRAIMENT ?

Plutôt 2,5-3 °C

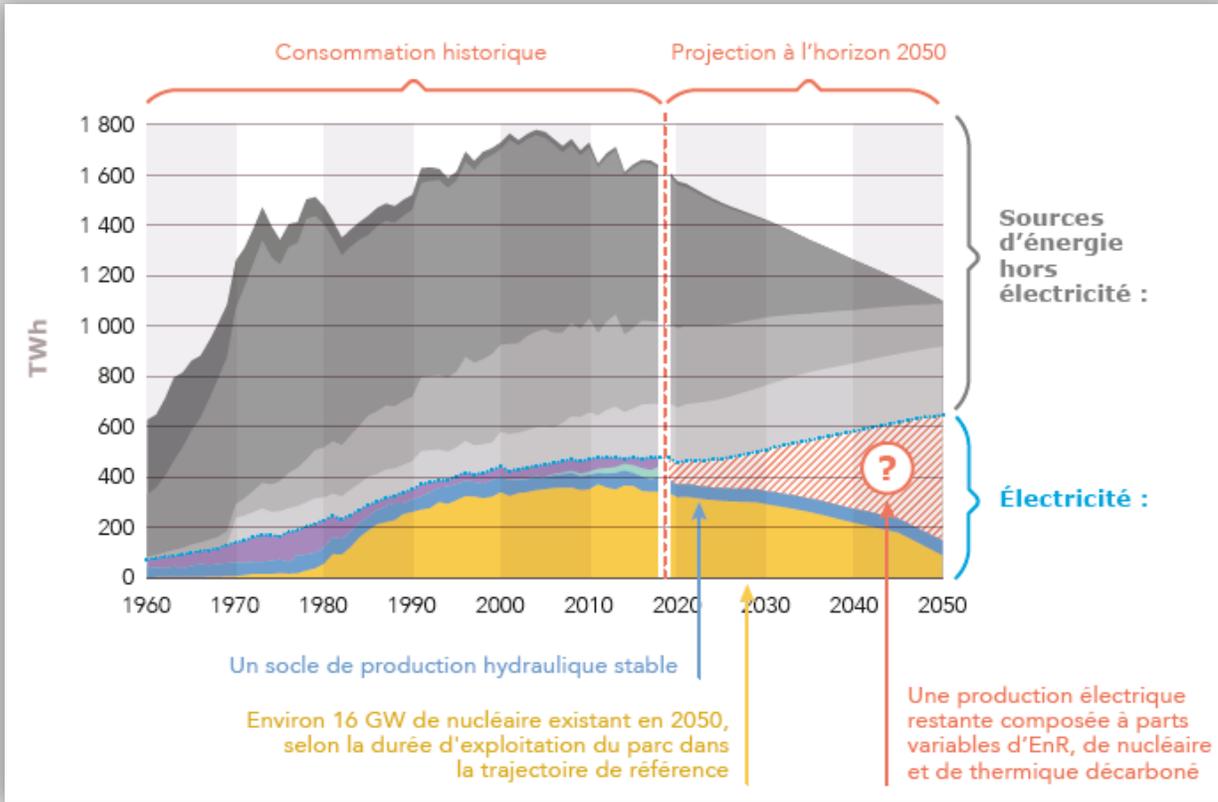


Adaptation au changement climatique !

- Rénovation de l'habitat
- Climatisation (énergie bas-carbone)-végétalisation
- Protection des infrastructures (usines, services publics,...)
- Aménagement du territoire (littoral, zones inondables, à risque)
- Nouvel urbanisme (débitumisation, végétalisation, éclaircissement des toitures, réseaux de froid, mobilités, etc..)
- Adaptation du service hospitalier (réponses aux crises-nouvelles maladies)
- Systèmes de prévision météorologiques
- Gestion de l'eau (eau potable/irrigation)
- Gestion des forêts
- Optimisation des forces d'intervention (pompiers,..)
- Assurances (indemnisations catastrophes)

➔ **Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (fin 2023)**

MIX ELECTRIQUE ?



