

Une France neutre en carbone et 100%  
énergies renouvelables en 2050.

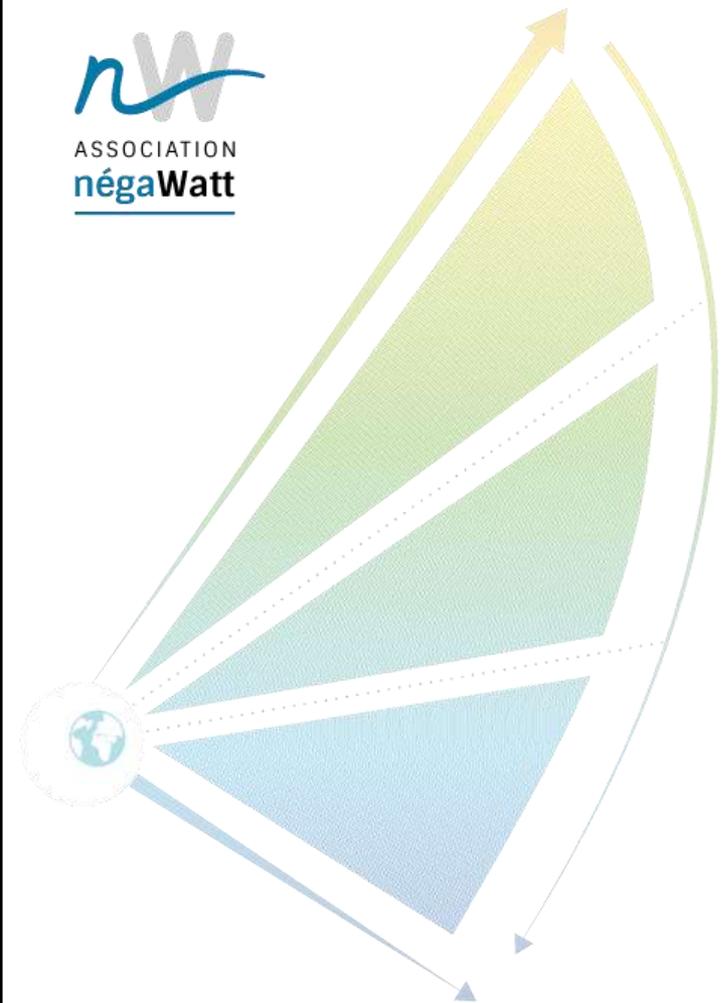
## Scénario négaWatt 2022-2050

Une autre politique énergétique est possible !

---

Paul NEAU

CCV00 – Grainville/Odon – 23 avril 2024



- **négaWatt : l'énergie la moins polluante est celle qui n'est pas consommée et donc n'a pas besoin d'être produite**
- Chasse aux gaspis ; Économies d'énergies ; maîtrise de l'énergie



**Qui sommes-nous ?**

---

## ↳ Qui sommes-nous ?



- Une association, créée en 2001 par des professionnels de l'énergie
- Missions :
  - **Expertise et prospective énergétique**
  - **Plaidoyer à l'échelle nationale**
- 19 salariés - 30 membres actifs - 2000 adhérents



- Un institut, créé en 2009
- Filiale et outil opérationnel de l'association
- Mission :  
**Accompagner les acteurs de terrain (collectivités, entreprises, etc.) dans la mise en œuvre de la transition**
- 19 salariés

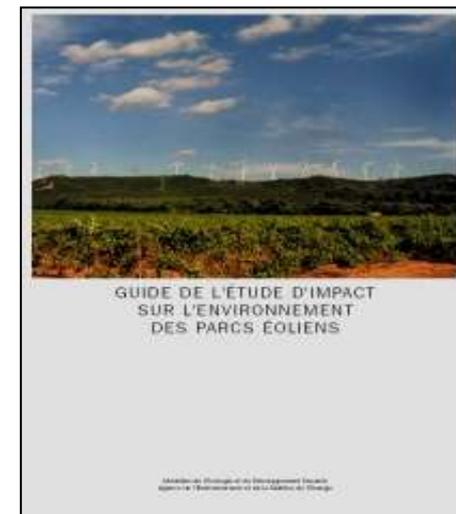


- Une entreprise de l'ESS, créée en 2017
- Filiale dédiée à la rénovation performante des maisons individuelles
- Missions :
  - **Former des groupements d'artisans**
  - **Accompagner les territoires**
- Une soixantaine de salariés. Cinq agences régionales

Fondateur d'un bureau  
d'études en impacts sur  
l'environnement des énergies  
renouvelables (Abies) et  
gérant 1996-2021

(jusqu'à 25 salariés : écologues,  
naturalistes, paysagistes,  
cartographes).

**Dorénavant formateur** : INSA-  
Tlse, Mines-Albi, N7-Tlse, Mines-  
SophiaAntipolis, SupAéro-Tlse,  
Cabinet Métrol ...





# Contexte

---

# ↘ Urgence climatique

## CO<sub>2</sub>-earth

Latest

### Daily CO<sub>2</sub>

A reminder that our world is pushing the planet's thermostat beyond safe levels of 350 ppm CO<sub>2</sub>, and that more people are needed to maximize our ingenuity and resources to keep the present overshoot brief.

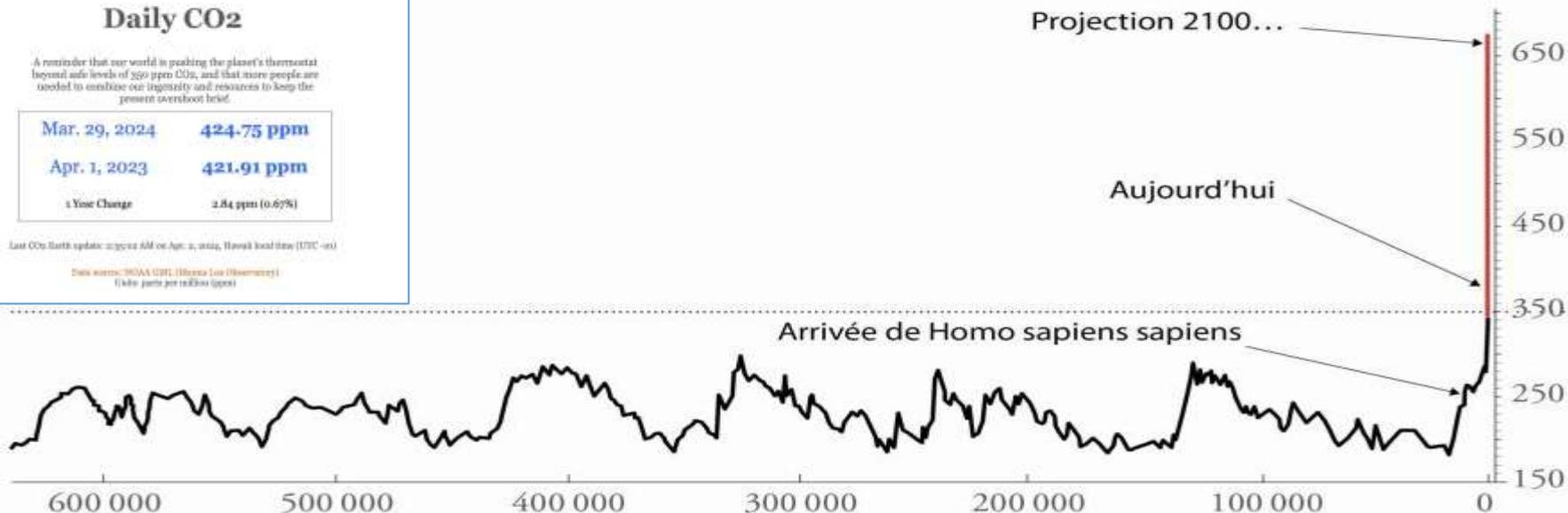
Mar. 29, 2024 **424.75 ppm**

Apr. 1, 2023 **421.91 ppm**

1 Year Change **2.84 ppm (0.67%)**

Last CO<sub>2</sub> Earth update: 2:39:04 AM on Apr. 1, 2024, Hawaii local time (UTC-10)

Data source: NOAA ODT, Observe One (Observatory)  
Units: parts per million (ppm)



Évolution de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère

## ↘ Urgence climatique

mise en avant, pour qu'elle soit prise en compte dans les décisions des gouvernements, des industriels et de la société. Il incombe aux responsables politiques de la rendre plus abordable, par la création et le soutien de modèles de marchés, de vecteurs de financement et de mesures incitatives, afin de garantir un retour sur investissement reflétant une juste part des bénéfices économiques. En déployant un bouquet de réglementations visant à décourager les approches les moins efficaces et encourager les approches les plus efficaces, les gouvernements doivent aider à rendre les technologies éco-énergétiques dominantes. Des mesures de surveillance, de contrôle et de pénalité sont essentielles à l'obtention du niveau d'économie d'énergie escompté. Ces actions doivent être soutenues par un investissement dans une gouvernance renforcée en matière d'efficacité énergétique et par une capacité administrative adéquate à tous les niveaux.

*L'efficacité énergétique peut permettre de maintenir la porte des 2 °C ouverte un peu plus longtemps*

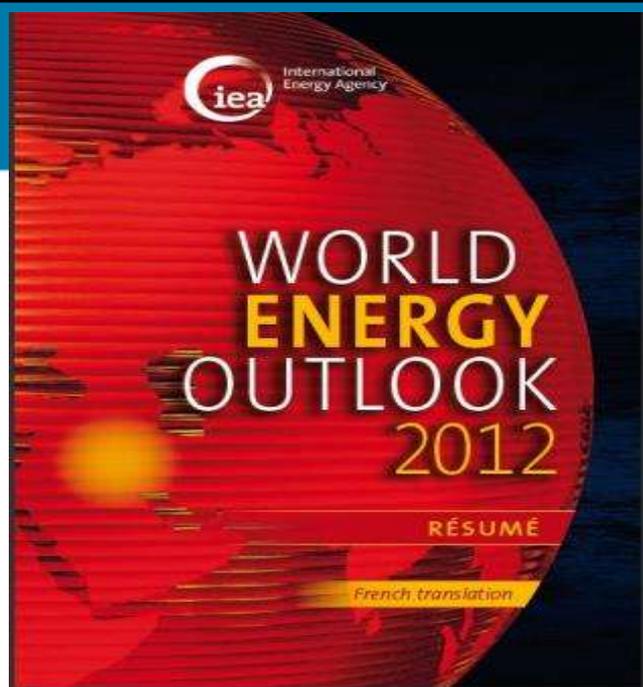
Les éditions successives de ce rapport ont montré qu'à mesure que les années passent, l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 2 °C devient de plus en plus onéreux et difficile à atteindre. Notre Scénario 450 se penche sur les actions à mener pour atteindre ce but. Il souligne le fait que près de quatre cinquièmes des émissions de CO<sub>2</sub> admissibles d'ici à 2035 proviennent des centrales électriques, usines, bâtiments, etc. déjà existants. Faute de prendre des mesures de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> avant 2017, les infrastructures énergétiques existant à cette date atteindront à elles seules la limite d'émissions admissibles. Un déploiement rapide de technologies éco-énergétiques – tel que prescrit dans notre Scénario pour un monde plus efficace – reporterait cette échéance à 2022, ce qui représenterait un gain de temps pour arriver à un accord mondial sur la nécessaire diminution des émissions de gaz à effet de serre.

*Si nous voulons atteindre l'objectif mondial de 2 °C, notre consommation d'ici à 2050 ne*

**Si nous voulons atteindre l'objectif mondial de 2 °C, notre consommation, d'ici à 2050, ne devra pas représenter plus d'un tiers des réserves prouvées de combustibles fossiles, à moins d'un déploiement à grande échelle de la technologie de captage et de stockage du carbone (CCS). Ce constat s'appuie sur notre évaluation des « réserves de carbone »**

*Les camions livrent une bonne partie de la hausse de la demande en pétrole*

La hausse de la consommation pétrolière dans les économies émergentes, en particulier dans le secteur du transport en Chine, en Inde et au Moyen-Orient, est supérieure à la baisse de la demande des pays de l'OCDE. La consommation de pétrole continue donc à augmenter dans le Scénario « nouvelles politiques ». La demande en pétrole passe de





# La démarche négaWatt

---

## ↳ Un scénario, pourquoi faire ?

- Un scénario décrit une vision à long terme, une trajectoire, un chemin des possibles.



- Ce n'est pas une boule de cristal.
- C'est avant tout un outil d'**aide à la décision**, pour intégrer dans les décisions de court terme les impératifs du long terme.
- Le scénario négaWatt est réalisé par les experts de l'association. C'est **un travail collectif**, enrichi par **l'expérience de terrain**.

# ➤ Vers une société plus durable et plus équitable

Un scénario technique, **chiffrée**,  
au service d'une ambition de société apaisée, **plus durable et plus équitable**

Des valeurs ...

... à traduire en actions ...

... à travers une matrice intégrée



- réponse aux défis écologiques
- progrès économiques et sociaux
- amélioration du cadre de vie
- gouvernance mieux partagée



- Un scénario de transition énergétique réaliste et soutenable

1

## Hiérarchisation des solutions

- › Actions en priorité sur **la demande** (quels sont les/nos besoins ?)
- › Utilisation des **énergies de flux** et non de stock

2

## Réalisme technologique et économique

- › Des solutions « **matures** »
- › Une trajectoire physiquement réaliste, économiquement raisonnable

3

## Développement soutenable

- › Réduire l'ensemble des impacts et des risques liés aux énergies
- › Une ligne directrice : *Léguer des bienfaits et des rentes aux générations futures plutôt que des fardeaux et des dettes*

## Scénario négaWatt

→ Transition énergétique

- Évalue l'évolution possible de nos consommations d'énergie et de nos moyens de production
- Périmètre : France métropolitaine
- **Approche en empreinte carbone** → les émissions importées et les sources internationales sont incluses

## Scénario négaMat

→ Matériaux et matières premières

- Évalue l'évolution possible de nos consommations de matériaux et de matières premières
- **Approche en empreinte carbone**

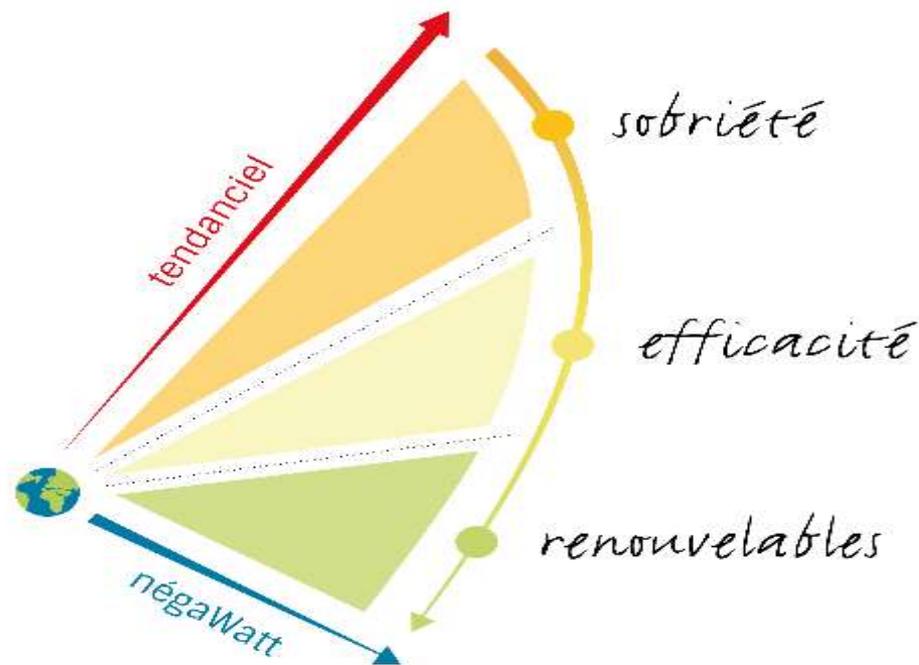
## Scénario Afterres

→ Transition agricole, sylvicole et alimentaire

- Évalue l'évolution possible de notre consommation de produits agricoles, de leur production, ainsi que de l'usage des sols, de la forêt et du bois



