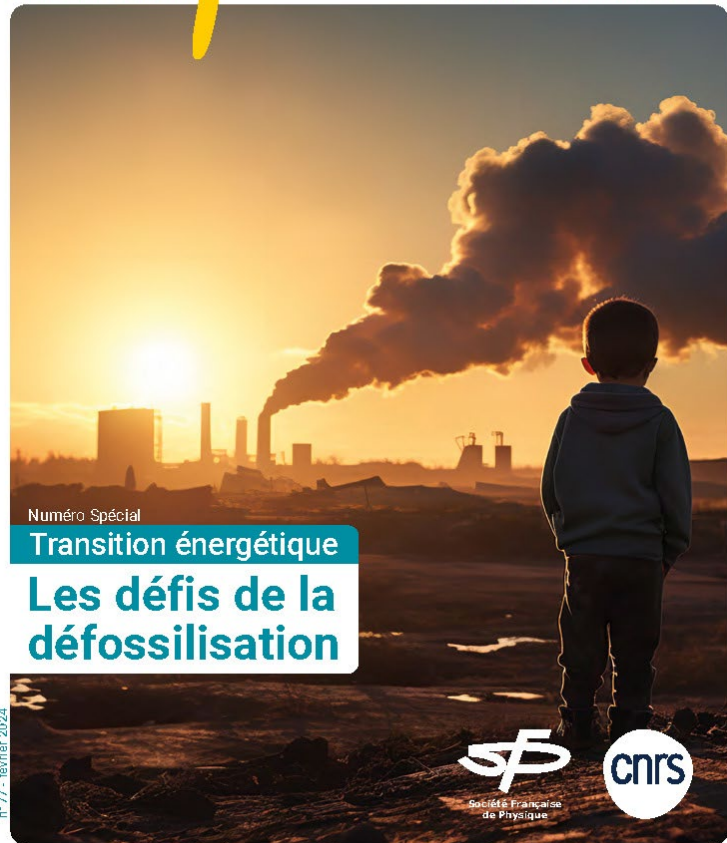


Reflets N°77, spécial "Transition énergétique", Les défis de la défossilisation

de la **PHYSIQUE** **reflets**
n°77
février 2024
www.refletsdelaphysique.fr
Revue de la Société Française de Physique



Transition énergétique Les défis de la défossilisation

PRENDRE LA MESURE DES ENJEUX ET DES DÉFIS

LES PRINCIPALES SOURCES D'ÉLECTRICITÉ
ET DE CHALEUR BAS CARBONE

QUELQUES PISTES DE DÉFOSSILISATION
EN COURS D'EXPLORATION

GESTION DES SOURCES ÉLECTROGÈNES
NON PILOTABLES

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX
ET RISQUES DES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES

Article disponible sur le site <https://www.refletsdelaphysique.fr>

<https://www.refletsdelaphysique.fr/articles/refdp/abs/2024/01/contents/contents.html>

Reflets N°77, spécial "Transition énergétique", Les défis de la défossilisation

Il est de notre devoir de montrer aux jeunes générations qu'un chemin d'espoir est possible et que la transition écologique pourra réussir grâce à un dialogue fécond entre scientifiques, citoyens et décideurs politiques.

La prise en compte des contraintes objectives et des lois de la nature n'est pas une option ou, comme l'écrivait Francis Bacon (1561-1626), "Natura non nisi parendo vincitur", c'est-à-dire « On ne commande la nature qu'en lui obéissant ».