Scénario de référence RTE

■ Charbon
■ Pétrole
■ Gaz (aujourd'hui fossile, demain décarboné)
■ Bois, biocarburant, déchets, chaleur

■ Électricité d'origine thermique fossile
■ Électricité d'origine éolienne, photovoltaïque et issue de bioénergies
■ Hydraulique
■ Électricité d'origine nucléaire

un mix électrique complexe
nucléaire + solaire + éolien
+.... gaz



- **Avis de l'Académie des Sciences (2021)**
 - ✓ Prolongation des centrales (40 > 60 ans)
 - ✓ Construction de nouveaux réacteurs (EPR-SMR)
 - ✓ Recherche et développement des réacteurs à neutrons rapides (RNR)

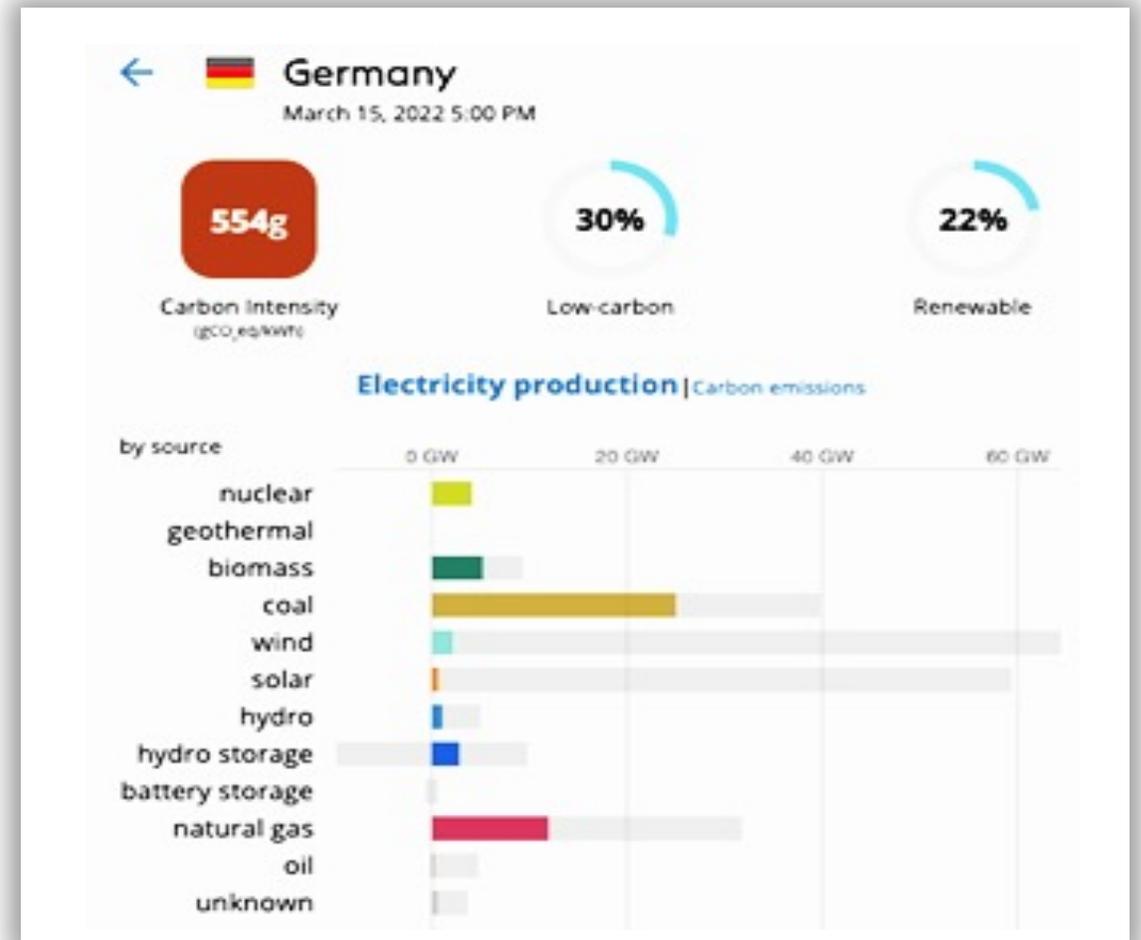
ELECTRICITE 100% RENOUVELABLE ?



