

Les Energies Renouvelables

Flagy
1^{er} février 2025

Définitions

- › **Energie primaire** : ressources prélevées sur la planète
 - › **Energie finale** : ressources à disposition de l'utilisateur
 - › **Energie utile** : ressources réellement utilisées par l'utilisateur
 - › **Les flux d'énergie**, depuis l'extraction minière de combustibles fossiles, fissiles ou EnR jusqu'à la consommation par l'utilisateur final sont retracés par les **bilans énergétiques**.
1. Pertes dans les opérations de conversion et transport
$$\text{Energie utile} < \text{Energie finale} < \text{Energie primaire}.$$

Définitions

De l'énergie primaire à l'énergie utile :
exemple d'une ampoule à
incandescence de 100 W

Énergie primaire	307,5 Wh _{th}
Énergie secondaire	102,5 Wh _e
Énergie finale	100 Wh _e
Énergie utile	5 Wh _{lumineux}

En France, l'éclairage consomme 49 TWh par an, soit plus de 10 % de la consommation nationale totale d'électricité (ADEME, 2021). La consommation annuelle de l'éclairage des bureaux est de 6 TWh par an.

Pour 1200 lumens d'éclairage :

- 100 W pour une ampoule à incandescence
- 85 W pour une ampoule halogène
- 19 W pour une ampoule fluocompacte
- 12 W pour une LED

Classement des énergies

Au niveau de la production et de la consommation, les différentes formes d'énergie primaire peuvent se classer comme suit :

Énergies fossiles :

- pétrole,
- gaz naturel,
- charbon ;

Énergie fissile :

- Uranium ;

Classement des énergies

Énergies renouvelables :

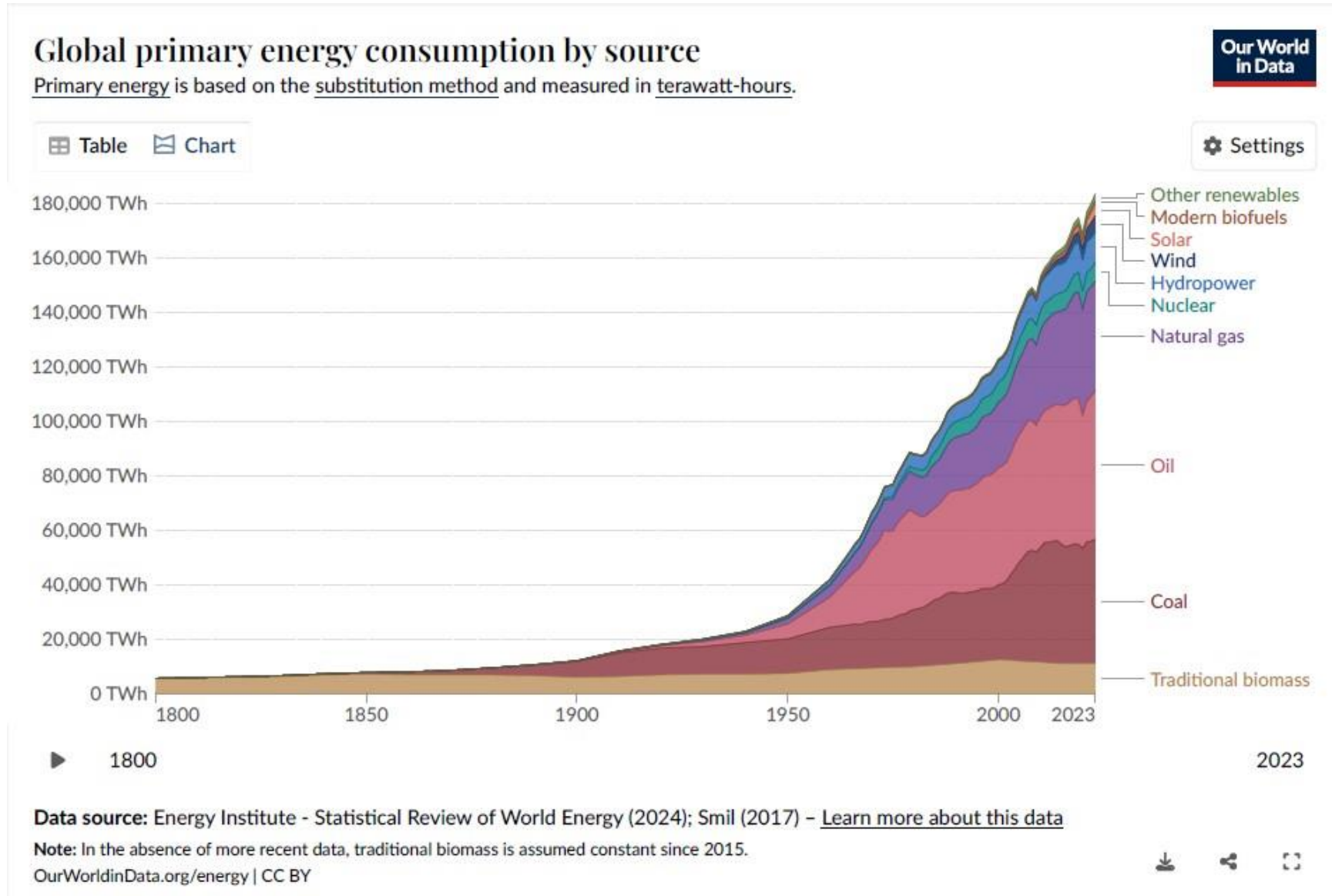
Énergies renouvelables thermiques :

- biomasse :
- bois énergie, résidus de bois et de récoltes,
- déchets (peuvent contenir de la biomasse),
- géothermie,
- énergie solaire thermique,
- énergie thermique récupérée dans l'air, l'eau, le sol, etc. par pompe à chaleur,

Énergies renouvelables électriques :

- énergie hydraulique,
- énergie éolienne,
- énergie photovoltaïque.