Dessin réalisé par Maika au moment du lancement de ce numéro, en 2017.
Je dédie ce dossier à tous les enfants, et en particulier à mes deux petites-filles Maika et Shino.
Les générations futures ne doivent pas être abandonnées aux affres de l'éco-anxiété, ni livrées aux chimères ou aux dystopies radicales.

gerard.bonhomme@univ-lorraine.fr



„Überzeugungen sind gefährlichere Feinde der Wahrheit als Lügen“

Friedrich Nietzsche (Werk: Menschliches, Allzumenschliches)

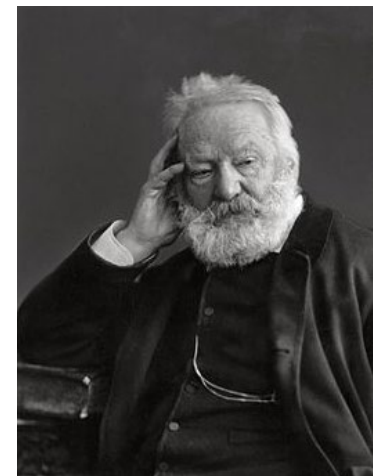
« *Les convictions sont de plus dangereux ennemis de la vérité que des mensonges* », **30 mai 1878**



“On ne commande la nature qu'en lui obéissant.” **Francis Bacon** (1561-1626) “*Natura non nisi parendo vincitur*”

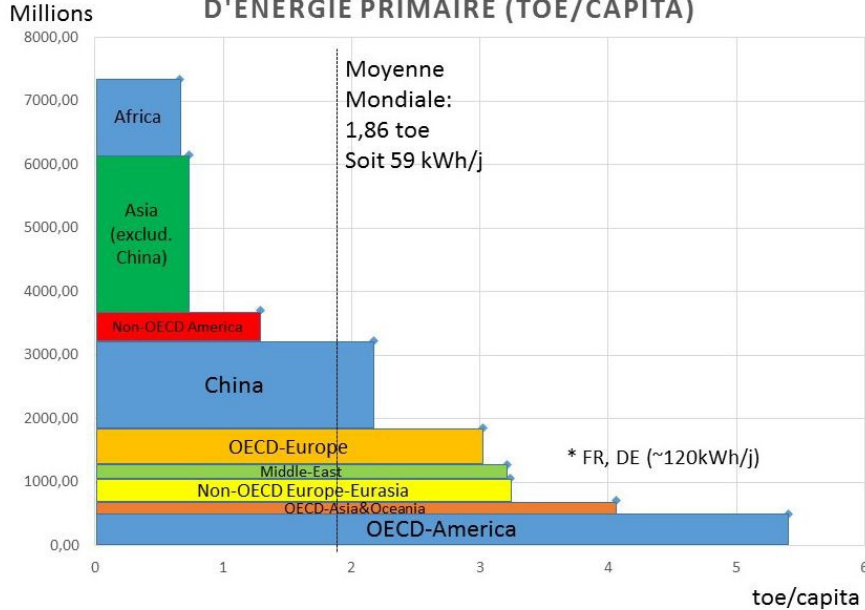
“...Il faut, se dépouillant de toute opinion exagérée, ouvrir au règne de la philosophie et des sciences (trésor des puissances humaines), un accès comme celui du royaume des cieux, où il n'est donné d'entrer qu'avec le cœur de l'innocence; car la nature ne se laisse vaincre que par celui qui sait lui obéir”.

« *Quel est le plus grand péril de la situation actuelle ? L'ignorance, l'ignorance plus encore que la misère... C'est à la faveur de l'ignorance que certaines doctrines fatales passent de l'esprit impitoyable des théoriciens dans le cerveau confus des multitudes... Le jour où l'ignorance disparaîtrait, les sophismes s'évanouiraient* ». **Victor Hugo** (Discours devant l'Assemblée nationale - 11 novembre 1848)