# La trilogie de la démarche négaWatt



**Prioriser les besoins énergétiques essentiels**

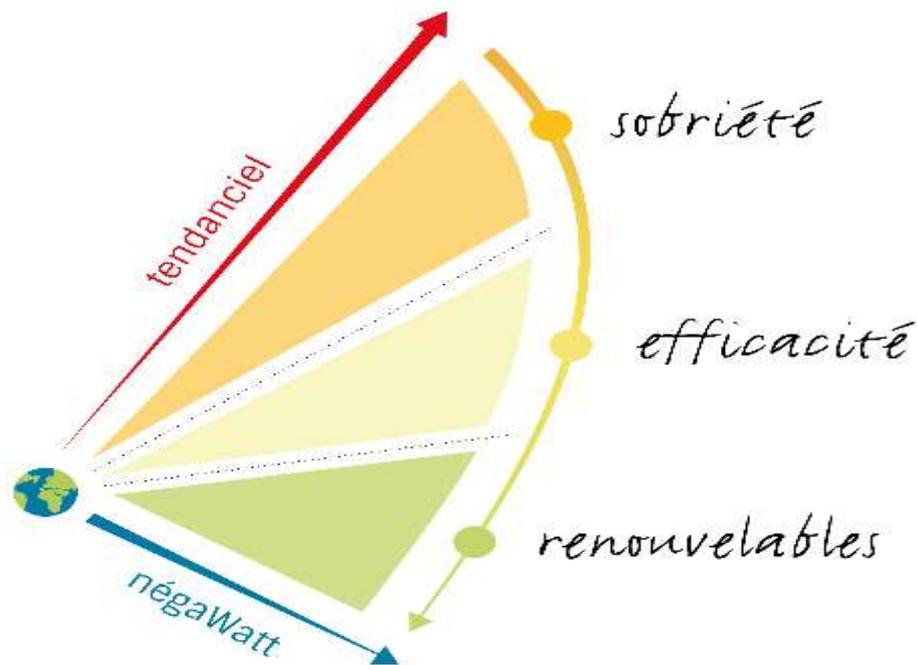
**Réduire la quantité d'énergie nécessaire à la satisfaction d'un même besoin**

**Privilégier les énergies renouvelables**

**Demande d'énergie**

**Production**

# La démarche négaWatt : une triple intelligence



Intelligence sur **l'usage** de l'énergie

Intelligence sur **les équipements** de consommation et de production d'énergie

Intelligence sur la **ressource** énergétique

Demande d'énergie

Production

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

## Climate Change 2022

### Mitigation of Climate Change

Summary for Policymakers

Summary for Policymakers

- C.7. In modelled global scenarios, existing buildings, if retrofitted, and buildings yet to be built, are projected to approach net zero GHG emissions in 2050 if policy packages, which combine ambitious sufficiency, efficiency, and renewable energy measures, are effectively implemented and barriers to decarbonisation are removed. Low ambition policies increase the risk of locking-in buildings' carbon for decades, while well-designed and effectively implemented mitigation interventions (in both new buildings and existing ones if retrofitted), have significant potential to contribute to achieving SDGs in all regions while adapting buildings to future climate. (*high confidence*) {9.1, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.9}

SPM

# Un nouveau regard sur nos besoins

## BESOINS

Nécessaires

Vitaux

Essentiels

Indispensables

Utiles

Accessoires

Superflus

Futiles

Extravagants

Inacceptables

Nuisibles

Ne passez jamais vos week-ends au même endroit.

Venise	30€
Athènes	57€
Séville	44€
Budapest	49€
Amsterdam	34€



## ↳ Sobriété ou ébriété énergétique ?



# Sobriété

Créer les conditions sociales, infrastructurelles et réglementaires pour modifier les pratiques individuelles et collectives, d'une façon qui réduit la demande en énergie et les émissions de gaz à effet de serre et contribue simultanément au bien-être de la société.

La consommation d'une automobile est fonction :

- Son poids
- Sa vitesse (au carré)



La **sobriété dimensionnelle**,  
c'est la juste taille (poids).

La **sobriété d'usage** : la bonne  
utilisation : la vitesse et le nombre  
de km parcourus.

La consommation d'un logement est fonction de :

- sa surface
- sa température



La **sobriété dimensionnelle**, c'est la **juste taille** (de la surface chauffée).

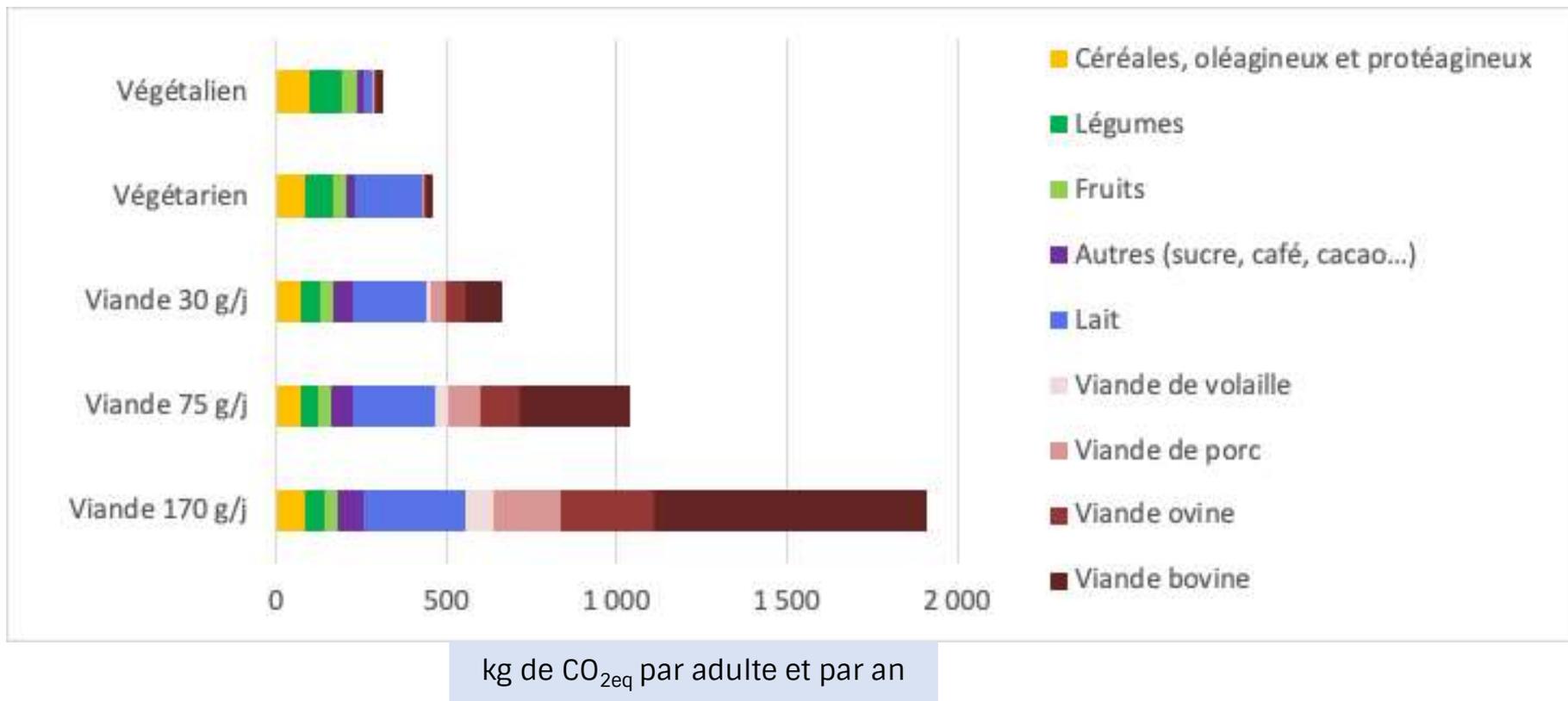
La **sobriété d'usage**, c'est la **bonne utilisation** (température).

Différence de consommation de 7 à 20%  
par degré en plus (ou en moins)

La **sobriété coopérative** (le partage)



## ↳ Sobriété : l'empreinte climatique des régimes alimentaires



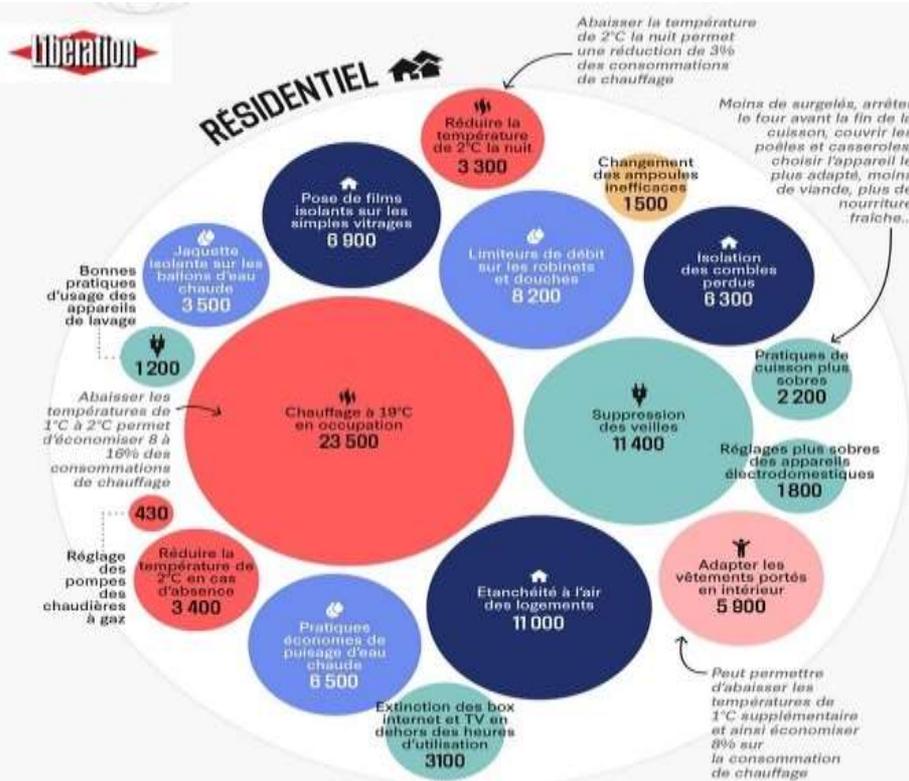
# ➤ Du « modèle Amish » au Plan de Sobriété



In : Le Monde du 28 septembre 2022.



# Les 50 mesures Sobriété de négaWatt



## Les mesures d'économies par postes

Economie de gigawattheure possible par type de mesures de sobriété



Economie possible en gigawattheures (GWh)



Types de mesures

- Chauffage, climatisation, ventilation
- Eau chaude
- Appareils électriques et électroménagers
- Eclairage
- Changement d'habitudes
- Isolation des bâtiments

## Où, quand et comment économiser l'énergie ? Les 50 préconisations de négaWatt en infographies

1

## Efficacité à la construction/ fabrication

Énergie grise

Optimisation énergétique en amont et en aval de l'utilisation

- Exemple : construction en bois



Crédit photo : Menuiserie Bishop (26)

## ↘ L'efficacité : l'énergie grise

L'énergie grise c'est l'énergie nécessaire à **la construction/fabrication** des appareils, des engins, des véhicules, des logements.

→ On préférera des logements en matériaux naturels (biosourcés) : en bois, **en paille**, en chanvre ... (au lieu d'en béton ou en brique).



Crédit photo : Menuiserie Bishop (26)



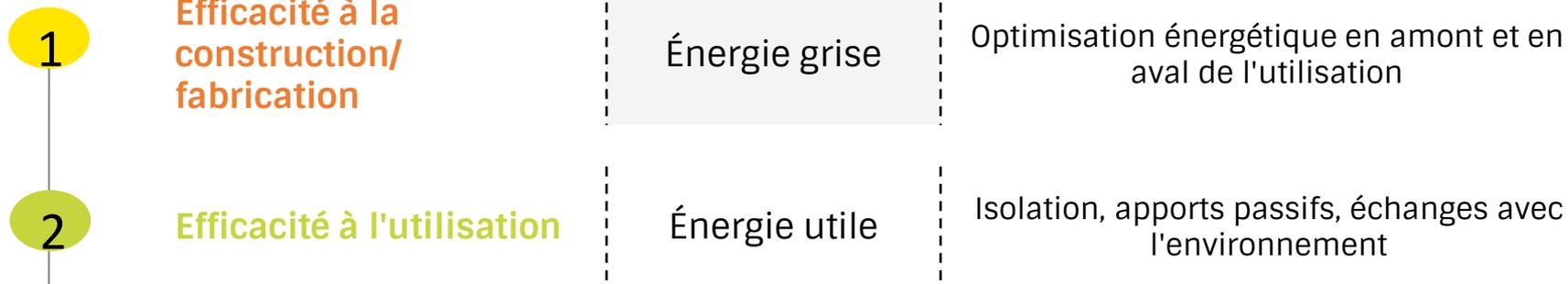
## ↘ L'efficacité : l'énergie grise

L'énergie grise c'est l'énergie nécessaire à la **construction/fabrication** des appareils, des engins, des véhicules, des logements.

→ On conservera son téléphone, ses appareils électro-ménagers le plus longtemps possible (ou achat d'occasion) : **7 ans ?**



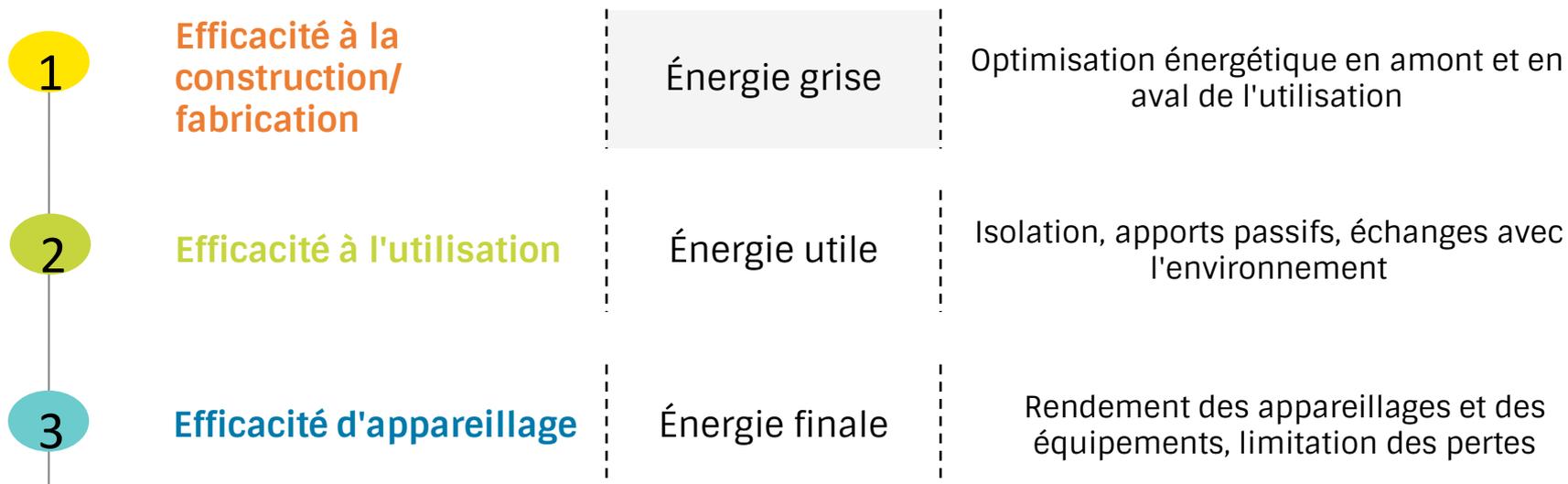
## ↘ Les quatre efficacités



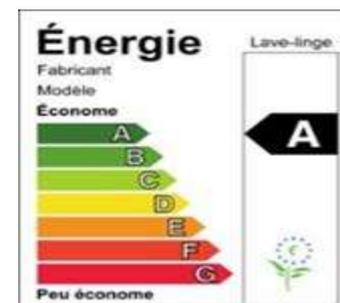
- Exemple : isolation des logements



## ↘ Les quatre efficacités



- Exemple : utilisation d'**appareils** (par exemple électroménagers) et d'**équipements** (de chauffage, transport) performants et efficaces.