Histoire de la consommation énergétique

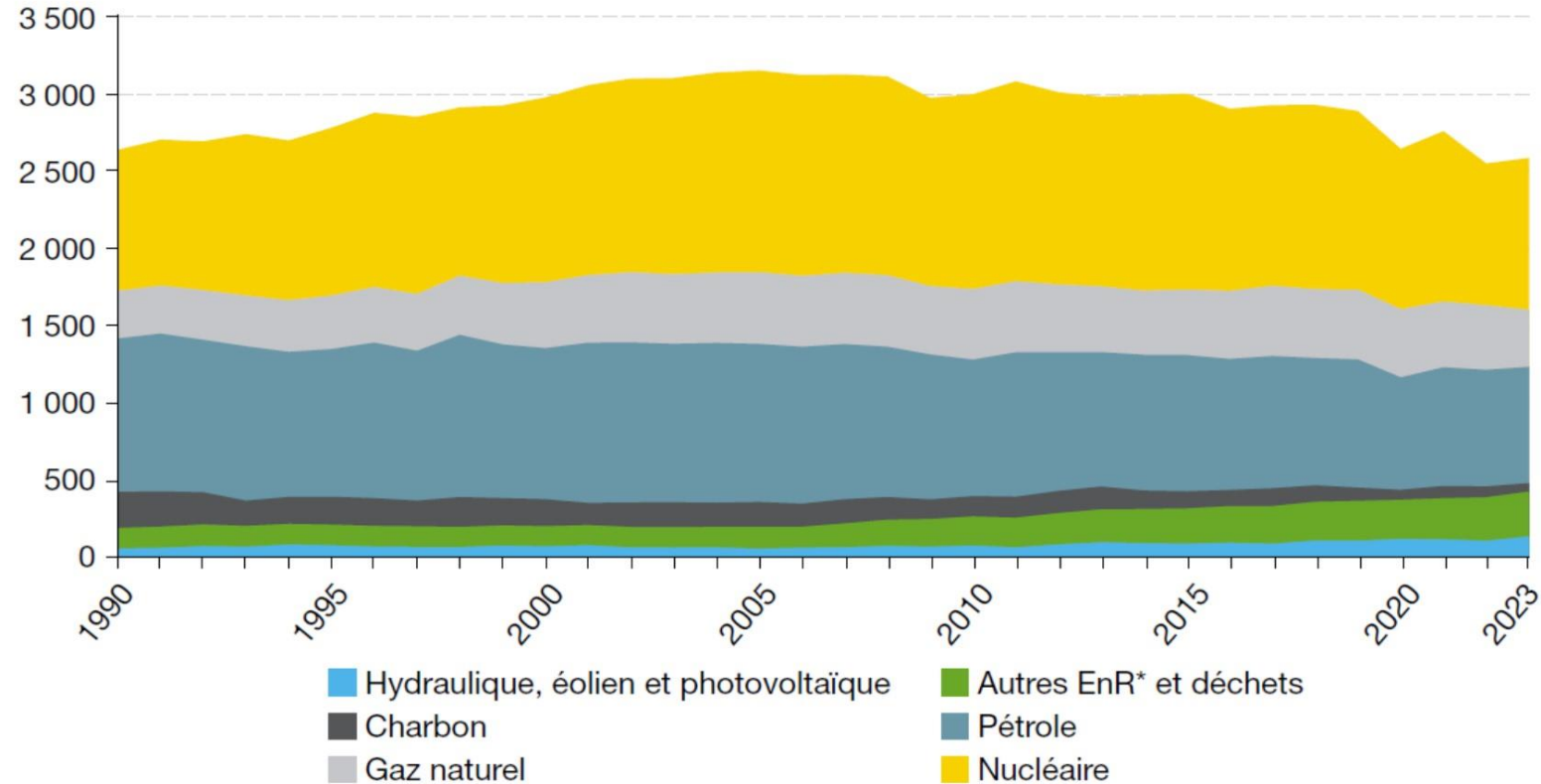


Histoire de la consommation énergétique (France)

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE

TOTAL : 2 582 TWh en 2023 (donnée corrigée des variations climatiques)

En TWh (données corrigées des variations climatiques)



* EnR = énergies renouvelables.

Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine.

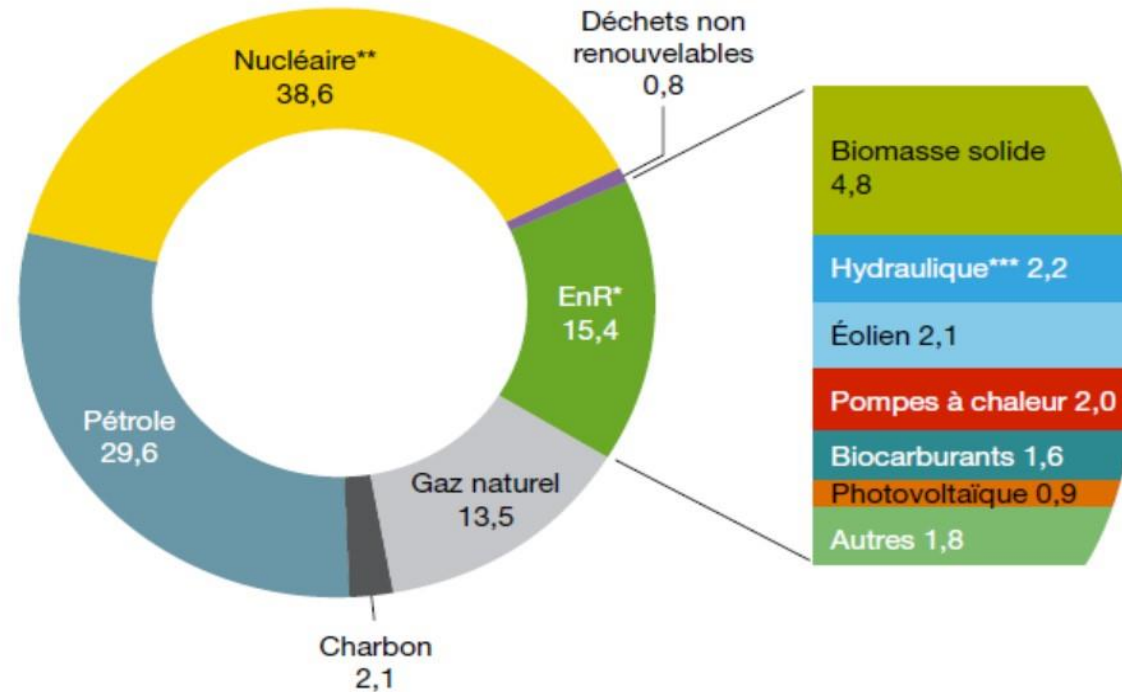
À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.

Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Histoire de la consommation énergétique (France)

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE TOTAL : 2 523 TWh en 2023 (donnée non corrigée des variations climatiques)

En % (données non corrigées des variations climatiques)



* EnR = énergies renouvelables.

** Correspond pour l'essentiel à la production nucléaire, déduction faite du solde exportateur d'électricité. On inclut également la production hydraulique issue des pompages réalisés par l'intermédiaire de stations de transfert d'énergie, mais cette dernière demeure marginale comparée à la production nucléaire.

*** Hydraulique hors pompages.

Note : la production nucléaire correspond à la chaleur dégagée par la réaction nucléaire évaluée par convention à environ le triple de la production d'électricité obtenue au final.

Champ : France.

Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Caractéristiques des différentes énergies

ENSEMBLE DES ÉNERGIES - BILAN ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE

En TWh, en 2022 (données non corrigées des variations climatiques)

Le diagramme de Sankey, représenté ici et communément utilisé pour représenter des bilans énergétiques, retrace l'ensemble des flux (approvisionnement, transformation, consommation, y compris pertes) sous forme de flèches de largeur proportionnelle à la quantité d'énergie.

P : production nationale d'énergie primaire ; DS : déstockage ; I : solde importateur.

¹ Pour obtenir la consommation primaire, il faut déduire des ressources primaires le solde exportateur d'électricité ainsi que les soutes maritimes et aériennes internationales.

² Y compris énergies marines, hors accumulation par pompage.

³ Énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, biocarburants, pompes à chaleur, etc.).

⁴ L'importance des pertes dans le domaine de l'électricité tient au fait que la production nucléaire est comptabilisée pour la chaleur produite par la réaction, chaleur dont les deux tiers sont perdus lors de la conversion en énergie électrique.

⁵ Usages non énergétiques inclus. Pour le charbon, les produits pétroliers raffinés et le gaz naturel, la décomposition de la consommation finale en usages énergétiques et non énergétiques est indiquée entre parenthèses.

Note : pour assurer la cohérence du bilan toutes énergies, les quantités sont toutes exprimées en TWh PCI (pouvoir calorifique inférieur), même pour le gaz, dont l'unité propre est usuellement le TWh PCS (pouvoir calorifique supérieur).

La chaleur commercialisée correspond à la chaleur vendue par les réseaux et la chaleur cogénérée vendue.

Champ : France entière (y compris DROM).

Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Ressources primaires¹
Total : 2 530 TWh

Charbon
72

P + DS : 2

I : 71

Pétrole brut et produits pétroliers raffinés
816

P + DS : 7

I : 809

Gaz naturel
384

P + DS : - 35

I : 419

Biométhane (6)

Production nucléaire
893

Hydraulique², éolien, photovoltaïque
105

EnRt³ et déchets
261

P + DS : 245

I : 19

Soutes internationales maritimes et aériennes

13

50

17

1

Pertes⁴ et usages internes du système énergétique

40

25

9

3

24

69

38

33

< 1

Solde importateur d'électricité : 15

Consommation finale⁵
Total : 1 657 TWh

Charbon
14
(11 + 3)

Produits pétroliers raffinés
711
(601 + 110)