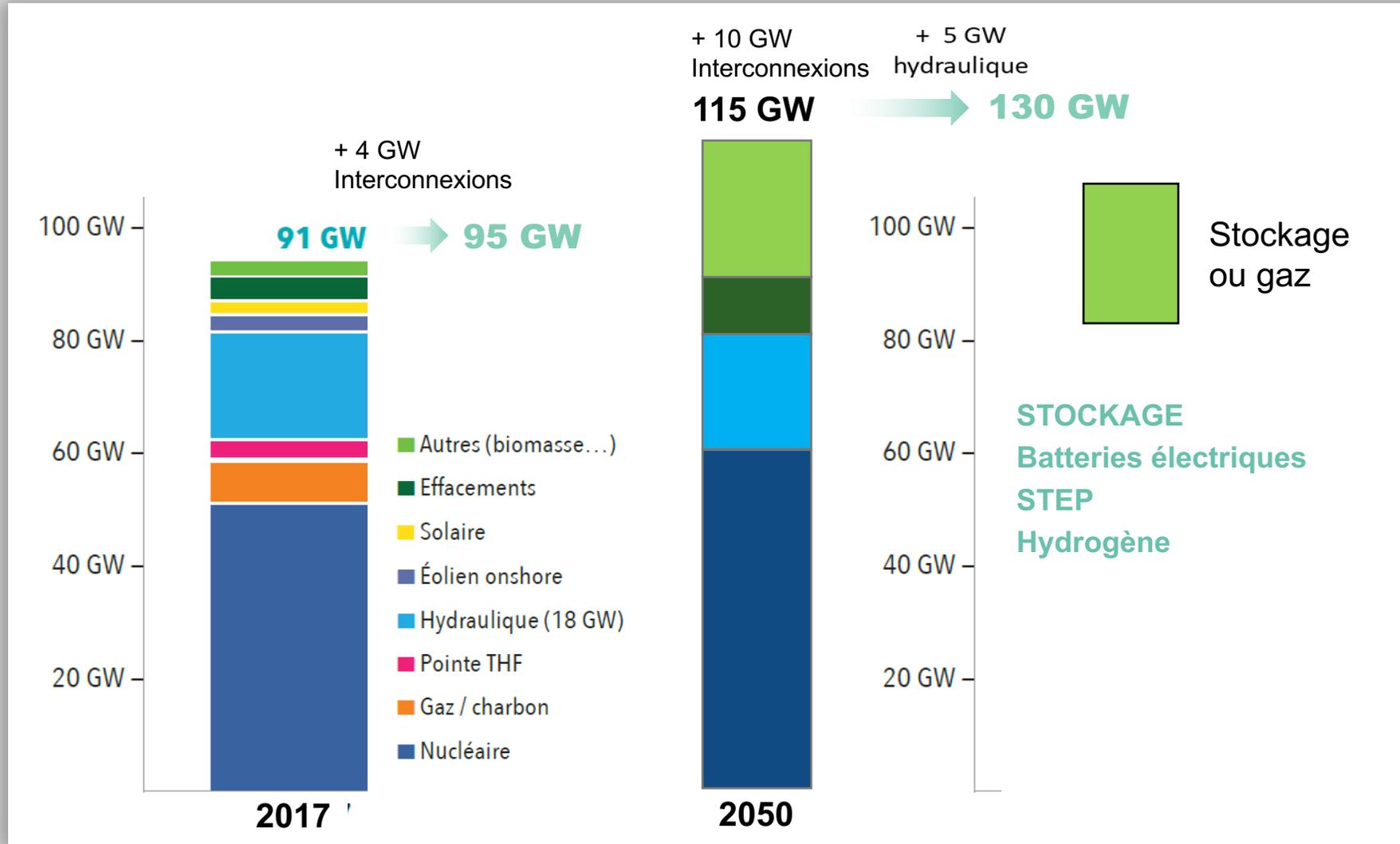
Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050