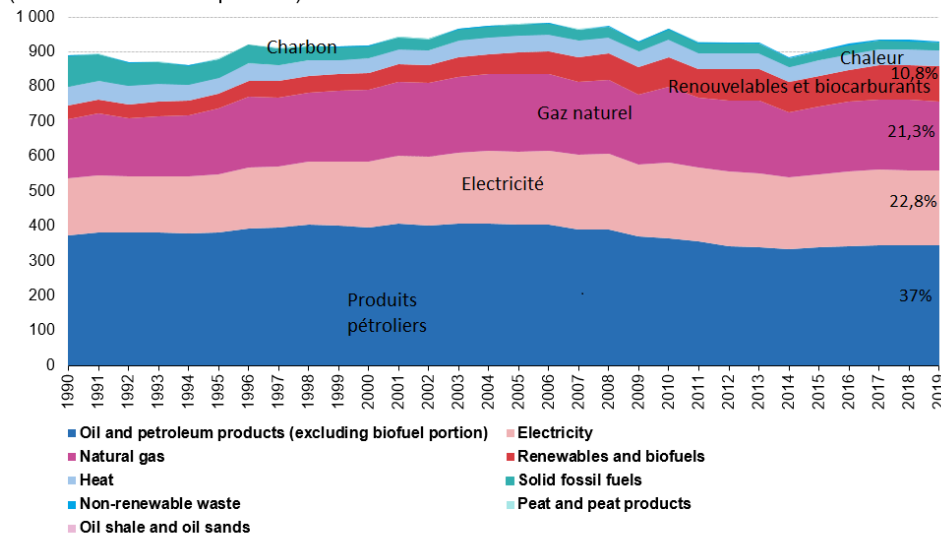


Les besoins en énergie de nos sociétés

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DE L'USAGE D'ÉNERGIE PRIMAIRE (TOE/CAPITA)



Final energy consumption by fuel, EU, 1990-2019 (million tonnes of oil equivalent)

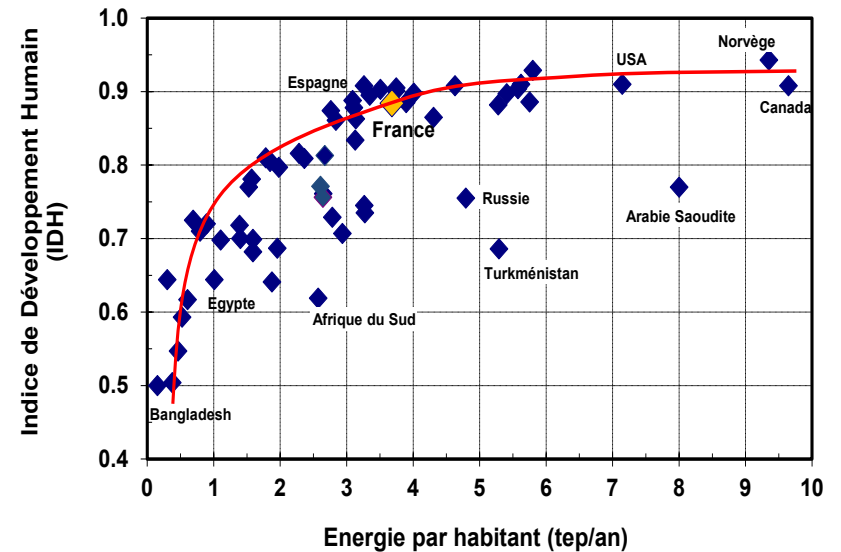


Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)

eurostat

- Énergie primaire vs. Énergie finale
 - Unités: tep (toe), kWh, ...
 - Indice de développement humain
- Voir 1^{ère} partie « Prendre la mesure des enjeux et des défis »

[pages 8-23](#)