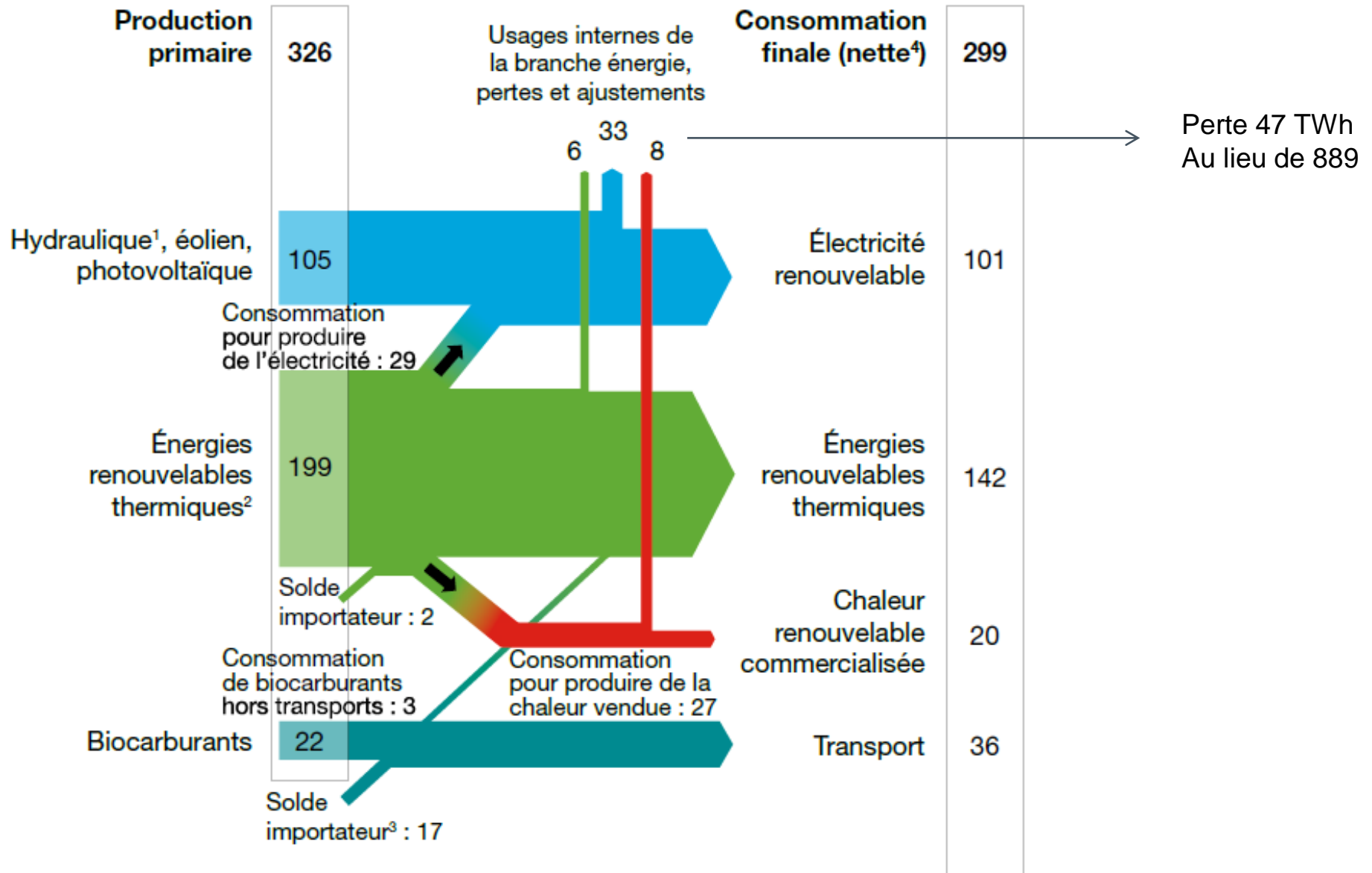
Gaz naturel
288
(276 + 12)