- Disposer de **capacités de puissance décarbonées pilotables**
- Développer le **stockage d'énergie** (batteries, hydrogène, hydro...)
- Nouvelles **infrastructures de réseaux électriques**

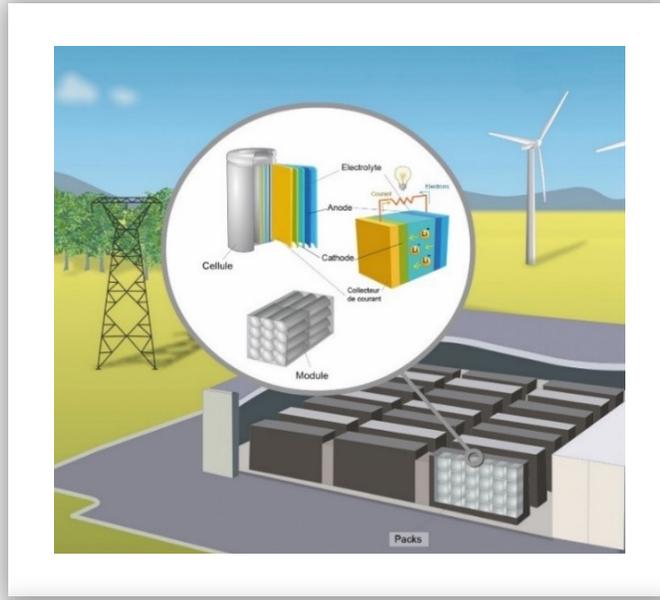
Allemagne : illustration



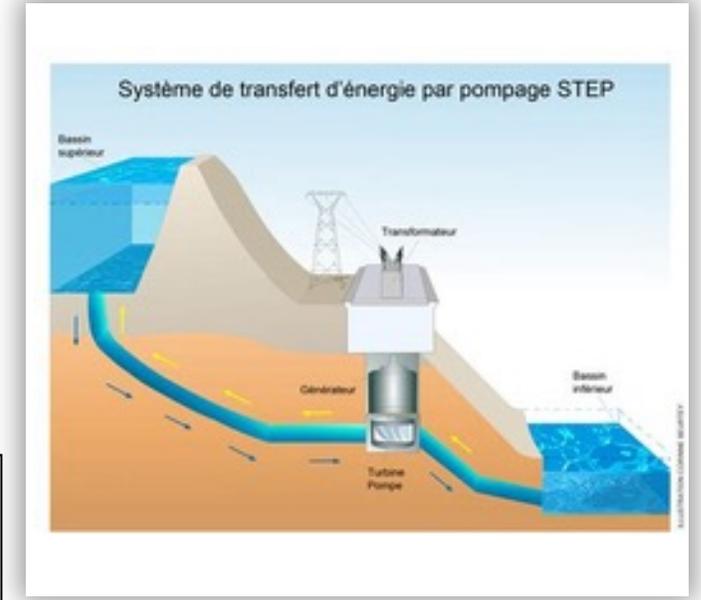
DU GAZ POUR LES POINTES ?