## ↳ Les quatre efficacités

- Un superbe outil d'information, pour comparer et se décider.
- Et un outil vertueux (la classe A d'aujourd'hui sera une classe B ou C demain).

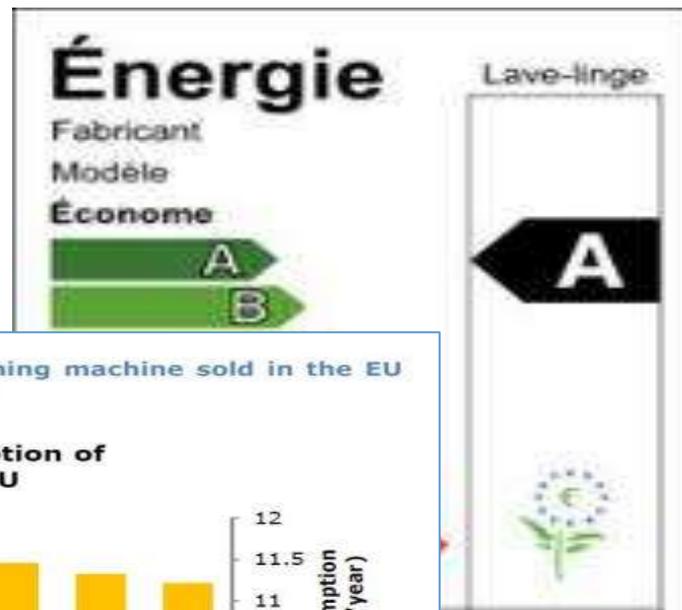
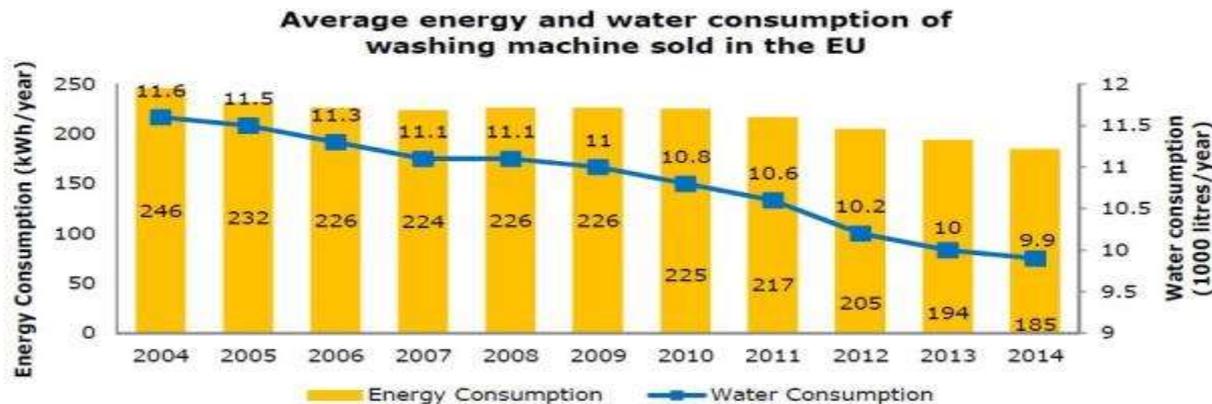
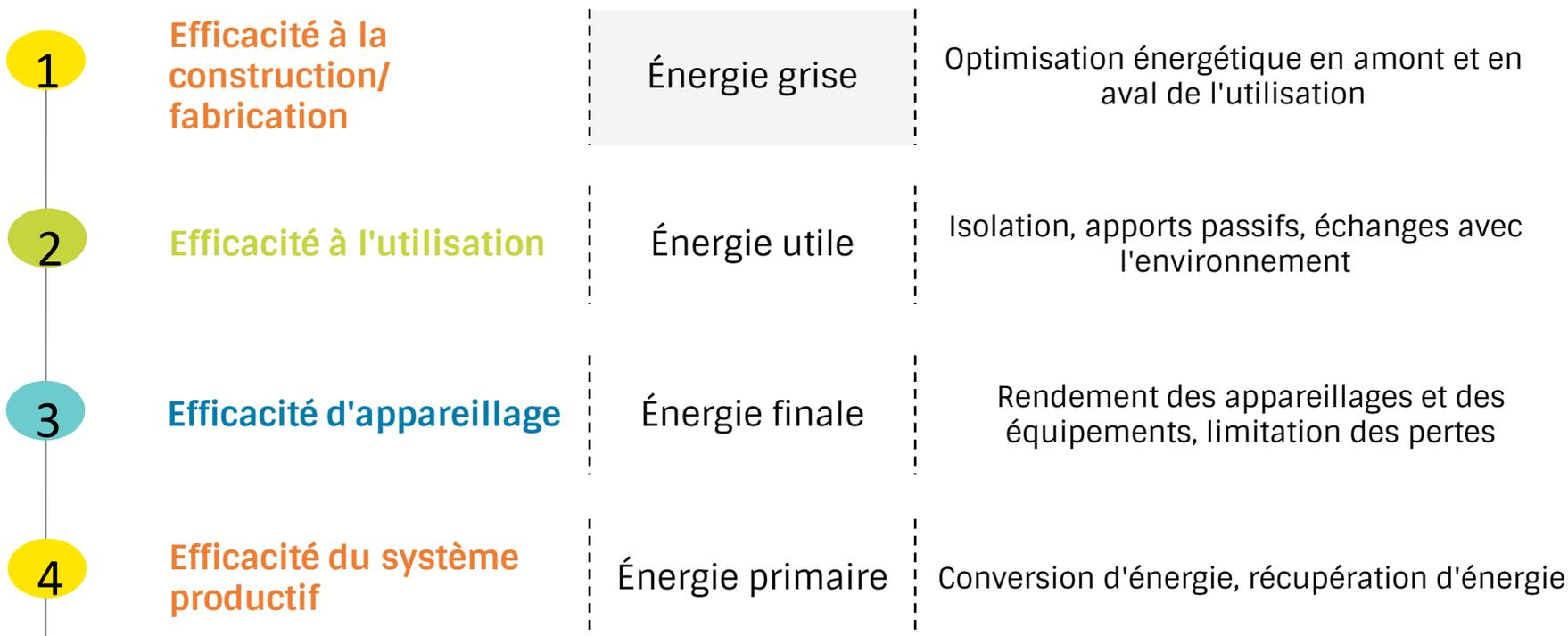


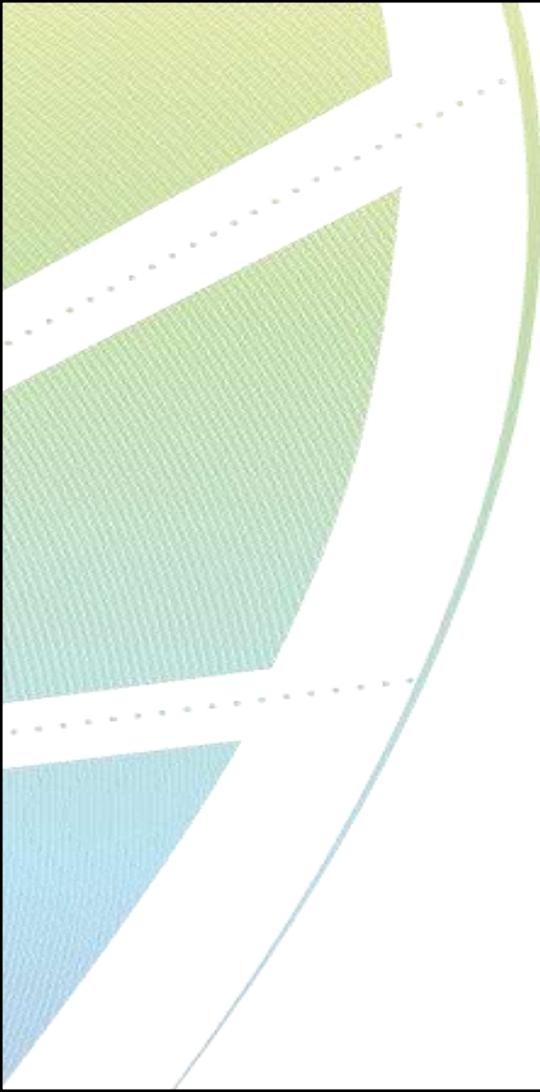
Figure 78: Average energy and water consumption of washing machine sold in the EU (21 countries), 2004-2014. Source: topten.eu from GfK [18]



## ↘ Les quatre efficacités



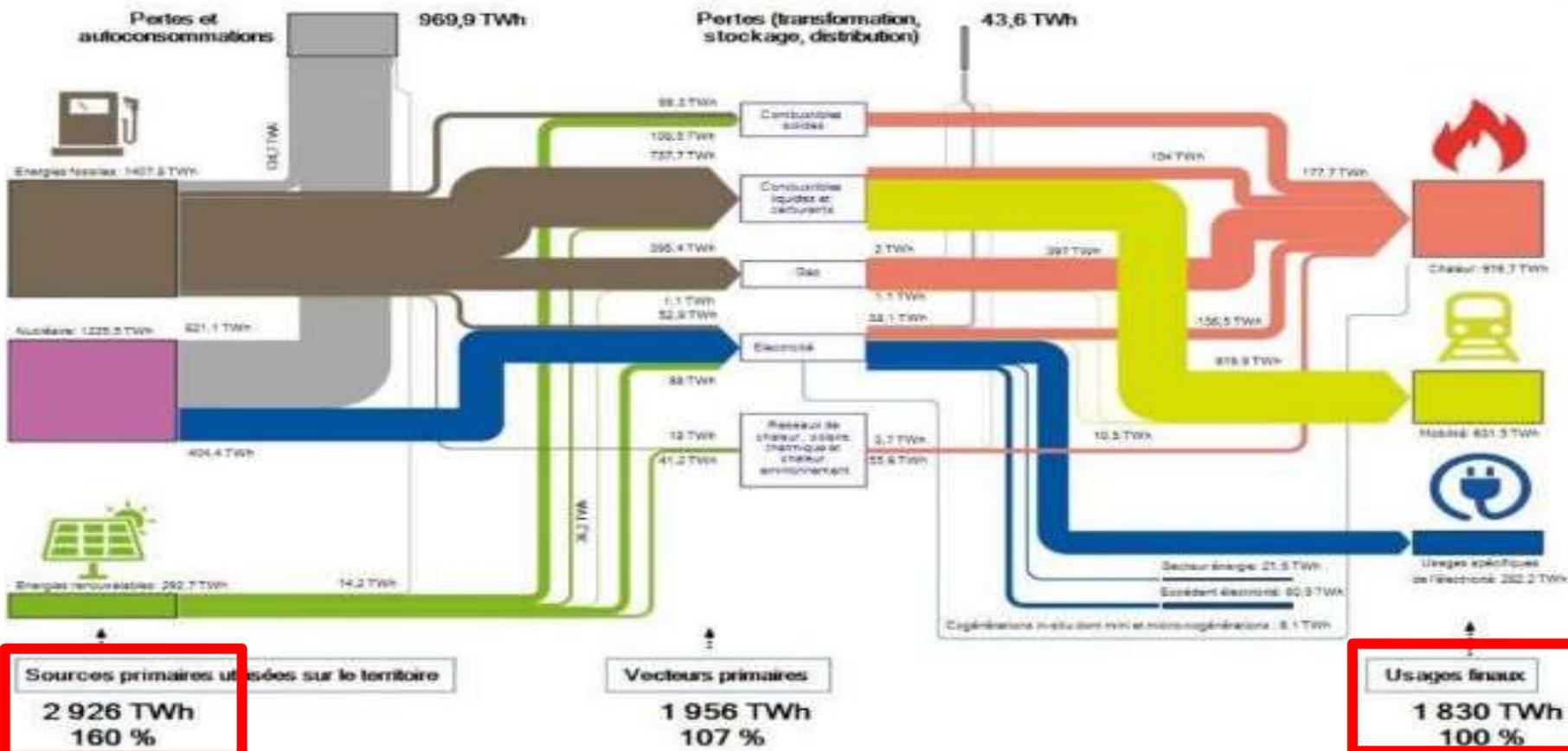
- Exemple : développement de **la cogénération** (utilisation combinée de l'électricité et de la chaleur)