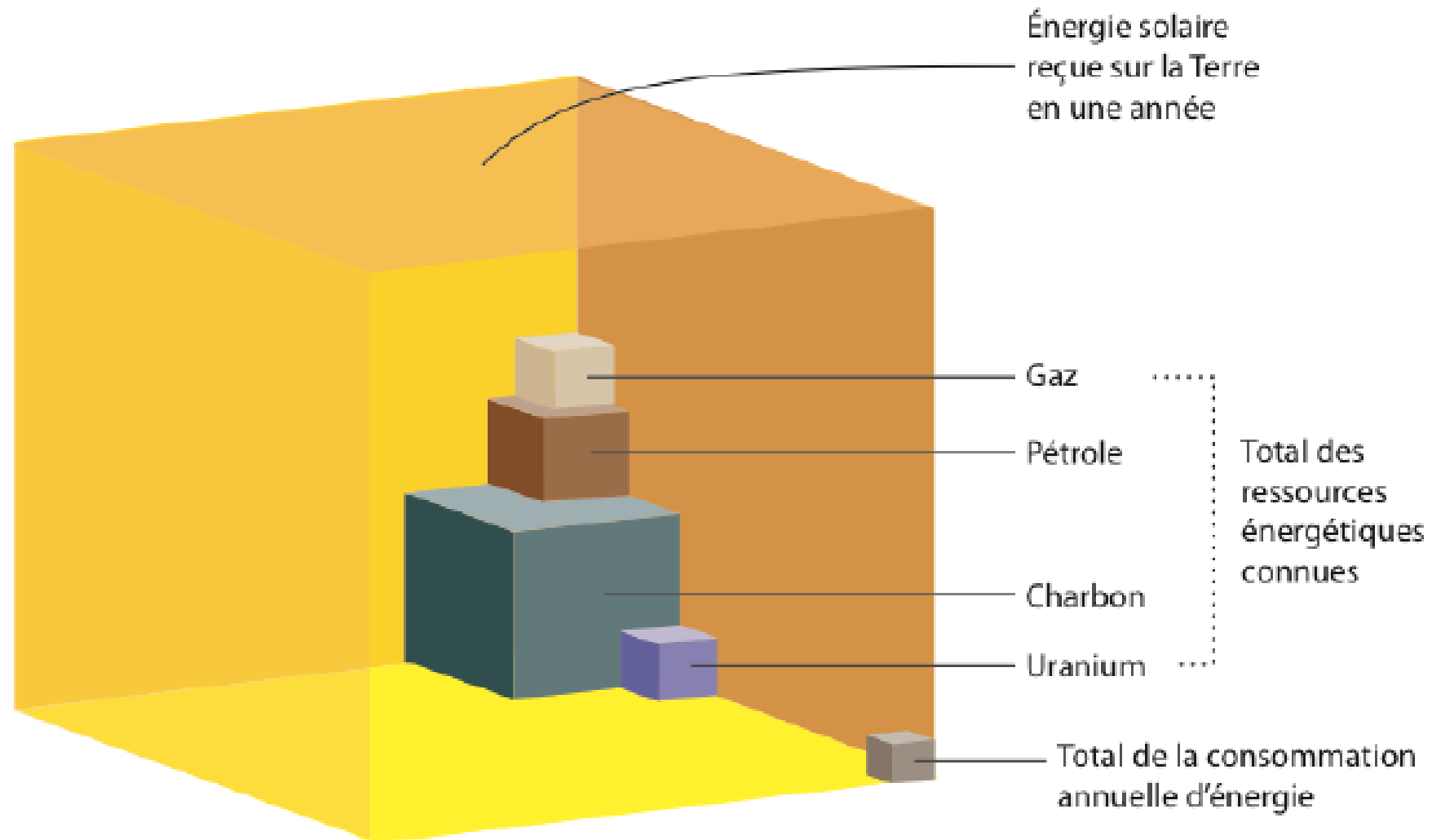
Chaleur commercialisée
46

Électricité
414

EnRt³ et déchets
184

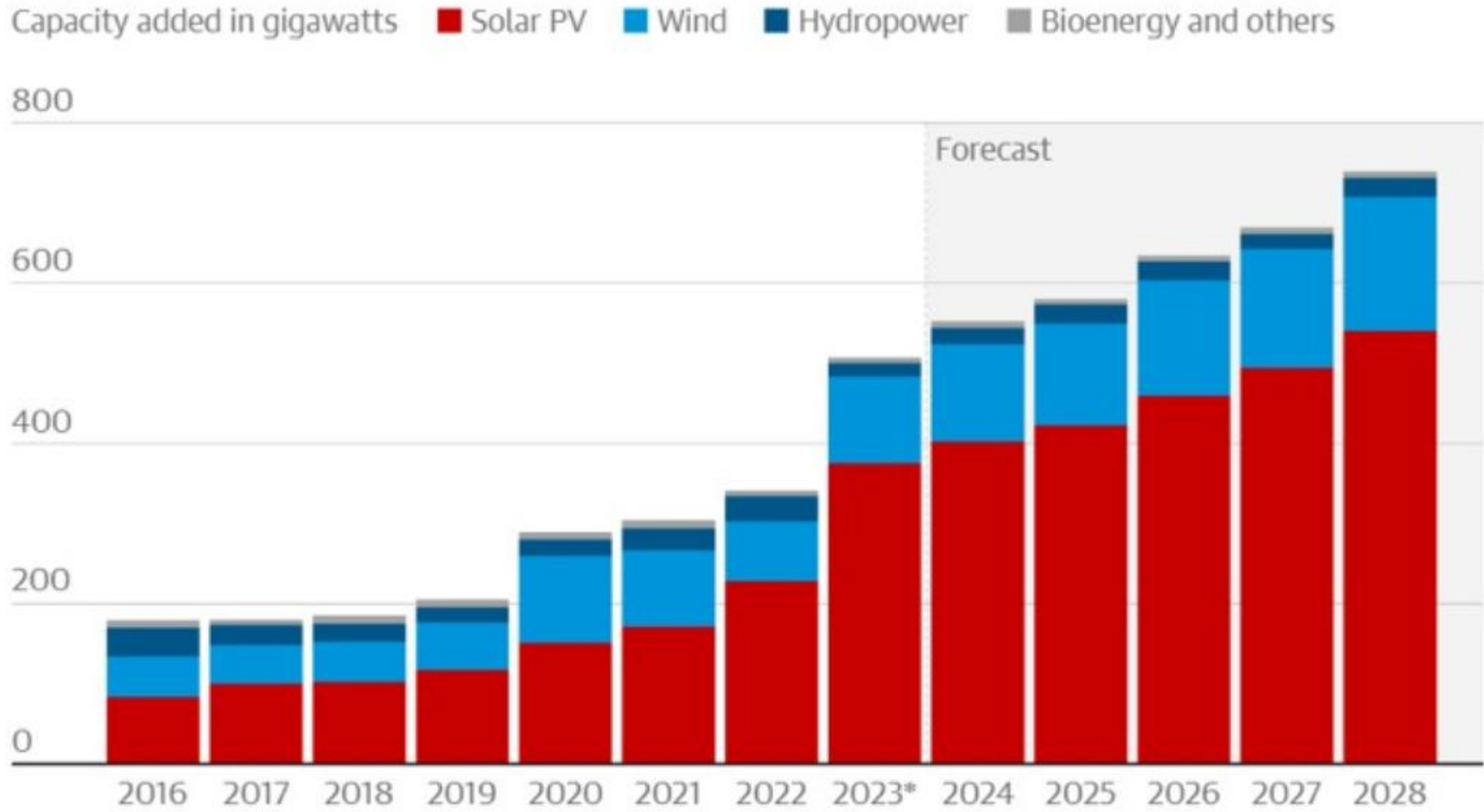
En TWh





Représentation des quantités d'énergies disponibles sur Terre

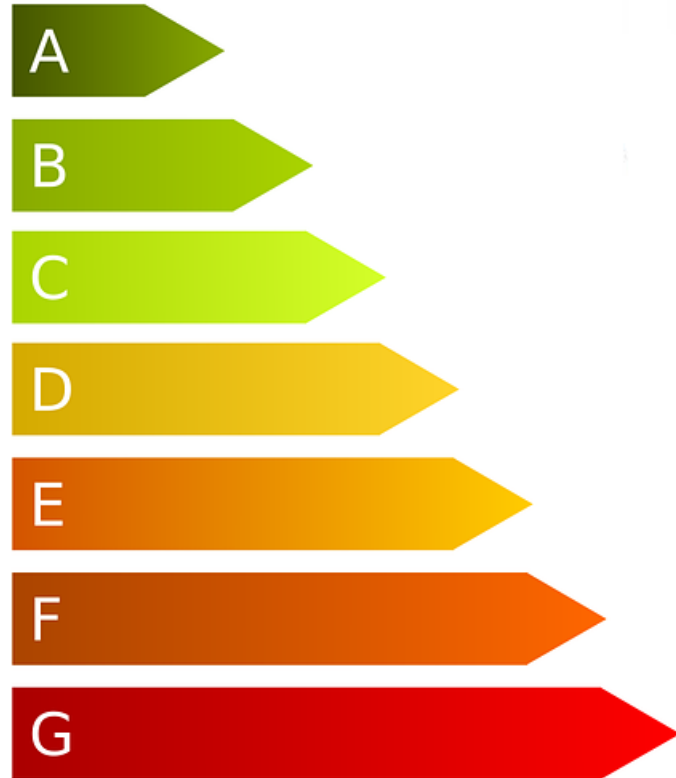
Capacité ajoutée chaque année dans le monde



Guardian graphic. Source: IEA. *2023 capacity estimated. Note: IEA main case projection shown assuming growth trajectory under existing policies and market conditions

Quelle distance pouvez vous parcourir avec 10 kWh d'énergie ?

«du puits à la roue» pertes de production d'énergie



41 km

electric car (Tesla Roadster)



20 km

hybrid car (Toyota Prius)



17 km

combustion engine car (VW Jetta Diesel)



13 km

hydrogen car (Honda FCX)



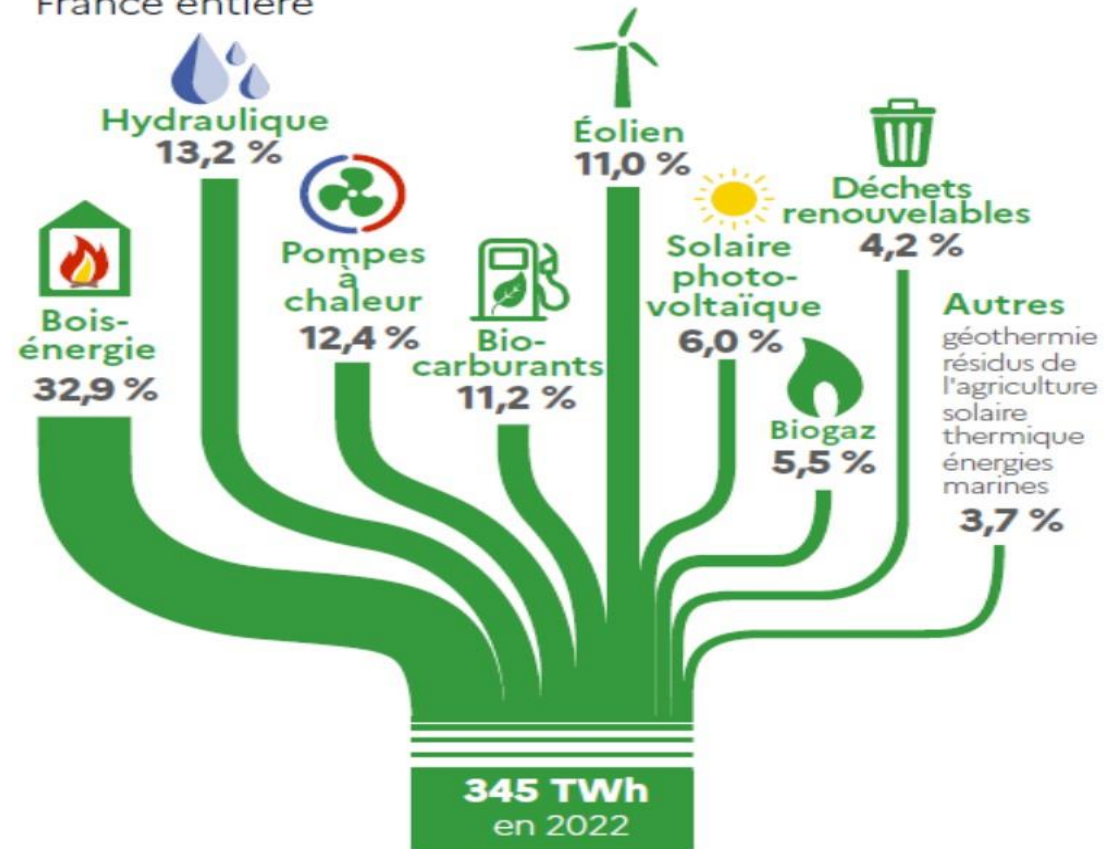
Consommation
moyenne d'un foyer
en énergie électrique
18.5 kWh /jour

«du puits à la roue», c'est-à-dire de la source d'énergie primaire jusqu'à son utilisation finale. Désigne l'analyse énergétique globale d'un point de vue environnemental, de la création d'énergie jusqu'à sa consommation par le véhicule.