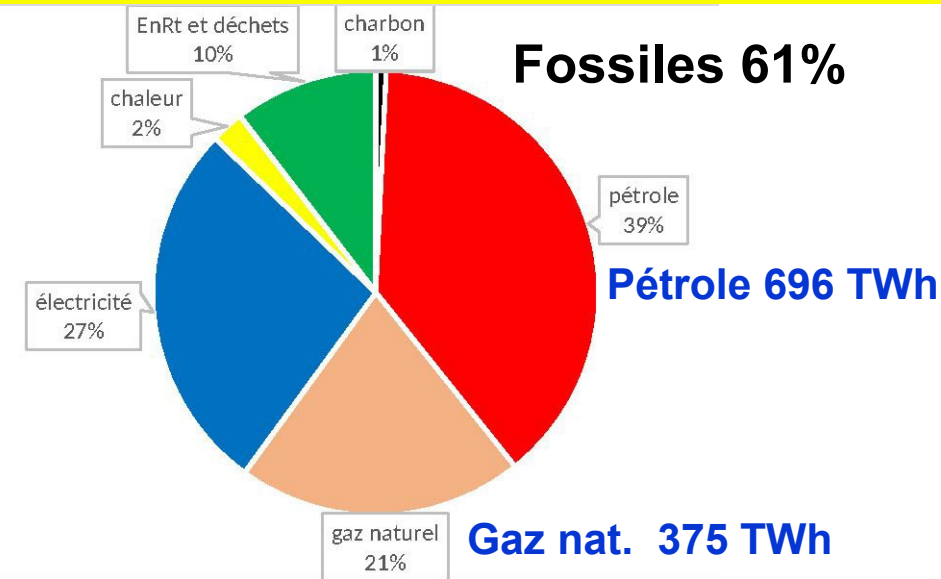
Les besoins en énergie de nos sociétés

- **43 %** : Usages liés aux **bâtiments** : particuliers (résidentiel 27%) ou par des entreprises (tertiaire 16%) : chauffage, cuisson, réfrigération, éclairage, équipements.
- **29 %** : **Mobilité** et transport de marchandise
- **17%** : **Industrie** : les fours, les procédés, etc.
- **3%** : **Agriculture** (machines agricoles, chauffage des serres, etc.)
- **9 %** : Ressources comme matière première (ex. pétrole → plastique, engrais, ...)

Chaleur : ~ 45% de l'énergie finale (50 % résid., 20% services, et 30% industrie) ;
Dont : > 60° Fossiles et > 20% biomasse

→ Scénarios

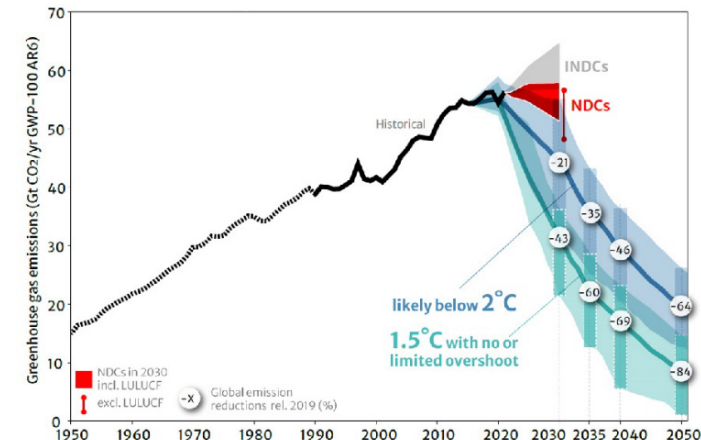
→ Voir 1^{ère} partie « Prendre la mesure des enjeux et des défis » [pages 36-44](#)



Energie finale en 2016: 153,4 Mtep 1784 TWh

Figure 1

Historical emissions from 1950, projected emissions in 2030 based on nationally determined contributions, and emission reductions required by the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change



Le trilemme du conseil mondial de l'énergie

Le « trio gagnant » *Sobriété, Efficacité, EnR* promu par négaWatt peut-il réellement garantir la satisfaction des trois conditions :

1. Sécurité = capacité à répondre à la demande et aux risques de rupture d'approvisionnement
2. Équité d'accès aux ressources énergétiques, à un coût accessible à tous
3. Durabilité = impact environnemental minimum

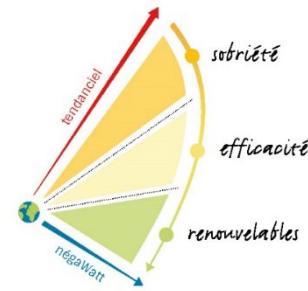
du **trilemme du conseil mondial de l'énergie** ?