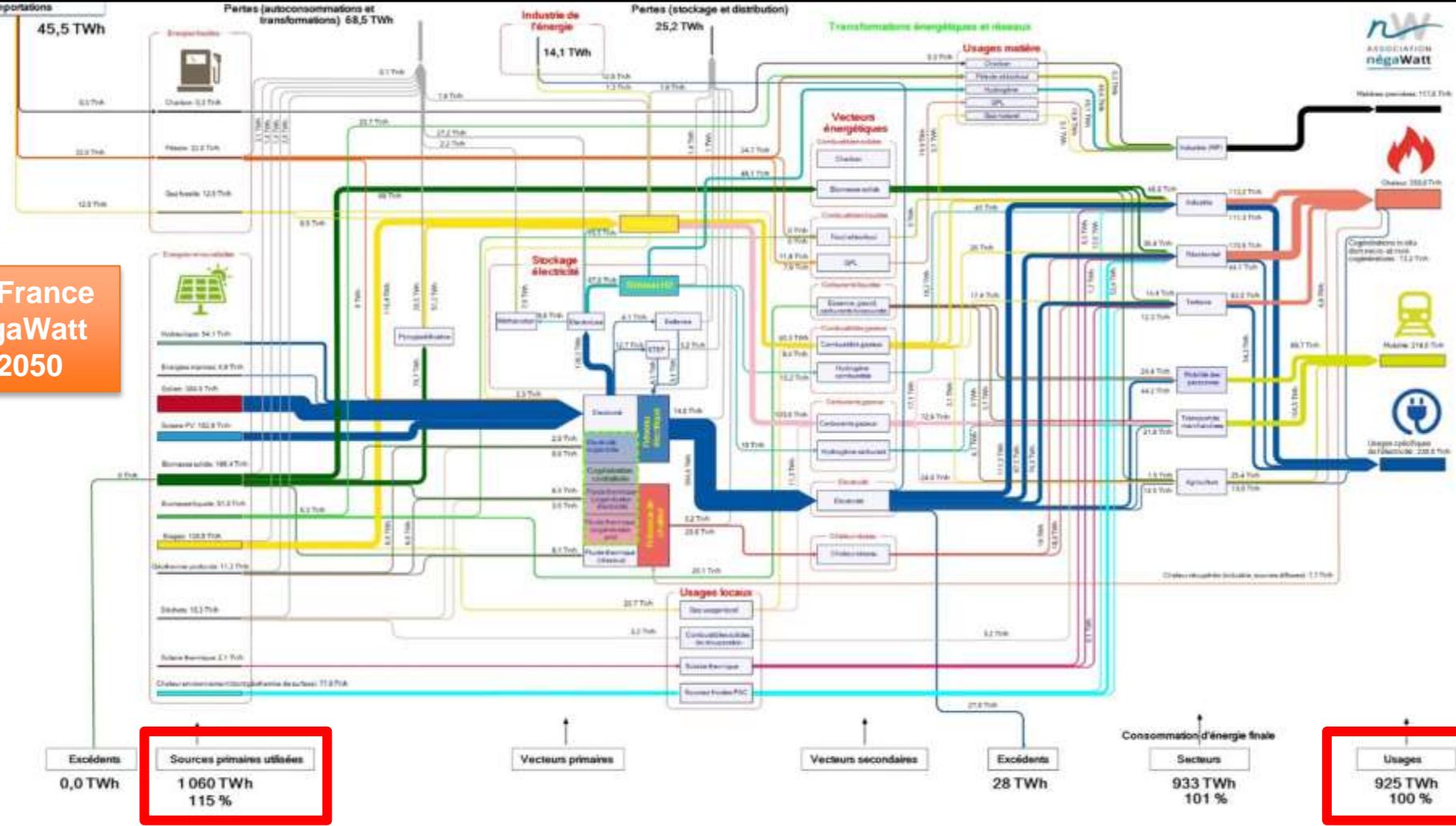
# **Le scénario négaWatt 2022 en détail**

---

# ↳ Bilan énergétique : année de référence 2015



La France négaWatt en 2050

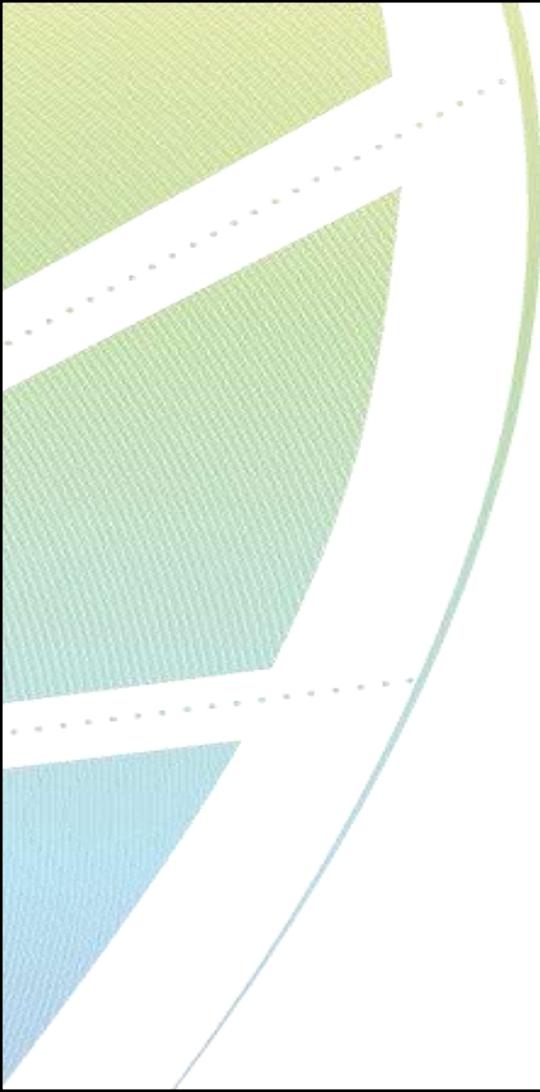


Logo: 1°C de réchauffement équivaut à une répartition d'énergie des réseaux, mais avec une répartition des flux par secteur bien sûr différente par rapport à la répartition des énergies depuis les sources primaires dans les réseaux français.  
 © 2014 Association des réseaux européens d'Énergie, association créée le 14/01/2014. À l'initiative de la Direction Générale de l'Énergie de la Commission Européenne.



**Des questions sur cette première partie ?**

---



# Bâtiment – se loger

---

• Plus de 40 % de la consommation totale d'énergie finale, dont :



**Chaleur** : 80 %



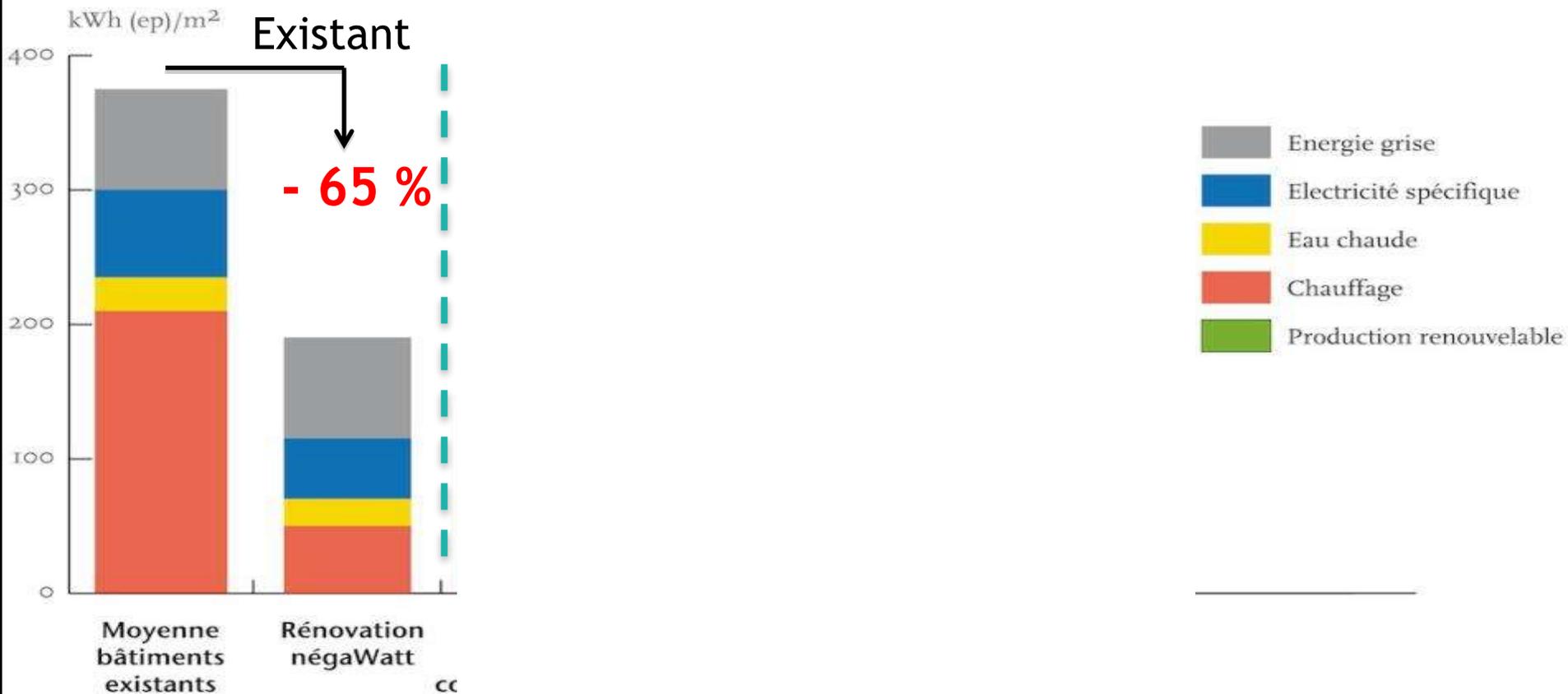
**Électricité spécifique** : 20 %

• Chauffage des maisons individuelles d'avant 1975 = près d'un tiers des consommations d'énergie finale du résidentiel

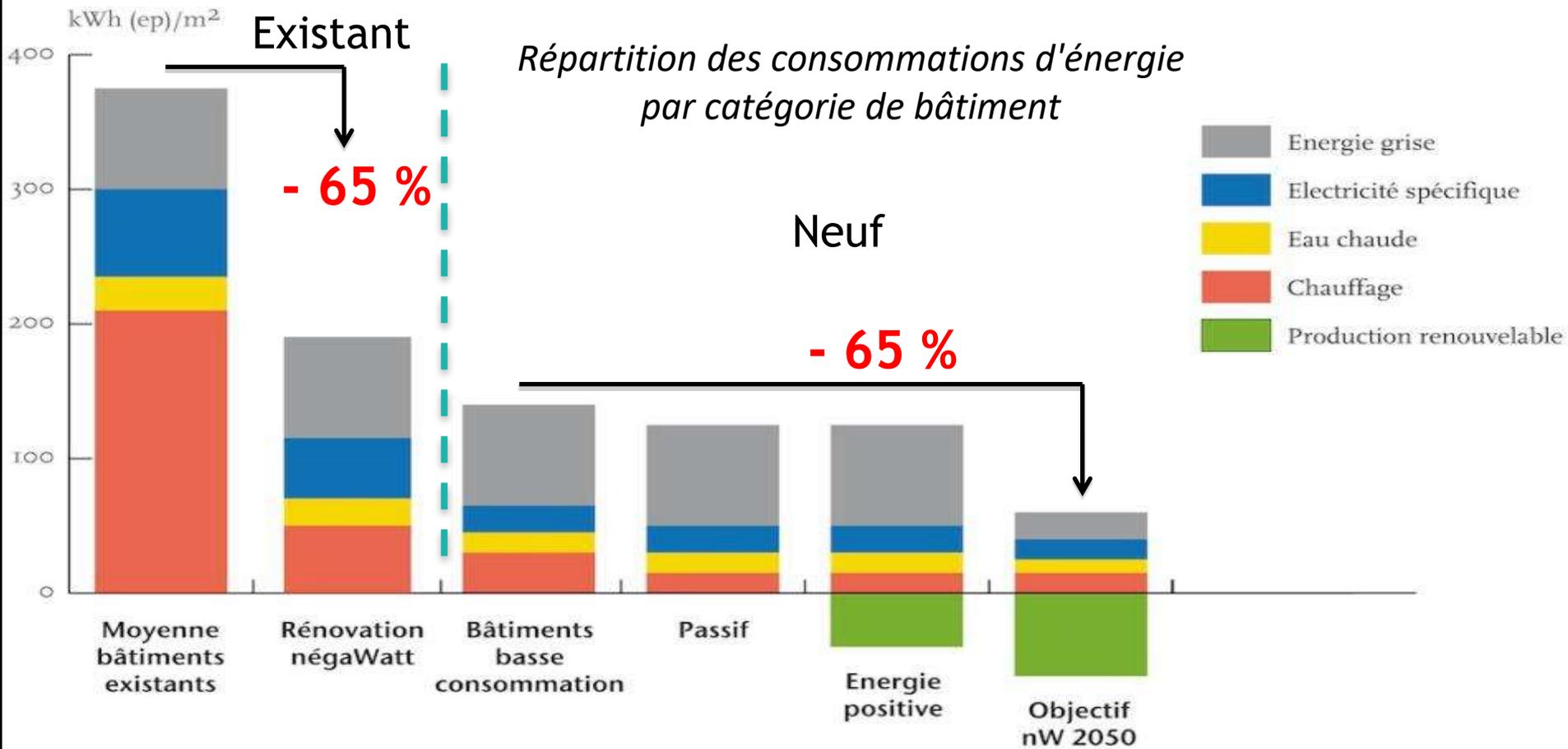
• **Objectif : rénover un parc**

- **de 30 millions de logements et de 900 millions de m2 de surfaces tertiaires**
- **de façon performante (division par 4 des consommations de chauffage)**  
→ besoin d'une **rénovation complète et performante**