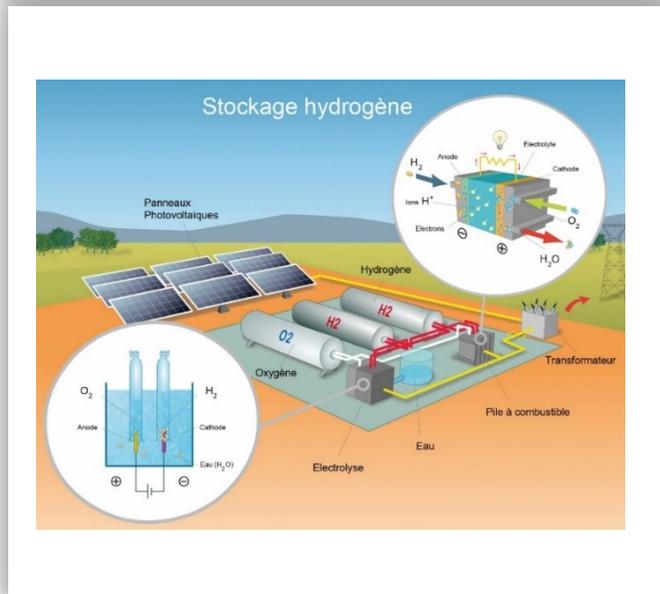
MOYENS DE FLEXIBILITE



**Stockage électrochimique
(batteries)**



**Stockage hydraulique
(STEP)**



**Stockage chimique
(hydrogène)**

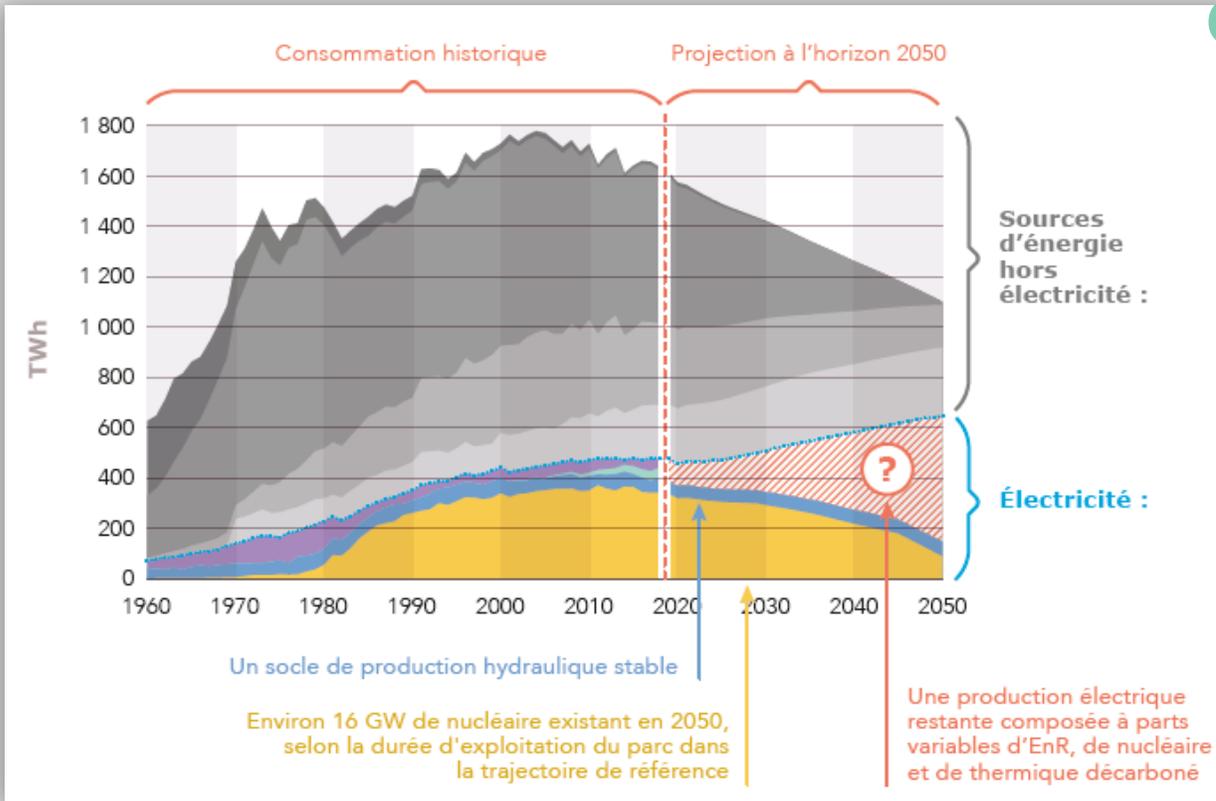
+ flexibilité de la demande

+ échanges trans-frontaliers

+ sources pilotables (gaz, nucléaire)

DEMAIN QUEL CARBONE ?

Carburants, plastiques, médicaments, ...



Scénario de référence RTE

■ Charbon
■ Pétrole
■ Gaz (aujourd'hui fossile, demain décarboné)
■ Bois, biocarburant, déchets, chaleur

■ Électricité d'origine thermique fossile
■ Électricité d'origine éolienne, photovoltaïque et issue de bioénergies
■ Hydraulique
■ Électricité d'origine nucléaire

Les biocarburants