<https://www.worldenergy.org>

(Voir la discussion en français sur www.globalshift.ca, bulletin du 14 novembre 2021)

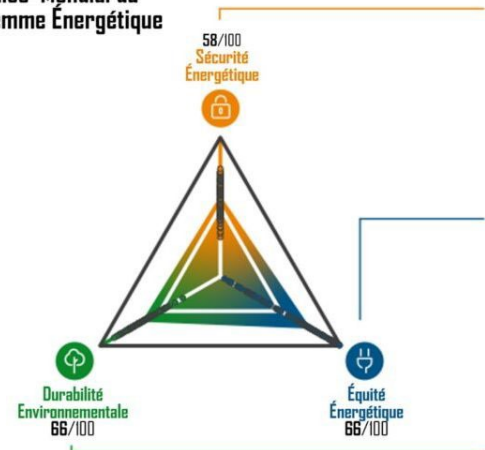
([page 45](#), épilogue de la première partie)

→ **est-il possible à la fois de satisfaire la contrainte climatique, qui requiert de s'affranchir des combustibles fossiles, et de se passer de l'énergie nucléaire, comme source pilotable de production d'énergie ?**



La démarche négaWatt®

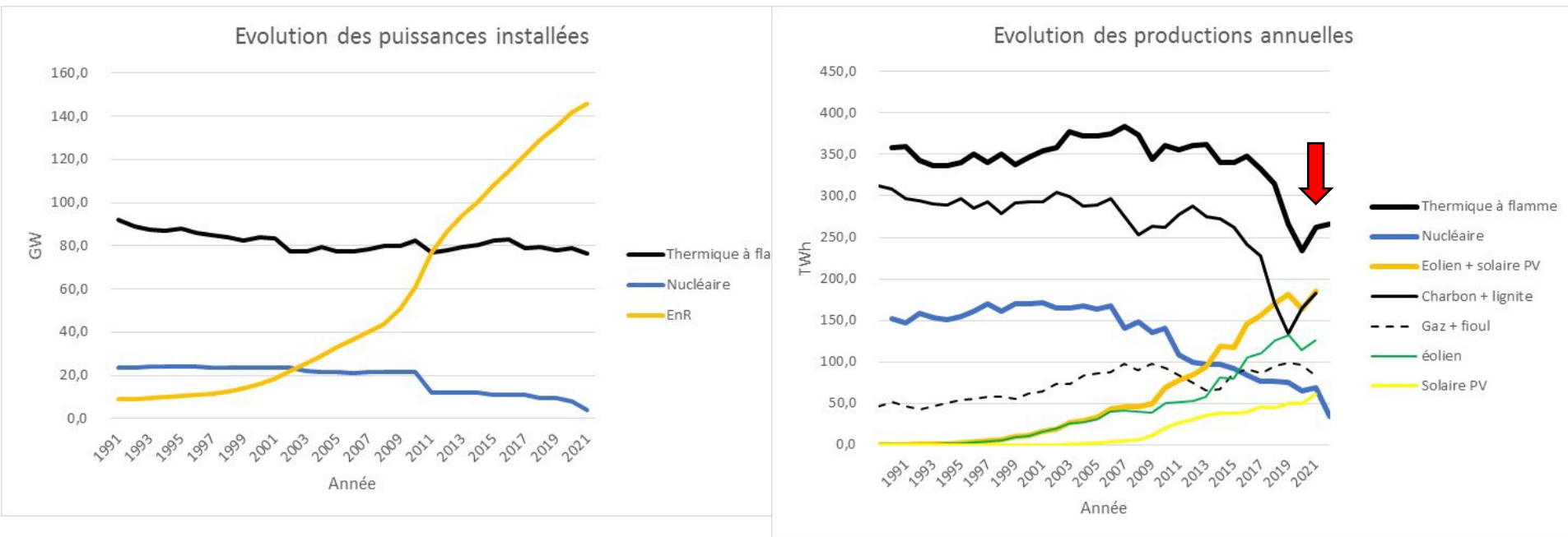
L'Indice Mondial du Trilemme Énergétique



Source: World Energy Council

Sources électrogènes non pilotables : l'exemple Allemand (page 114)

Évolution des puissances installées ... et des productions depuis 1990



Forte croissance des EnR (capacité x10), nucléaire → 0, mais capacité thermique à flamme (pilotable) invariable ~ 90 GW !