# L'efficacité énergétique dans le résidentiel



# L'efficacité énergétique dans le résidentiel

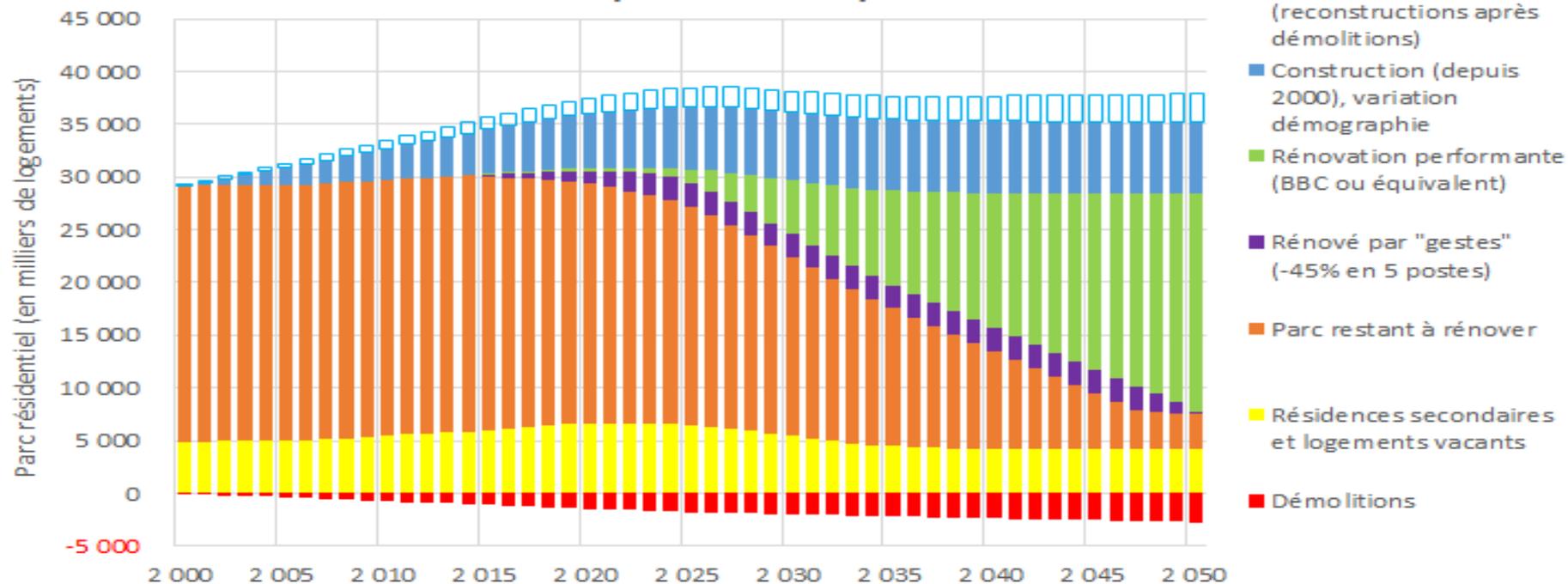




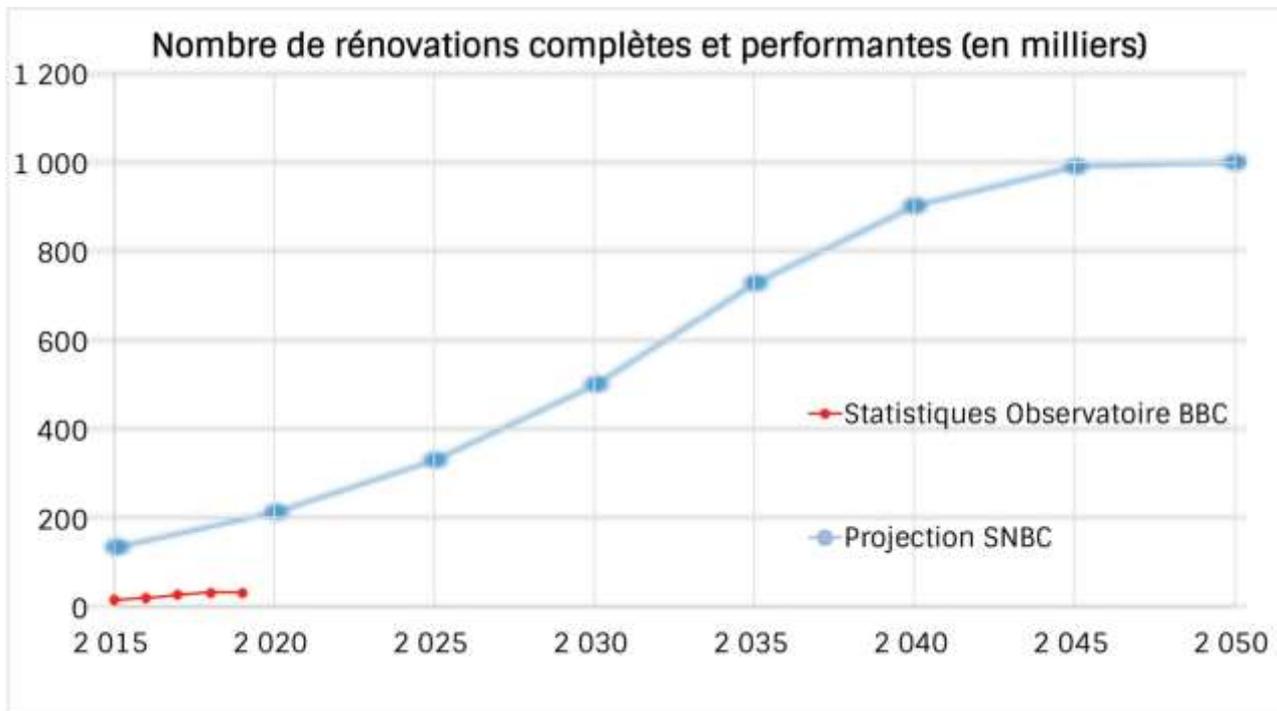
# Bâtiment : le chantier prioritaire de la rénovation très performante



## Parc résidentiel - vers un parc BBC ou équivalent en 2050



## ➤ Une accélération radicale de la rénovation performante

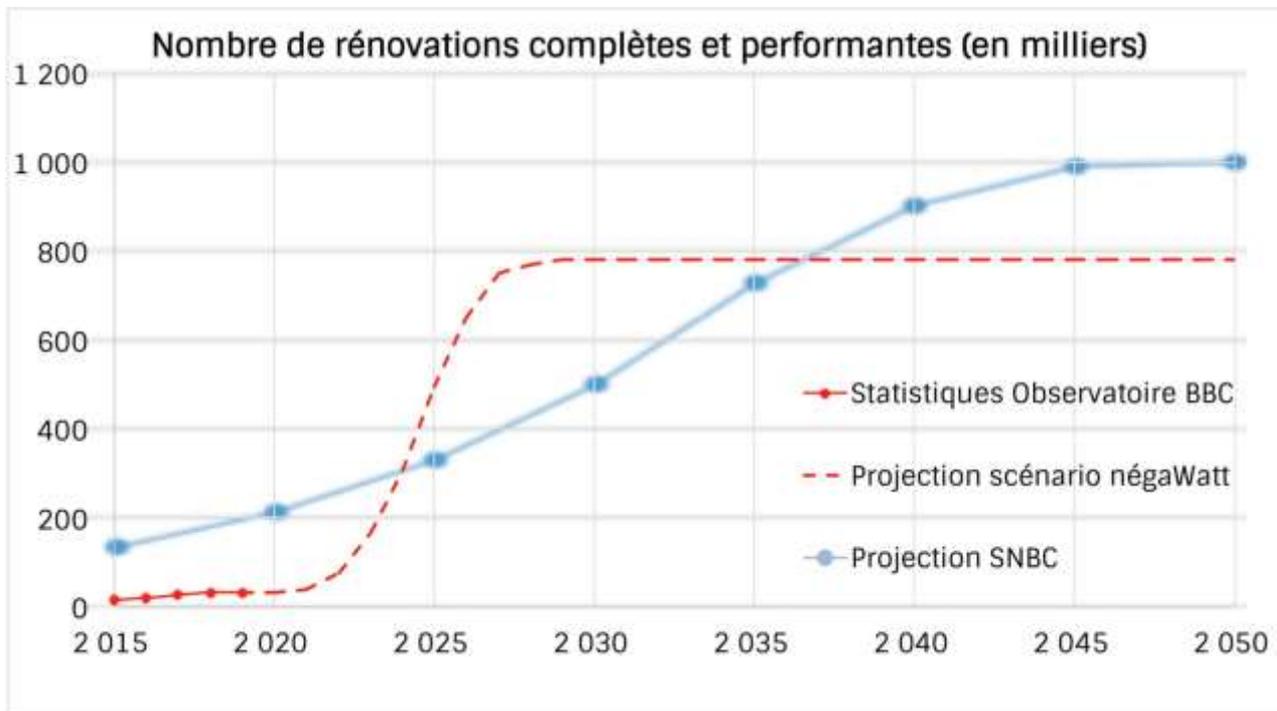


### Constat :

La politique actuelle de rénovation n'est pas du tout en phase avec les objectifs de long terme

SNBC : stratégie nationale bas carbone

## ➤ Une accélération radicale de la rénovation performante



### Objectif :

Passer de 33 000 logements /rénovés chaque année au niveau BBC à près de 800 000 en 2030.

**Soit ~8 000 rénovations par département et par an**

### Mesures prioritaires :

- Une obligation de rénovation performante (sous conditions ; aides ciblées)
- Une formation renforcée de l'ensemble des acteurs

### Réduction des consommations d'électricité spécifique

#### > Éclairage :

- Sobriété : détecteurs de présence
- Efficacité : éclairage performant
- Résultat : - 65 %

#### > Informatique :

- Sobriété : arrêt des appareils inutilement allumés
- Efficacité : remplacement progressif du parc
- Résultat : - 35%



**Bilan : 42 % de réduction de la consommation d'électricité**  
**Temps de retour < 3 ans**

## ↳ Exemple d'une rénovation performante

Réduction des consommations de chauffage et eau chaude

- Isolation conséquente des murs, de la toiture et du sol
- Mise en place d'une VMC double flux à haut rendement
- Remplacement des fenêtres
- Gestion des ponts thermiques, étanchéité à l'air
- Chaudière fioul remplacée par une pompe à chaleur performante



**Bilan : division par 6 de la facture de chauffage**  
**Temps de retour : 20-25 ans**



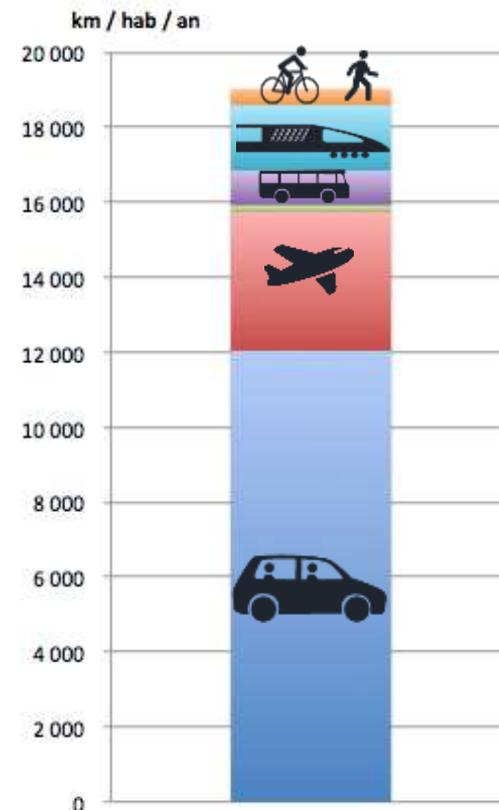
# Mobilité – se déplacer

---

Premier secteur d'émissions de gaz à effet de serre :

- Des déplacements fortement dépendants du pétrole
- Un aménagement du territoire favorisant le trafic routier
- Une explosion du trafic aérien : x 2 en 20 ans
- Un effondrement du fret ferroviaire divisé par deux entre 2000 et 2010

Et tous les signaux sont à l'orange ou au rouge



# Émissions de CO<sub>2</sub> selon le moyen de transport

1 km en TGV émet 80 fois moins qu'1 km en avion ou 70 fois moins qu'un km en voiture.

## Transport

- Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation essence : 259 g CO<sub>2</sub>éq/km
- TGV, Train Grande Vitesse (France) : 3,69 g CO<sub>2</sub>éq/passager.km
- Métro (Paris) : 5,70 g CO<sub>2</sub>éq/passager.km
- Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 0-1000 km : 293 g CO<sub>2</sub>éq/passager.km

Commissariat général au développement durable

**ICCE**  
INSTITUT DE RECHERCHES  
CLIMATIQUES  
ÉCONOMIQUES  
ET SOCIALES

Chiffres clés du climat  
France, Europe et Monde

ÉDITION 2018

## ➤ Un levier : baisse du trafic routier motorisé



Pour réduire les impacts du trafic routier, la seule électrification (par le développement des véhicules électriques) n'est ni possible ni suffisante.

### Différents leviers :

- réduction des **déplacements contraints** et des tonnages transportés
- report vers **d'autres modes de transport**
- augmentation des **taux d'occupation** / de remplissage



## ➤ Y a-t-il assez de ressources minières ?

La démarche suivie consiste à allouer à la France sa part des réserves mondiales de matière premières connues, selon **son poids démographique** (soit 1%).

Dans le scénario négaWatt 2022, le **lithium**, le cobalt et le cuivre figurent parmi les matériaux les plus critiques.

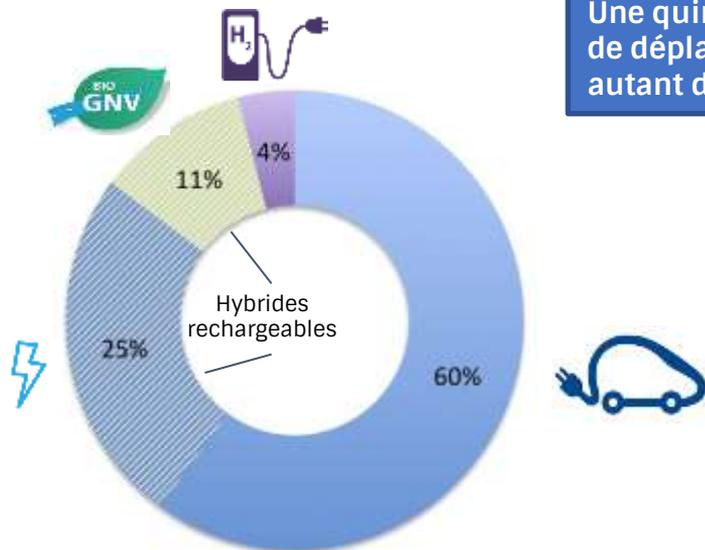
Pour le lithium, la consommation est multipliée par près de 10 entre 2020 et 2050.

La réserve de lithium n'est pas totalement atteinte grâce à :

- un déploiement raisonné de la mobilité électrique
- un recyclage très poussé

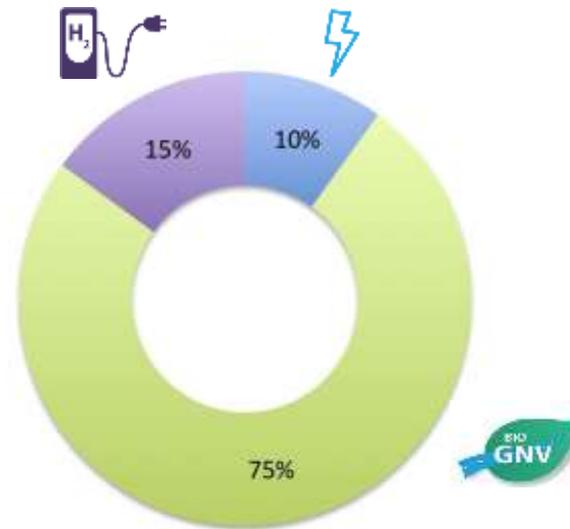


# Un levier : des véhicules électriques... mais pas que !



Répartition des motorisations des voitures en 2050

Une quinzaine de type de déplacements, autant de réponses.