(bioéthanol, biodiesels, biokerosene)

- biocarburants de 2ème génération (valorisation des matériaux ligno-cellulosiques)
- biocarburants de 3ème génération (microalgues, photobioréacteurs)

Le biogaz

(biomasse agricole, déchets ménagers et industriels)

- Méthanisation/pyrogazéification
- Estimation des gisements et ACV

Les carburants alternatifs

- H₂
- Capture, stockage et valorisation du CO₂

Le bois

PHOTOSYNTHÈSE AU COLLÈGE DE FRANCE

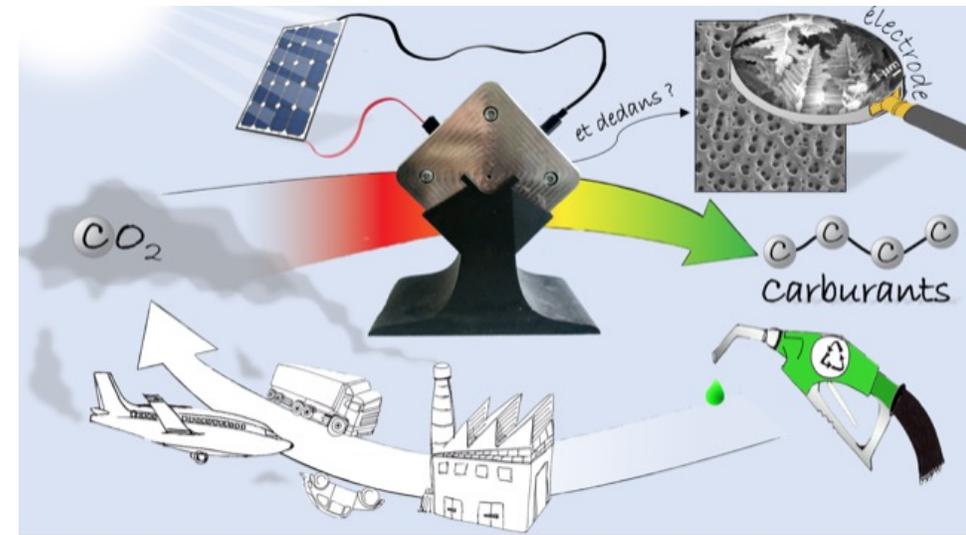
L'éthylène: aujourd'hui

Éthylène → Polyéthylène

Éthylène : 220 millions de tonnes (2020)

- A partir de ressources fossiles
- Énorme demande énergétique (750-950°C)
- Production de gaz à effet de serre (2 tonnes de CO₂ / tonne éthylène)