Caractéristiques des différentes énergies

Les énergies renouvelables dans notre consommation d'énergie primaire

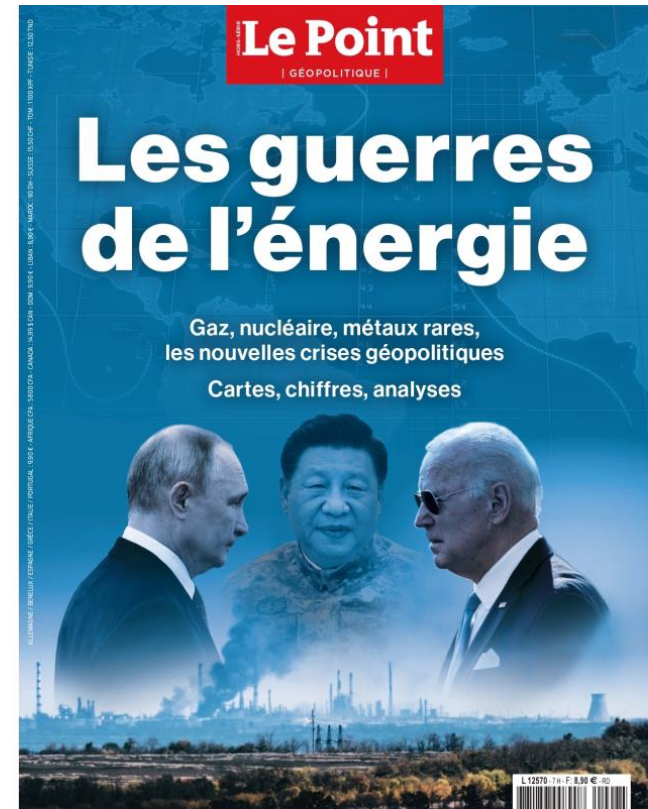
France entière



En France métropolitaine ↗ + 92 %
1990-2022

L'énergie, une arme géopolitique

- › L'énergie au cœur des deux guerres mondiales
- › 1^{ère} guerre mondiale : remplacement du charbon par le pétrole.
- › L'Allemagne nazi vise Bakou en juin 1941 : objectif ses gisements pétroliers.
- › Attaque japonaise de Pearl Harbor, décembre 1941
embargo pétrolier décrété par USA
- › Guerre du Pacifique août 1945 , bombardements
Hiroshima et Nagasaki
- › Guerres de décolonisation : enjeux pétrole et gaz
- › Crises du pétrole (1973 & 1979)
- › Guerres du Golfe (1990 & 2003)
- ...



Caractéristiques des énergies renouvelables

Sources d'énergie	Avantages	Inconvénients
Solaire	Abondant	Variable
	Faible coût	
	Empreinte carbone faible	
Eolien	Empreinte carbone faible	coûts initiaux
		modification paysage
		Variable
Hydroélectricité	Bon rendement	coûts initiaux
	Empreinte carbone faible	impact écosystème
	Puissance	
	Stockage	
Biomasse	diversification	limité
		pollution locale
Géothermie	impact env. réduit	disponibilité géographique
	Fiable	Côuts élevés

Scénarios pour la neutralité carbone en 2050

Principaux scénarios nationaux:

RTE
6 scénarios

négaWatt
1 scénario

ADEME
4 scénarios



Pour **2050**, une augmentation de la consommation électrique annuelle est prévue dans tous les scénarios, **entre 550 et 750 TWh**.

Points communs des scénarios :

- Alignement avec la **Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)** : neutralité carbone, sortie des fossiles.
- Electrification des usages
- Fort développement des EnR
- Sobriété énergétique

Scénarios pour la neutralité carbone en 2050

Les spécificités des scénarios RTE

1

6 scénarios s'appuyant sur les hypothèses de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)

2

- **M0, M1, M23** : développement des EnR.
- **N1/N2/N03** : nouveaux réacteurs (26 à 50 % de nucléaire dans le mix).

3

- Portent uniquement sur l'électricité (25 % de la consommation actuelle, 55 % en 2050).

4

Projections d'impacts :

- **Économiques et environnementaux** : relocalisation, réindustrialisation, besoins en matières, occupation des sols, déchets et polluants.
- **Sociétaux** : impact sur les modes de vie.

Scénarios pour la neutralité carbone en 2050

Les spécificités du scénario négaWatt

1

triptyque **Sobriété énergétique, Efficacité énergétique, Développement EnR**

2

hypothèses de consommation durable de matériaux (scénario négaMat) et la transition agricole est prise en compte (*scénario Afterres 2050 de Solagro*).

3

Un bilan des émissions de gaz à Effet de Serre (GES) global intégrant les émissions importées avec un objectif de **100 % d'EnR en 2050** et une **sortie du nucléaire d'ici 2045**.

4

Sobriété : -21 % de consommations d'énergies en 2030 et -51 % en 2050

Scénarios pour la neutralité carbone en 2050

Les spécificités des scénarios de l'ADEME

1

4 scénarios : S1 « Génération frugale », S2 « Coopérations territoriales », S3 « Technologies vertes », S4 « Pari réparateur »

2

Chaque scénario étudie les :

- **Conséquences** sur les modes de vie et l'économie.
- **Enjeux** techniques, de gouvernance et pour territoires.
- **Déclinaisons sectorielles** : bâtiment, mobilité, alimentation, agriculture, forêts, industrie, déchets, énergie.

3

Ces 4 scénarios explorent un panel large de possibilités en termes d'évolution des modes de vie.

1. La nécessaire accélération du développement des énergies renouvelables en Île-de-France

L'Île-de-France, c'est :

18 %
De la population française
sur 2 % du territoire national
(région la plus peuplée de France
avec 12,3 millions d'habitants)

1/4 des surfaces
de bâtiments tertiaire¹ français,
soit 140 millions de m²

¹locaux concernés par les obligations du dispositif
« éco énergie tertiaire ».

43 millions
de déplacements quotidiens
dont 35 % en voiture ou deux-roues motorisés

5,2 millions
de voitures thermiques

90% d'énergie importée

63% d'énergie fossile

55%
Des bâtiments considérés
comme des **passoires
thermiques**

9 %
des consommations
énergétiques couvertes par la
production locale d'EnR&R



Énergie renouvelable locale : une production limitée malgré un potentiel remarquable pour la chaleur renouvelable

91 % de la production locale d'EnR&R couverte par de la chaleur

X2 le potentiel de développement de la géothermie profonde

37 éoliennes installées sur les 600 km² du territoire francilien favorables réglementairement à l'éolien

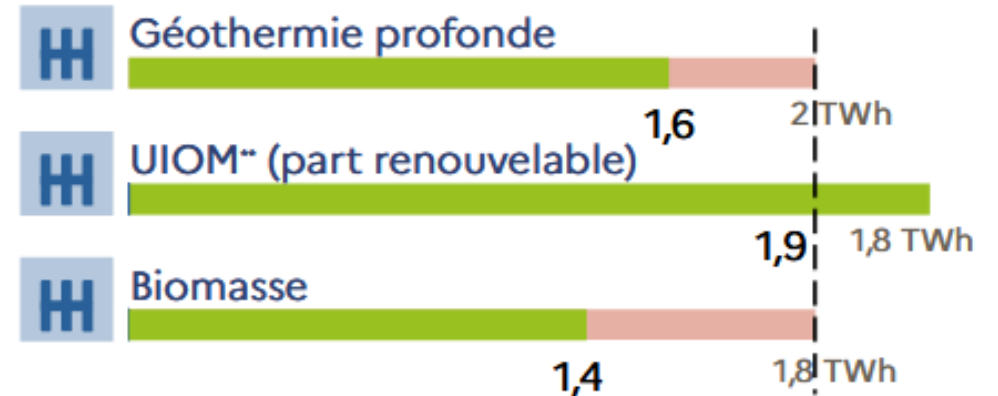
7 % du gaz consommé par des bâtiments situés à moins de 50 m d'un réseau de chaleur