Répartition des motorisations des poids lourds en 2050

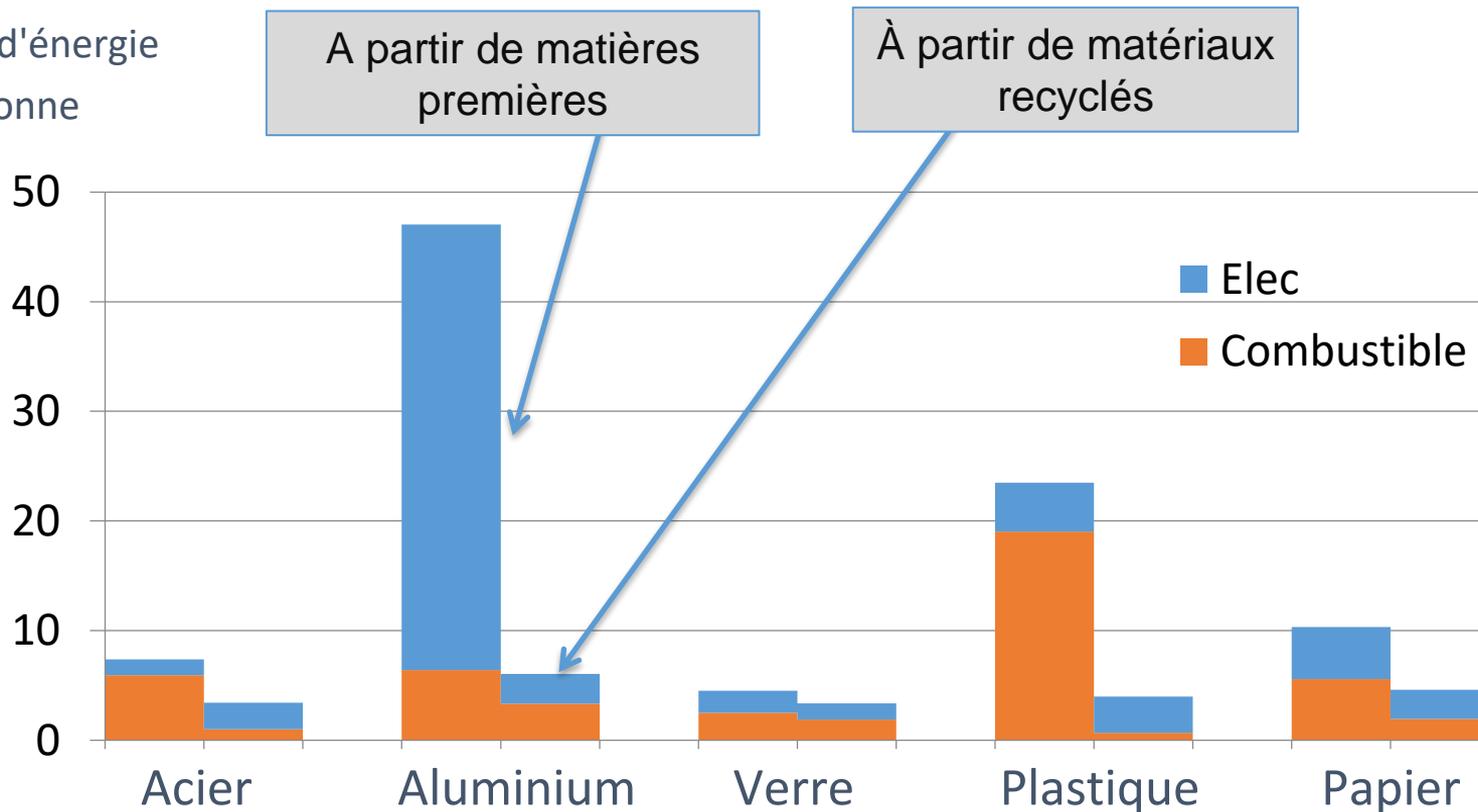


# **Eco-Réindustrialisation (vertueuse)**

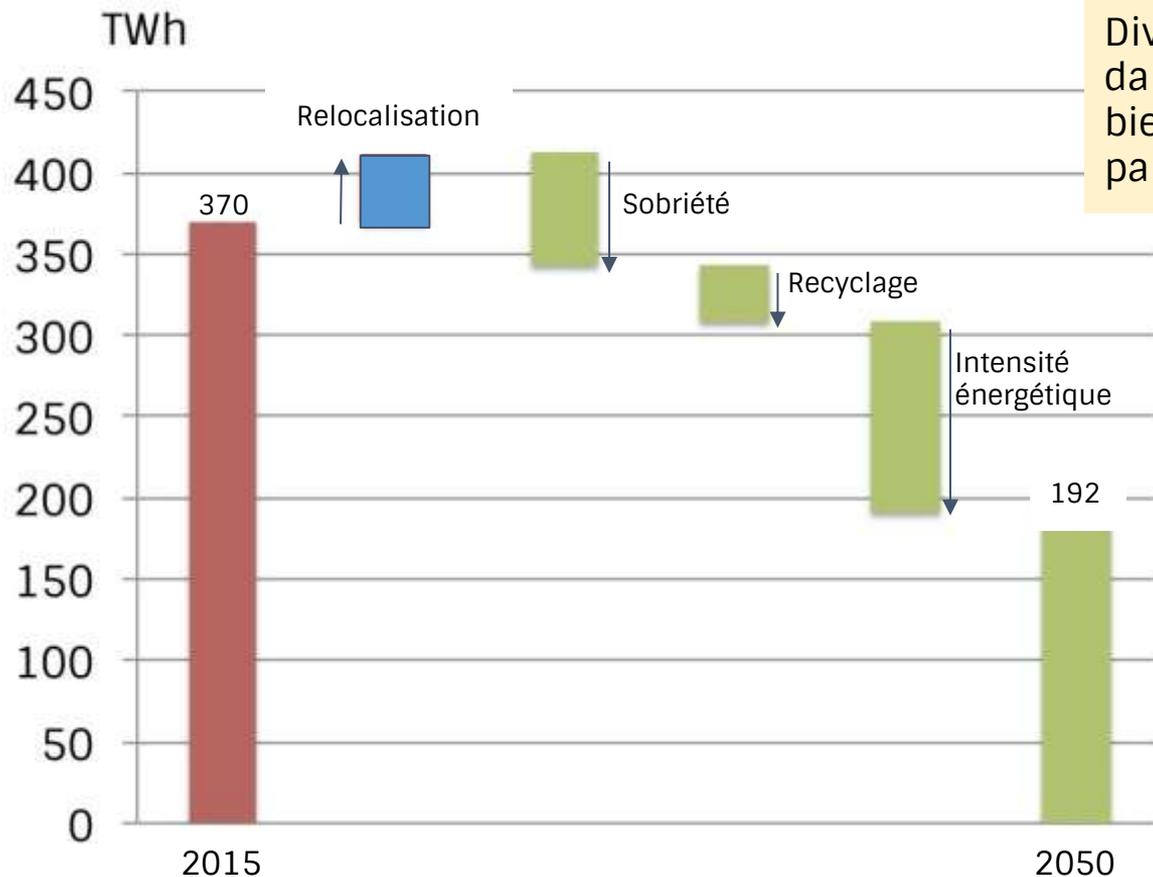
---

## ➤ D'importantes économies avec le recyclage

Consommation d'énergie  
MWh/ep / tonne



# ↳ Une éco-réindustrialisation vertueuse



Diviser par deux les consommations dans le secteur de l'industrie et des biens de consommation, par la ré-industrialisation vertueuse.

**Réorientation** de secteurs du passé (ex. pétrochimie)

**Relocalisation** de secteurs en décroissance (ex. mécanique, métallurgie)

Développement de **filières d'avenir** (énergies renouvelables, batteries, etc.)

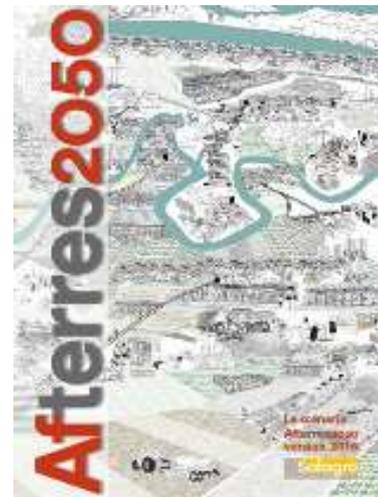
La sobriété de consommation  
Durée de vie, réutilisation,  
réparation, recyclage,

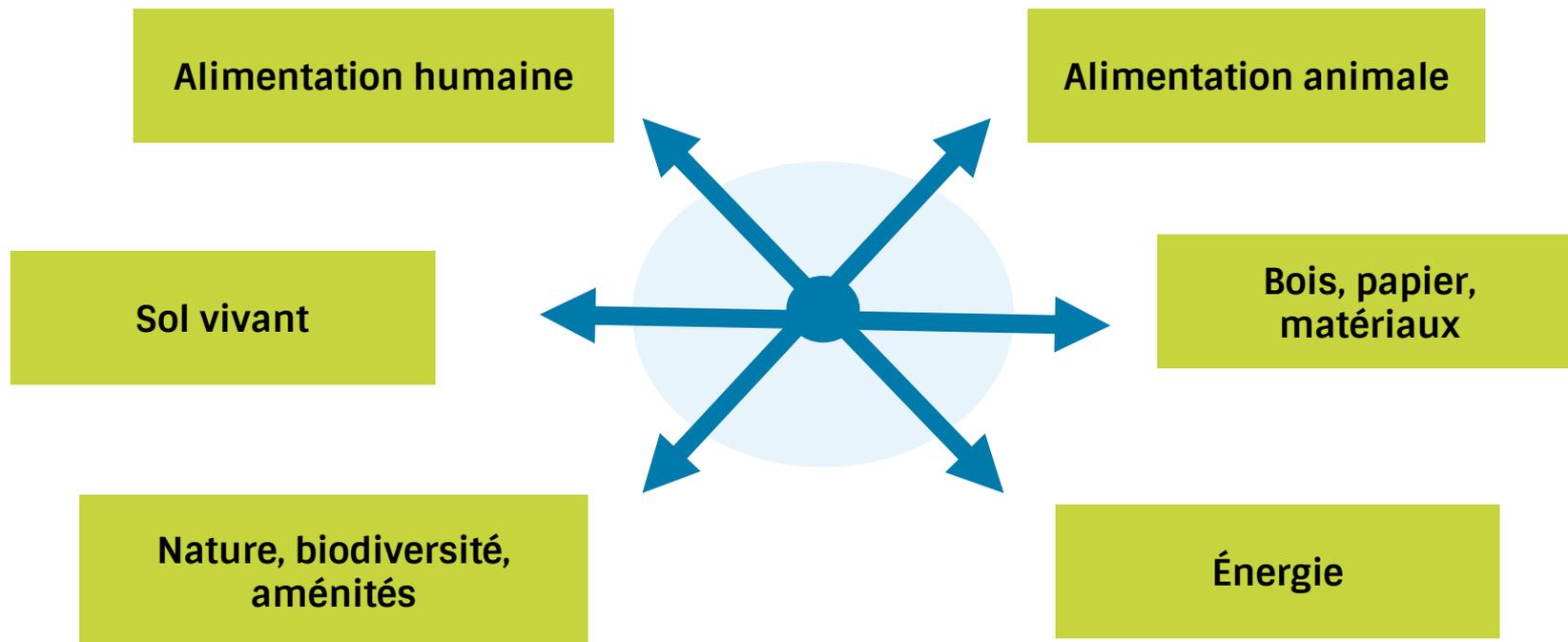
Amélioration des process  
Moteurs plus performants  
Électrification

# Le « secteur des terres »

## Agriculture, alimentation, forêt, usage des terres

---





# Des systèmes agricoles résilients et producteurs de biodiversité



**CULTURES ASSOCIÉES**

**LUTTE BIOLOGIQUE**

**AGRO FORESTERIE**

**AUTONOMIE PROTÉIQUE**

**PÂTURAGE TOURNANT**

**ROTAION INTÉGRANT DES LÉGUMINEUSES**

**COUVERTS VÉGÉTAUX**

**TECHNIQUES CULTURALES SIMPLIFIÉES**

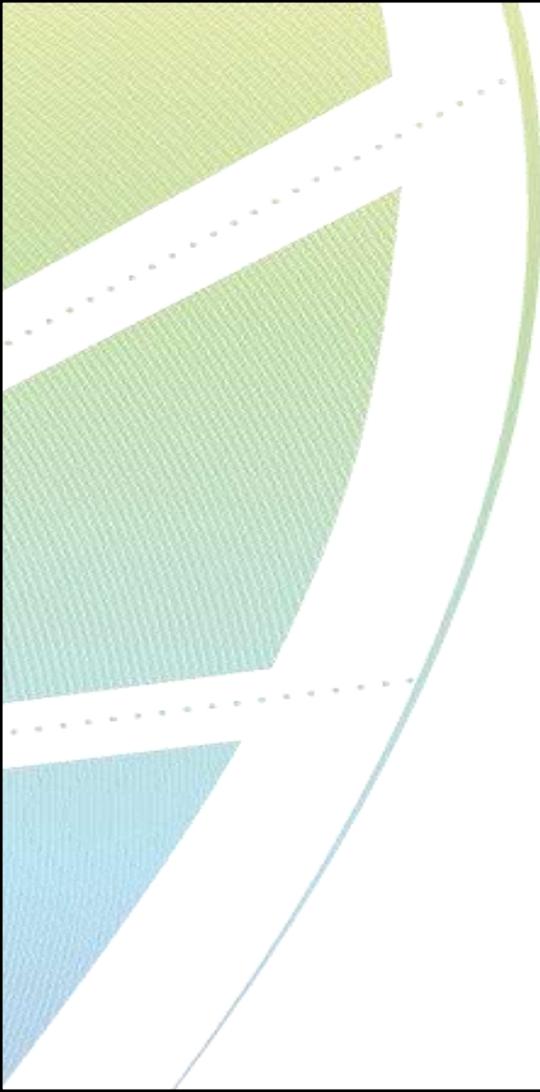
**SEMIS DIRECT SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE**

**PRÉS-VERGER**

**SEMENCE PAYSANNE**

**oraé**  
orez l'agroécologie

**Solagro**



**Questions sur cette deuxième partie ?**

---

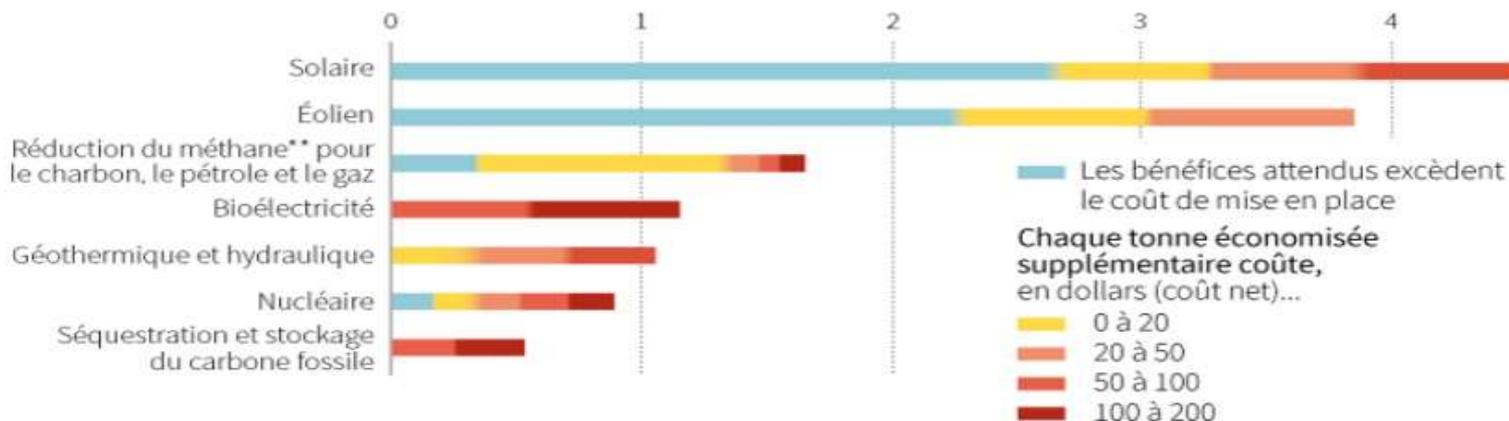


# Production

---

## Énergie : le coût des solutions pour limiter le changement climatique

Contribution potentielle à la réduction nette des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, en gigatonnes\* équivalent CO<sub>2</sub> par an