→ Équilibre production – demande nécessaire à tout instant → back-up pilotable indispensable (thermique à flamme ou nucléaire → Double système

[Page 114](#) et G. Bonhomme, Annales des Mines (2023),

<https://www.annales.org/ri/2023/resumes/aout/19-ri-resum-FR-AN-aout-2023.html#19FR>

Pour comparer les systèmes énergétiques,

→ Il faut utiliser des critères objectifs !

Ils doivent prendre en compte :

- (i) La **quantité de CO₂** émise par MWh produit ;
- (ii) Les surfaces mobilisées par MWh produit et le réel **potentiel accessible** ;
- (iii) Le volume de **déchets ultimes** produits par MWh ;
- (iv) Le coût sanitaire par MWh ([pages 162-167](#)) ;
- (v) Les quantités de **ressources minérales immobilisées** par MW installé, et consommées par MWh ([page 144-150](#)) ;
- (vi) Le **taux de retour en énergie MWh par MWh** → EROI ([pages 24-29](#))
- (vii) **attention aux coûts cachés de l'électricité !** ([pages 155-161](#))

Quid de la défossilisation de la chaleur ?

- Biomasse (voir pages 50-57)
- Captage et stockage du CO₂ ? (voir pages 78-85)
- Cogénération (voir pages 72-75)

- Non traité dans le dossier :
 - ✓ Thermique des bâtiments, génie civil (matériaux, pompes à chaleur et géothermie) ;
 - ✓ Étude poussée des limites de la sobriété, en prenant en compte la répartition entre empreinte carbone des ménages et celle induite par les usages collectifs.

Quelles conclusions ? Quelles solutions ?

Défi climatique et objectif neutralité carbone →

- ✓ Pas de solution miracle
- ✓ Augmentation nécessaire de la production d'électricité bas carbone, combinant renouvelables et nucléaire, mais la répartition dans le mix doit être dictée de façon à assurer l'équilibre du réseau électrique (pages 135-141)
- ✓ Le nucléaire est incontournable, pour répondre aux besoins en électricité **et en chaleur**, car seule la maîtrise de sources à haute densité peut permettre de découpler consommation d'énergie et consommation de ressources minérales. (pages 144-150)
- ✓ Quelles pistes pour un nucléaire durable ? (pages 96-111)
- ✓ Quelles autres pistes de défossilisation ? (pages 78-95)

Programme du colloque

- 14h15 Enjeux et défis pour le solaire photovoltaïque - par Daniel Suchet (Institut Photovoltaïque d'Ile de France (IPVF), CNRS/École polytechnique)
- 14h45 Les défis posés par les mix électriques à fort taux de renouvelable - par Dominique Grand (Groupe pour une expertise indépendante et rationnelle sur l'énergie (GIRE))
- 15h15 Les enjeux et défis du captage et du stockage de CO2 - par Florence Delprat-Jannaud (IFP Energies nouvelles)
- 15h45 Table ronde : "Quels impacts de la limitation des ressources en combustibles fossiles, en ressources minérales et en biomasse ? Quelles solutions ?"

Avec :

Petros Chatzimpiros (Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain (LIED), Université Paris-Cité)

Emmanuelle Galichet (Cnam)

Jacques Treiner (Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain (LIED), Université Paris-Cité ; Shift Project)

Modération : **Jean-Louis Bobin** (Sorbonne Université)