* Schéma régional Climat Air Énergie

** Unité d'incinération d'ordures ménagères

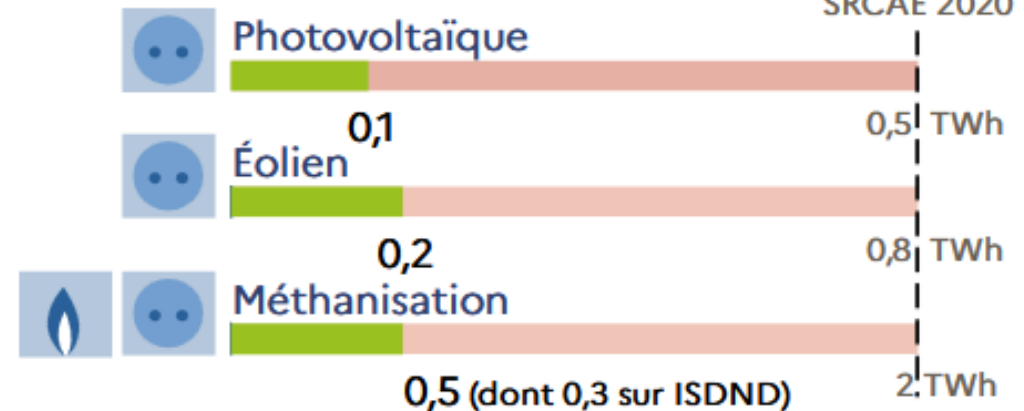
Chaleur renouvelable sur réseaux

Objectif SRCAE* 2020



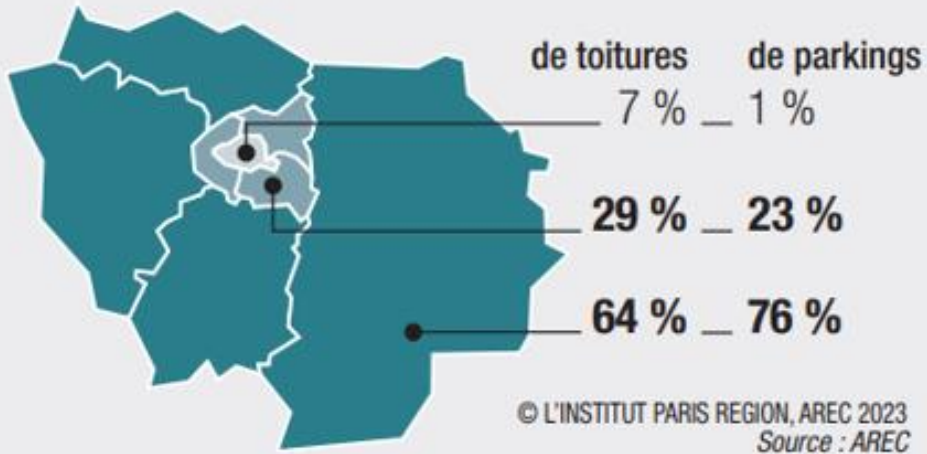
Autres énergies renouvelables (non exhaustif)

Objectif SRCAE 2020



Bilan du SRCAE 2012 : potentiel régional et réalisation en 2020 au regard des objectifs définis en 2012

Répartition des surfaces



Potentiel solaire de l'Île-de-France

	Production (TWh)	Surface utile (m ²)	Taux de couverture*
Toitures	17,6	140 millions	28 %
Parkings	5,2	31 millions	8,4 %
TOTAL	22,8	171 millions	36,4 %

* Ratio entre les consommations énergétiques et les productions

POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE EN ÎLE-DE-FRANCE

L'électricité : le solaire photovoltaïque

Travail d'évaluation des gisements solaires

(Sources : AREC/Institut Paris Region)

- Modélisation des gisements bruts des parkings de plus de 1500 m² (pour ombrières) et des toitures, en prenant en compte les caractéristiques physiques et techniques (ensoleillement, ombrages, obstacles, rendements, etc.)
- Gisements prioritaires (enjeux liés au foncier et au ZAN)
- Déclinaison du gisement par typologie détaillée (basée sur le MOS – mode d'occupation des sols) pour une approche territoriale fine