Source : Giec

\*1 milliard de tonnes

\*\*Le méthane (CH<sub>4</sub>) est un autre gaz à effet de serre



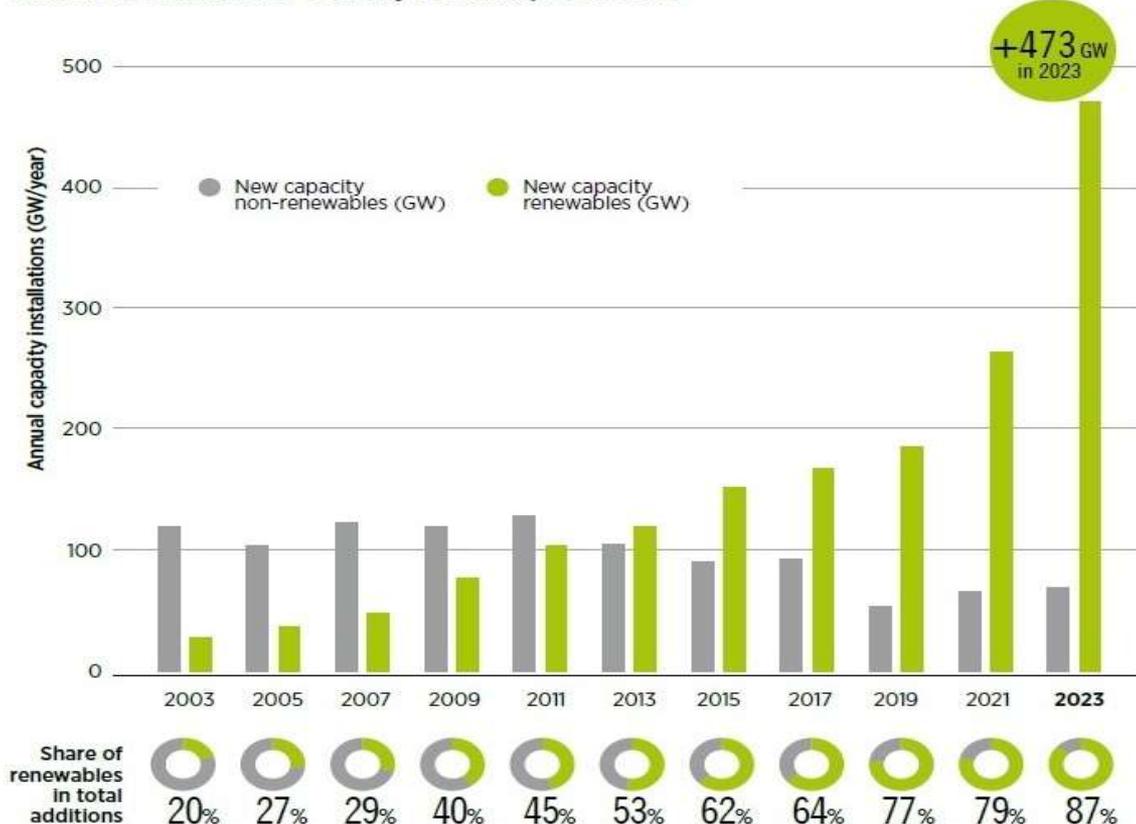
Différentes options d'approvisionnement en énergie pour réduire les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, leur potentiel et leur coût, selon le Giec // PHOTO : AFP / Valentina BRESCHI AND Nalini LEPETIT-CHELLA et Sophie RAMIS



# En 2023, ~87% des nouvelles installations électriques mondiales sont renouvelables

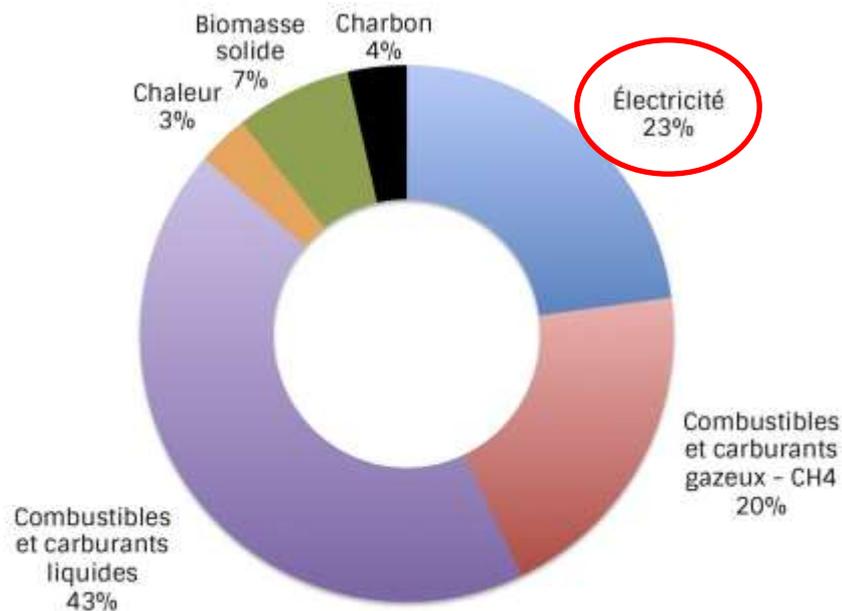


Annual installed power capacity additions, 2003-2023

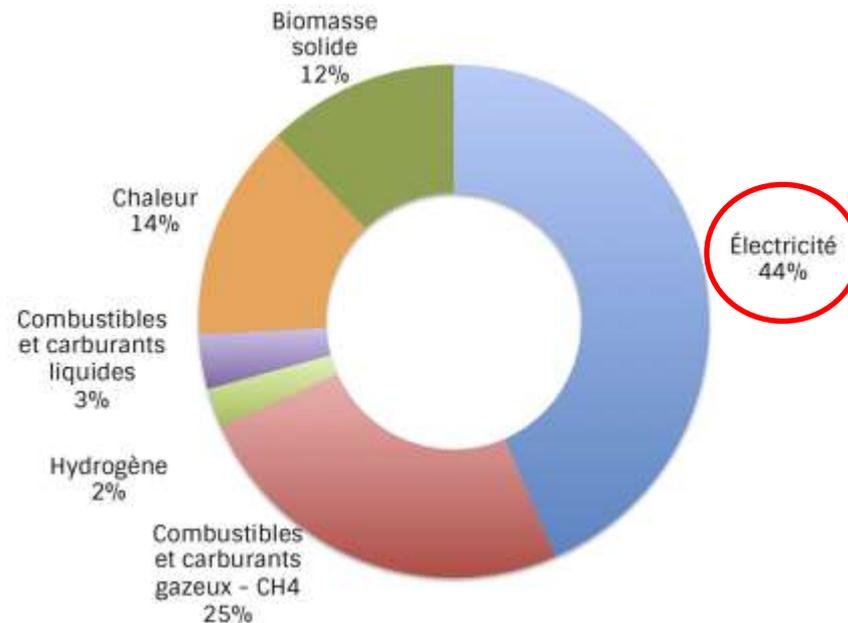


**TRACKING COP28**  
**OUTCOMES**  
**IRENA**  
International Renewable Energy Agency  
**TRIPLING RENEWABLE POWER**  
**CAPACITY BY 2030**

## ↳ Évolution des vecteurs énergétiques

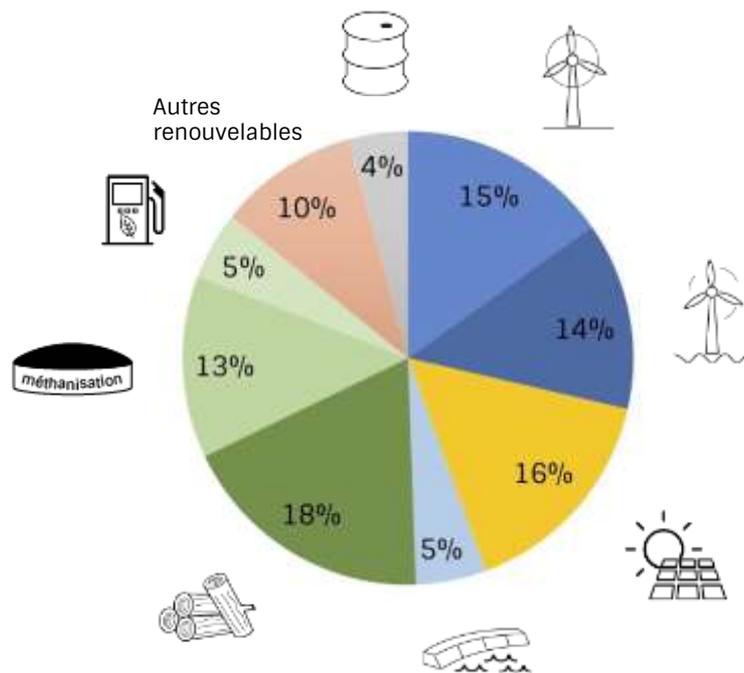


2019

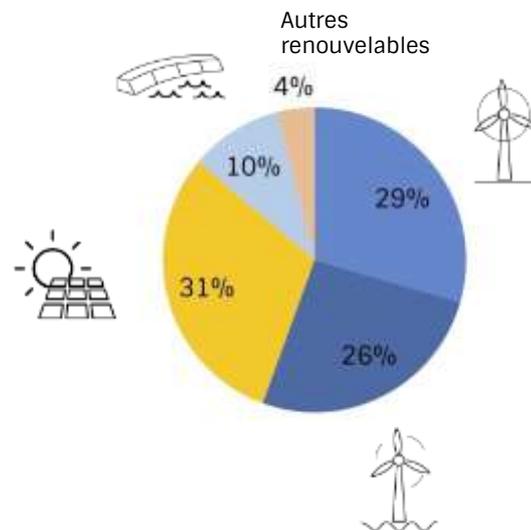


2050

# ➤ Mix énergétique et mix électrique en 2050



Mix énergétique 2050 - 1060 TWh



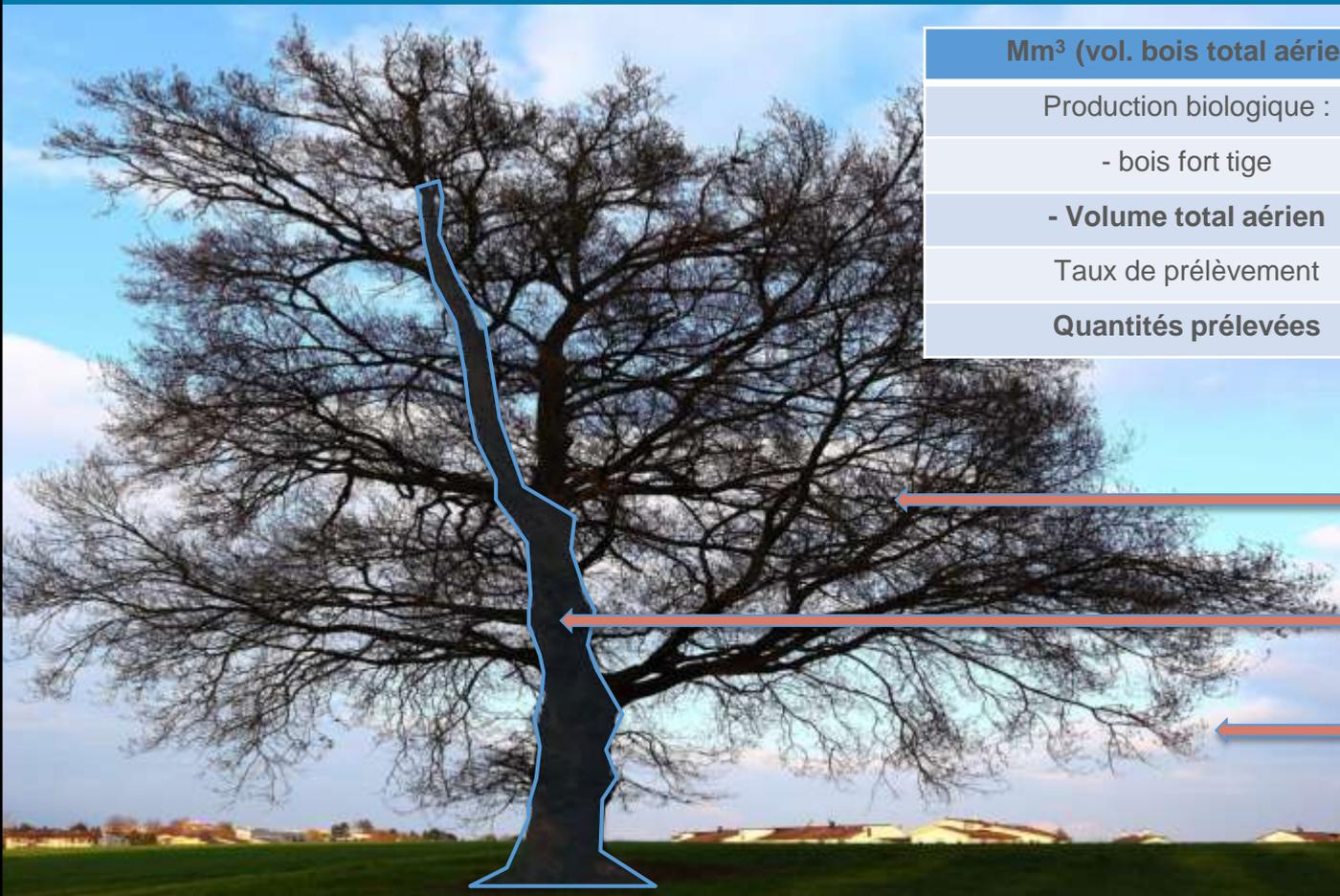
Mix électrique 2050 - 550 TWh



# Bio-énergies

---

# ↳ Une sylviculture « dynamique » mais non « intensive »



Mm <sup>3</sup> (vol. bois total aérien)	2010	2030	2050
Production biologique :			
- bois fort tige	88	94	93
- <b>Volume total aérien</b>	<b>132</b>	<b>141</b>	<b>140</b>
Taux de prélèvement	46%	58%	65%
<b>Quantités prélevées</b>	<b>58</b>	<b>84</b>	<b>91</b>