L'éthylène: demain?
CO₂+eau+soleil



Low-cost high efficiency system for solar-driven conversion of CO₂ to hydrocarbons
M. Fontecave and collaborators
Proc. Natl. Acad. Sci. 2019, 116, 9735-9740

CLIMAT ET ENERGIE: « NOUVEAUX » PARADIGMES

- **Adaptation !**
- **Stockage d'énergie**
- **Nouveau Carbone ?**

Marc Fontecave

Professeur au Collège de France



Les sciences pour un développement durable

Michel Spiro

President de l'Union Internationale de Physique

Président de l'Année Internationale
des Sciences Fondamentales pour un développement durable
2022/2023 (IYBSSD)

<https://www.iybssd2022.org/en/home/>

Exemples

- ☞ Les vaccins et les traitements contre la Covid-19 sont pleins de biologie fondamentale (ADN, ARN...)
- ☞ Le WEB est né au CERN des besoins de collaboration pour la recherche du boson de Higgs
- ☞ Le moteur de recherche de Google vient d'une idée mathématique brillante
- ☞ L'intelligence artificielle repose sur des méthodes statistiques originales
- ☞ Les téléphones cellulaires sont remplis de semi-conducteurs
- ☞ Le GPS repose sur la théorie très abstraite de la relativité Générale d'Einstein.
- ☞ L'économie verte reposera sur des innovations inattendues
- ☞ La seconde révolution quantique aura des applications que l'on ne sait prévoir!!
- ☞

Déclaration de l'année internationale!

- ☞ Stimulées par la curiosité, les sciences fondamentales sont le fondement de l'éducation et le moteur des découvertes.
- ☞ Elles engendrent de nouvelles applications au service d'un développement durable et inclusif qui servira à son tour à alimenter la curiosité.
- ☞ C'est ce cercle vertueux que nous voulons promouvoir.
- ☞ Pour atteindre ce but, nous aurons besoin de tous: enseignants, chercheurs, entrepreneurs, et la société en général pour produire et s'emparer des connaissances et les mettre au service d'un développement durable.
- ☞ Une décennie des sciences et de toutes les connaissances pour un développement durable serait nécessaire.

Objectifs du développement durable



Les sciences pour un développement durable

- Énergies décarbonées: hydrauliques, solaires, vent, nucléaire de fission, nucléaire de fusion, biocarburants, hydrogène produit de manière décarboné
- Climat: se passer des ressources fossiles telles que charbon, pétrole, gaz, séquestrer le CO₂
- Biodiversité: protéger la biodiversité
- Eau: dépolluer les océans, pêche durable, cycle de l'eau
- Sols: comprendre les sols, les refertiliser (biochar)
- Santé: prévenir les épidémies, les pollutions, manger moins de beef

Cible: imiter la nature dans l'économie

- 🌀 Viser une économie juste et circulaire alimentée par de l'énergie décarbonée avec une planète saine et vivante
- 🌀 Cela demande beaucoup d'idées nouvelles, de recherche et d'innovation. Cela demande aussi de transformer les modes de vie
- 🌀 Cela demande la mobilisation de tous: enseignants, chercheurs, entrepreneurs, et la société dans son ensemble

Éthique, intégrité et durabilité

- 🌐 Les enjeux sont globaux mais se déclinent localement. Ils sont tous interconnectés. Il faut consolider les données, les vérifier.
- 🌐 Pour y faire face, il faut une collaboration mondiale, intégrative et transformative pour atteindre la durabilité
- 🌐 Chacun doit agir avec éthique, intégrité et en ayant conscience des défis du développement durable qui sont devant nous: cela doit faire partie de l'enseignement doctoral. L'éducation à tous les niveaux est nécessaire.



Table ronde prospective de l'énergie

Valérie Masson-Delmotte,
Marc Fontecave
Michel Spiro

Stanislas Pommeret

Paris, le 6 juillet 2023