Éolien



2021

0,2

Objectif
SRCAE 2020

0,8 TWh

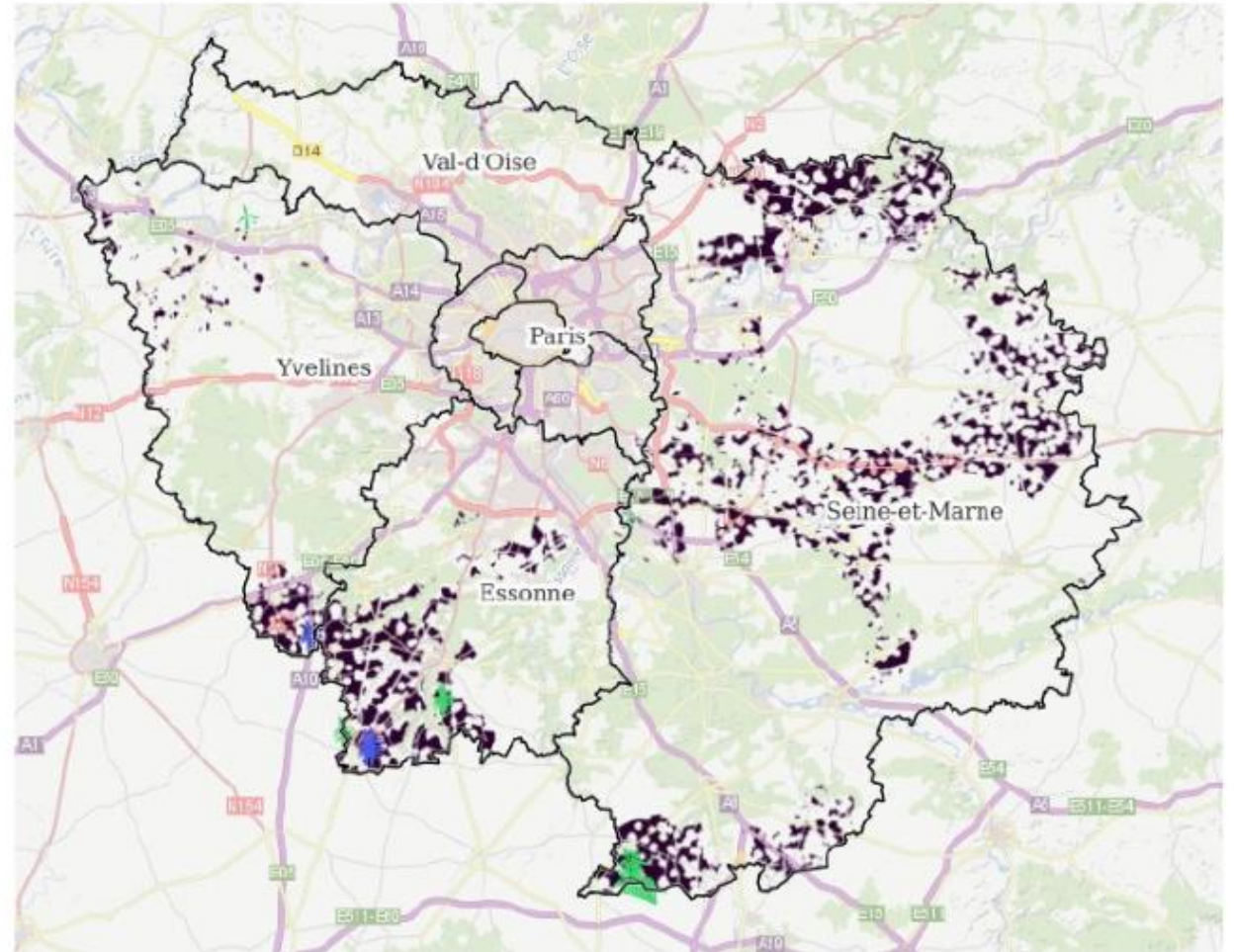
Objectifs 2030*

* à titre indicatif sur la base des scénarios RTE et ADEME

Entre 1 et 2 TWh

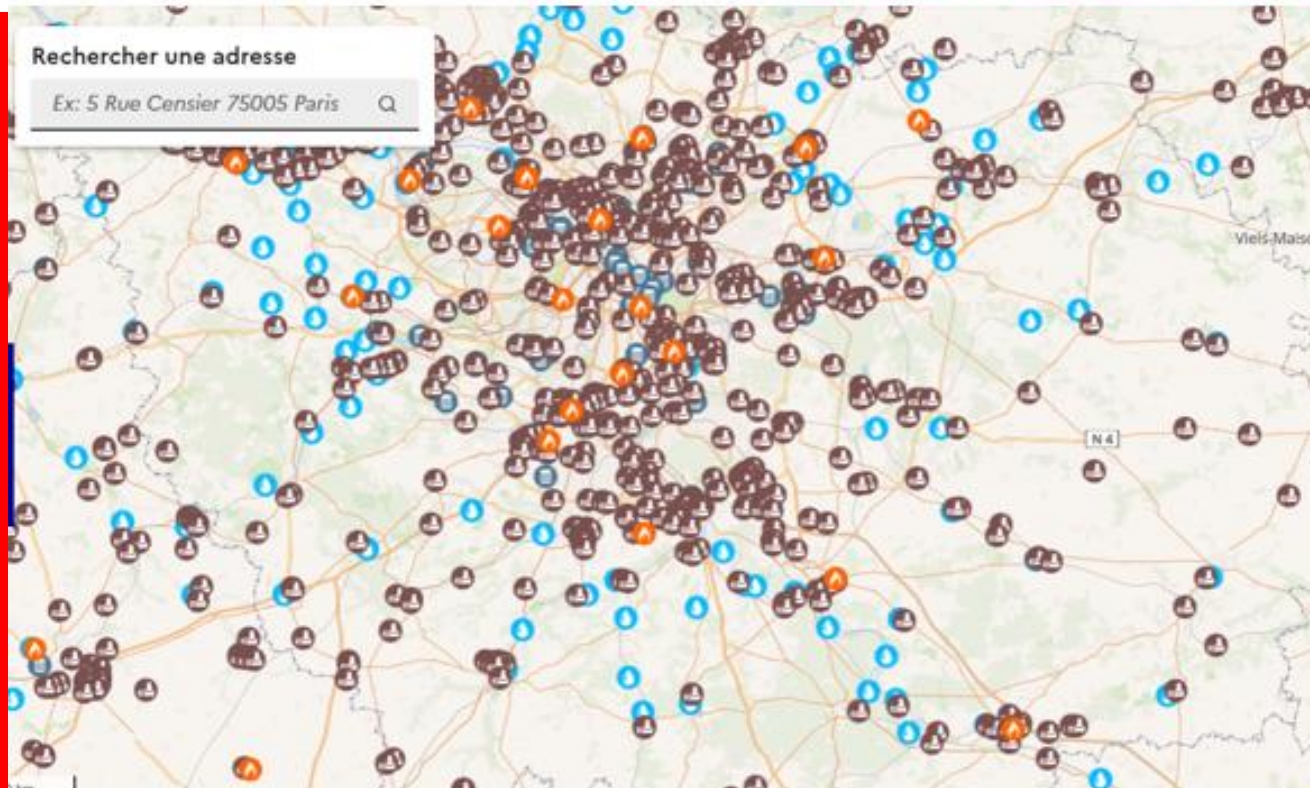
Malgré sa densité urbaine importante, l'Île-de-France présente un potentiel de développement de l'éolien terrestre. En 2022 et 2023, la DRIEAT a élaboré une cartographie des zones favorables réglementairement à l'éolien : près de 2 300 km² ont été identifiés comme zones favorables dont 900 km² de moindres contraintes.

Il est possible d'identifier des zones autour des parcs existants pour favoriser le renouvellement de ces parcs éoliens en identifiant les potentiels de production supplémentaires liés à l'amélioration des machines.



POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE EN ÎLE-DE-FRANCE

La chaleur : la chaleur fatale



Source : France Chaleur Urbaine (capture d'écran)



- Chaleur fatale
-  Unités d'incinération
-  Industrie
-  Stations d'épuration
-  Datacenters



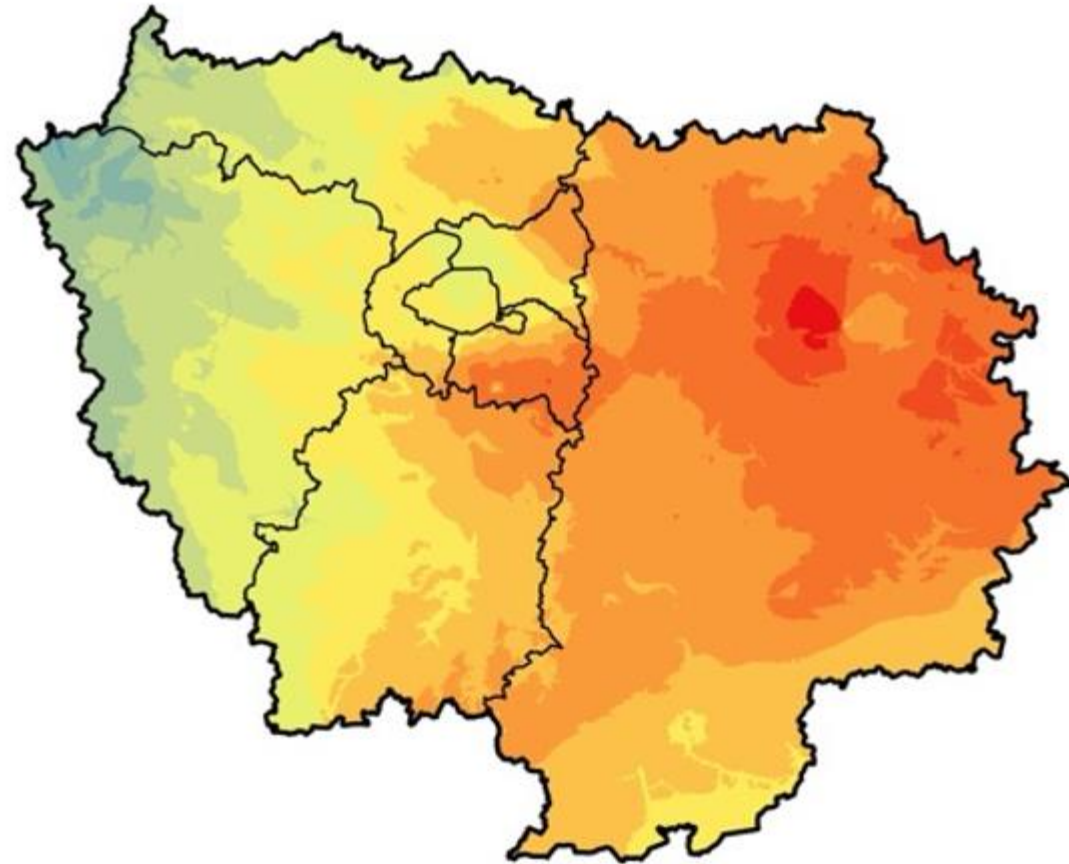
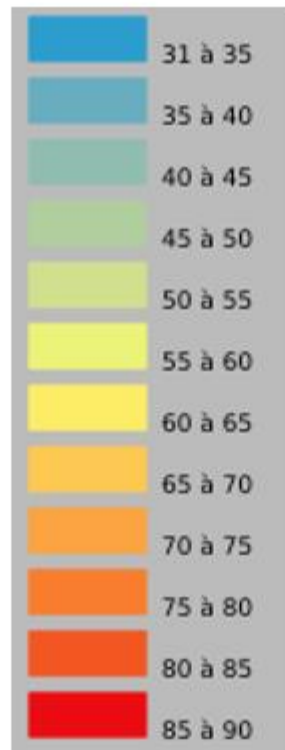
Principaux constats

- De **nombreuses installations** sur le territoire francilien présentant donc un potentiel de valorisation de la chaleur fatale (*industries, stations d'épuration, blanchissements, unités d'incinération ou encore data centers*)
- Néanmoins, certaines **difficultés** et **enjeux** techniques rencontrés pour la mise en œuvre de cette valorisation
- Quelques **exemples territoriaux** de valorisation de la chaleur des data centers sur réseaux de chaleur (ex : *Bailly-Romainvilliers*)

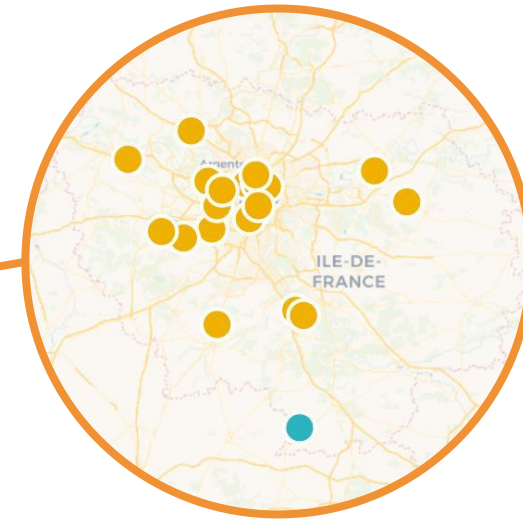
Géothermie

un potentiel accessible considérable sur le territoire IdF

Exemple :
Carte de la température (°C) du Dogger



Energie Partagée : l'énergie citoyenne en France



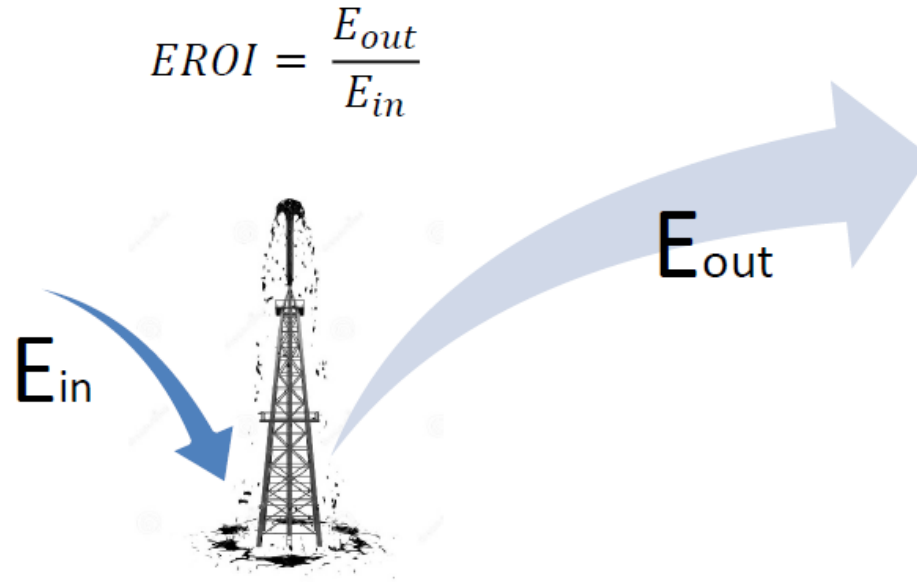
28 projets en Île-de-France
dont **18** labellisés



7,4 MWc en fonctionnement
9 MWc en développement

1-1 : le taux de retour énergétique DÉFINITION

L'Energy Return On Investment (EROI) est le rapport de l'énergie extraite sur l'énergie investie d'une source d'énergie ou d'un système énergétique.



Limite évidente : 1

EROI > 1 source d'énergie EROI < 1 vecteur énergétique

le taux de retour énergétique Baisse régulière du EROI des énergies fossiles

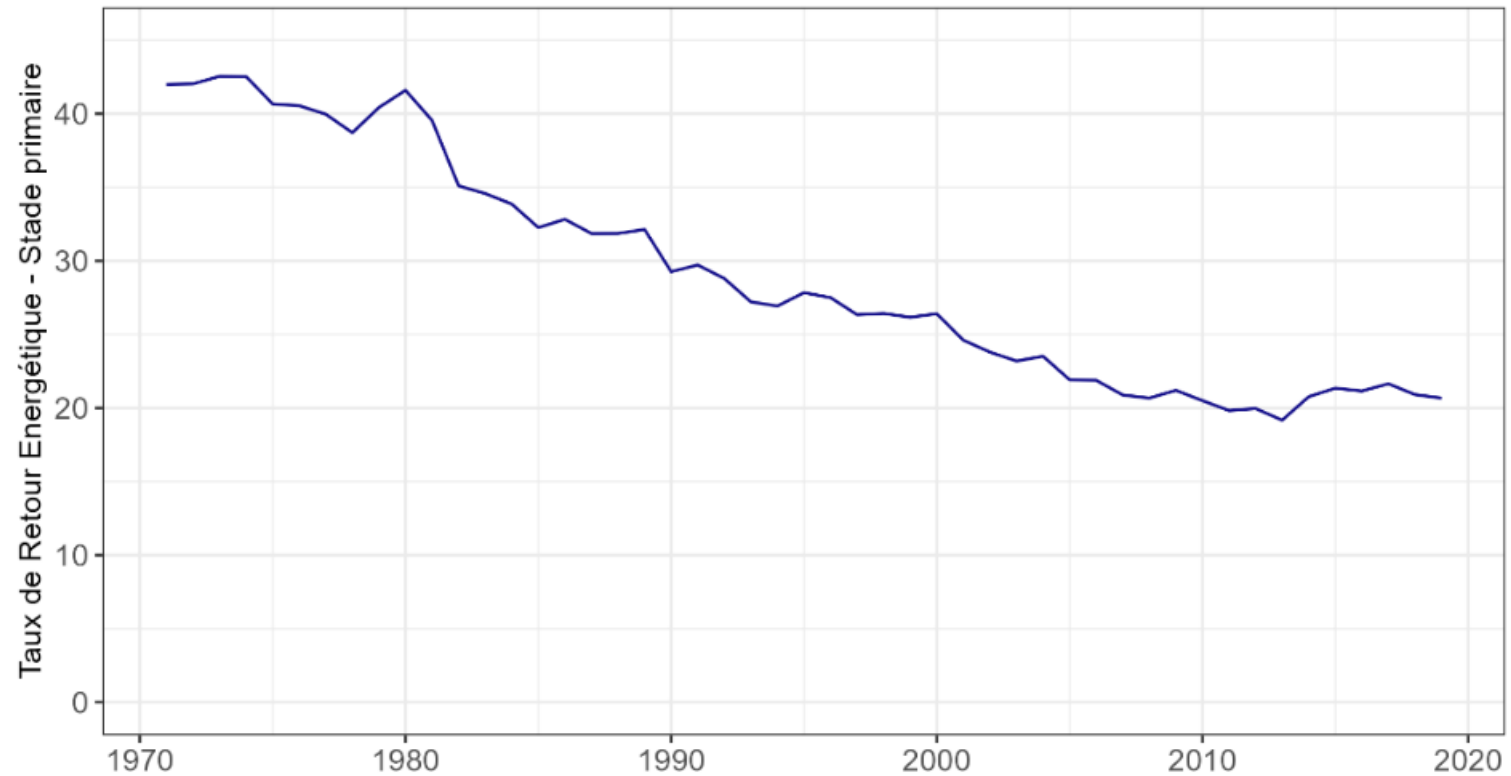


Figure 2. Taux de retour énergétique moyen, au stade primaire, du pétrole et du gaz au niveau mondial (1971-2019) (Source : Aramendia *et al.*, 2023).

analyse critique fossile/renouvelable

Des études favorables aux EnR