Bois fort branche

Bois fort tige

Menu bois

## ➤ Biogaz ou biométhane ou gaz renouvelable

Via la méthanisation

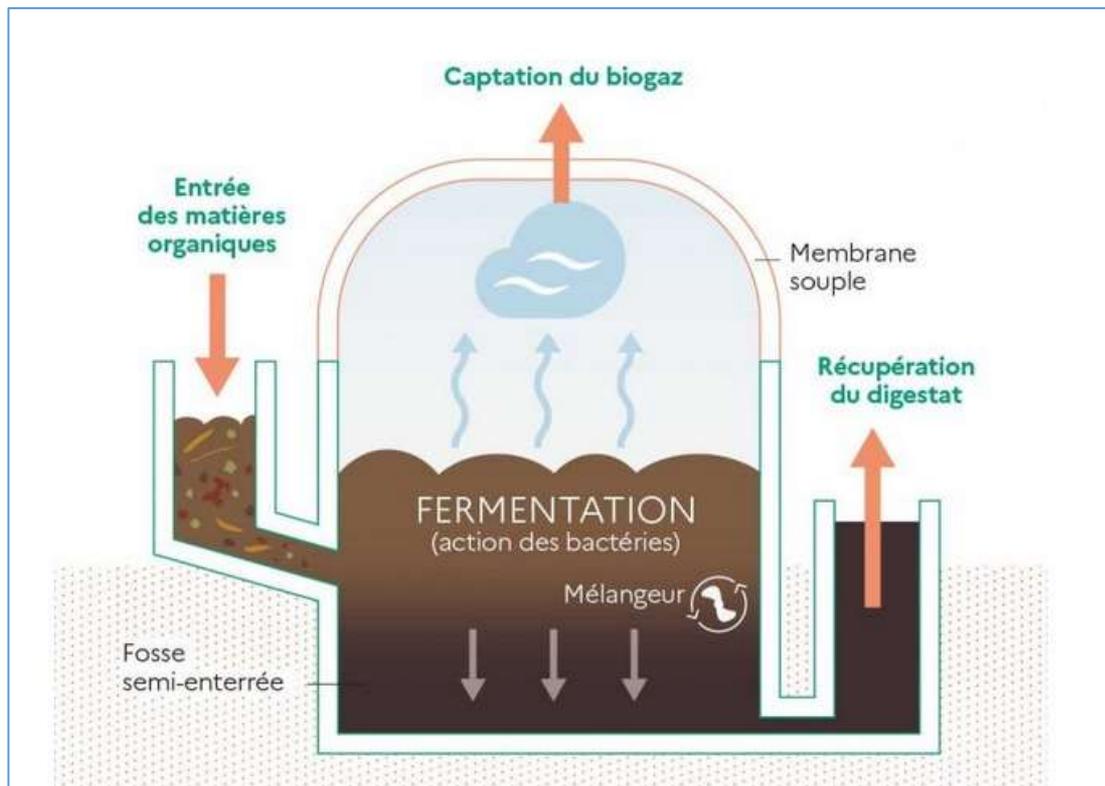
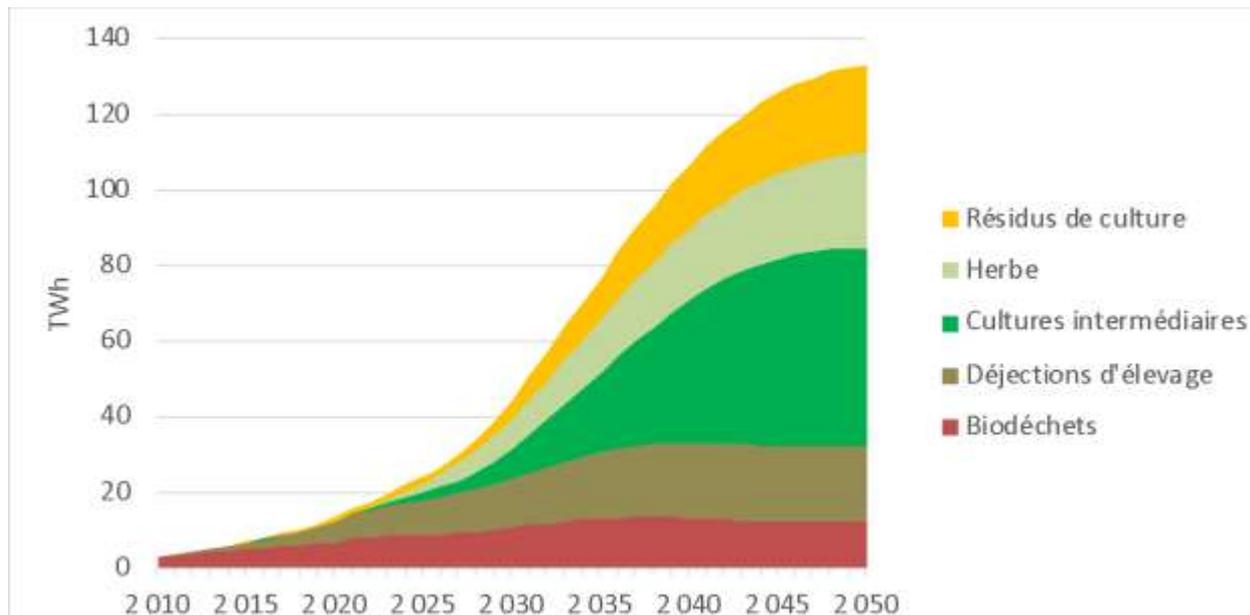


Schéma de la méthanisation en anaérobie à 38 °C  
Source : *La méthanisation en 10 questions* – ADEME

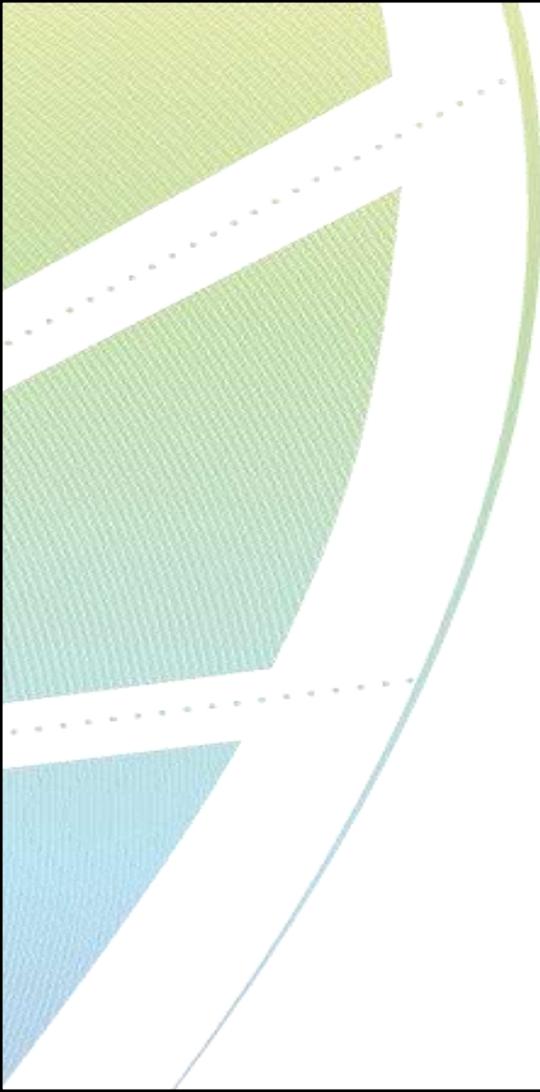


LA FRANCE INDÉPENDANTE EN GAZ EN 2050

## Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?

SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE





# Énergies renouvelables électriques

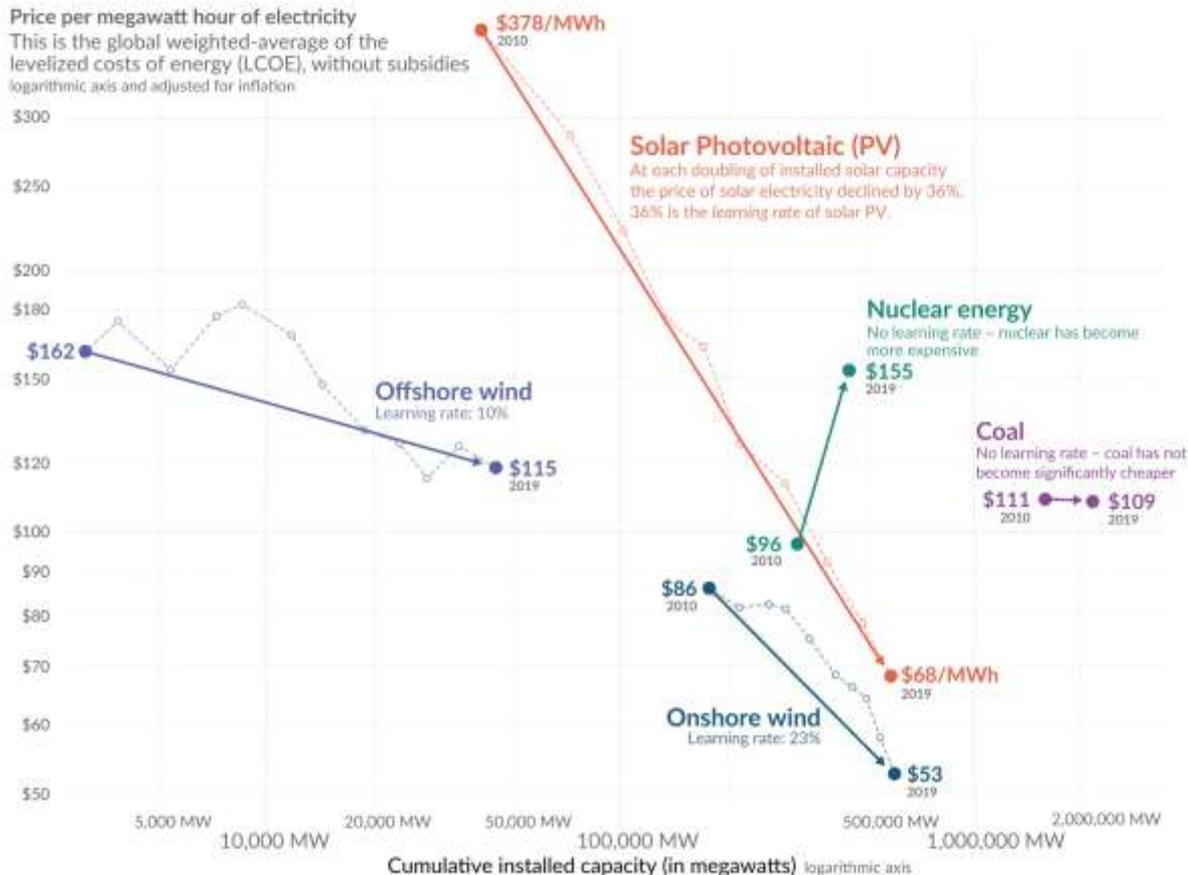
---



## Coût comparé de la production d'électricité

Les énergies renouvelables électriques, éolienne et solaire, sont les moyens les moins coûteux de production, avec des tendances baissières fortes, au contraire des énergies fossiles et fissiles.

# Electricity from renewables became cheaper as we increased capacity – electricity from nuclear and coal did not



Source: IRENA 2020 for all data on renewable sources; Lazard for the price of electricity from nuclear and coal – IAEA for nuclear capacity and Global Energy Monitor for coal capacity. Gas is not shown because the price between gas peaker and combined cycles differs significantly, and global data on the capacity of each of these sources is not available. The price of electricity from gas has fallen over this decade, but over the longer run it is not following a learning curve.

**105 € le MWh**

ÉCONOMIE

## EPR d'Hinkley Point : l'Etat s'inquiète d'une dérive financière

L'électricien, confirmant une information du « Monde », a annoncé que le coût de la future centrale nucléaire britannique s'alourdissait de 1,8 milliard d'euros. La construction risque aussi de prendre plusieurs mois de retard.

Par Jean-Michel Beccat — Publié le 03 juillet 2017 à 16h40 - Mis à jour le 04 juillet 2017 à 09h07

EDF reconnaît que le taux de rentabilité attendu du projet baissera de 9,2 % à 8,5 % et même à 8,2 %, ce qui reste très confortable. En revanche, M. de Rivaz affirme que ce dérapage n'aura « aucune conséquence » sur le contrat signé en 2013 entre le gouvernement britannique et la société exploitant la centrale. Il garantit à EDF et à CGN une rémunération de 92,50 livres (105 euros) par mégawattheure (MWh) durant trente-cinq ans. Le dirigeant assure que ces quinze mois sont « très en deçà » du retard au-delà duquel Londres est en droit de réduire ce prix garanti.

Le Monde

**45 € le MWh**

## F / Économie

### Le plus grand parc éolien français, au large de la Normandie, attribué à EDF

Par Elsa Bembaron

Publié le 27/03/2023 à 10:22 , mis à jour le 27/03/2023 à 19:47

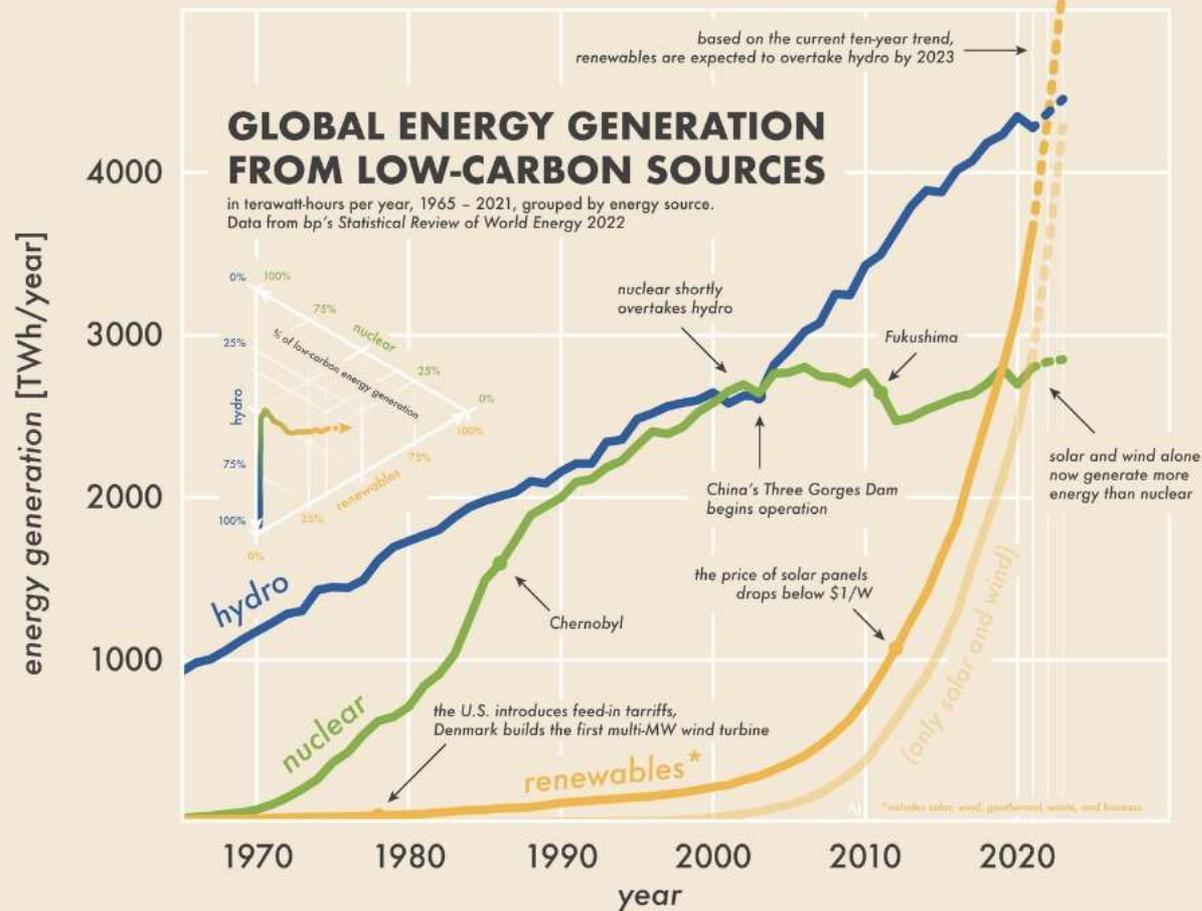
EDF a emporté le contrat, instruit par la Commission de régulation de l'énergie (CRE), en proposant 44,90 euros du méga-wattheure (MWh). Ce qui est peu élevé :



## Développement des énergies décarbonées

La production électrique mondiale **solaire + éolienne** a dépassé en 2021 la production électronucléaire.

La production électrique **renouvelable (hors hydro)** devrait dépasser la production hydroélectrique en 2023.

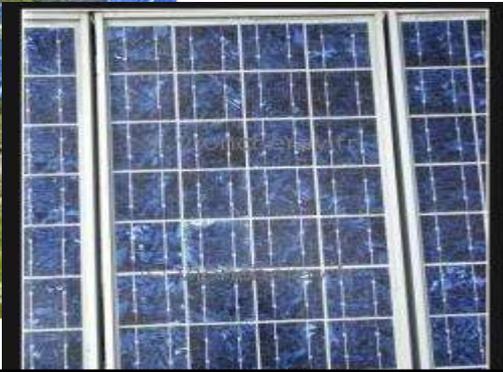
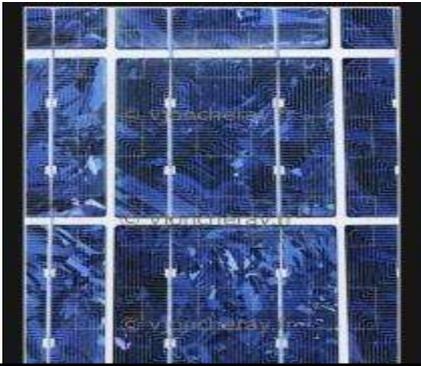




# Le soleil



## Electricité



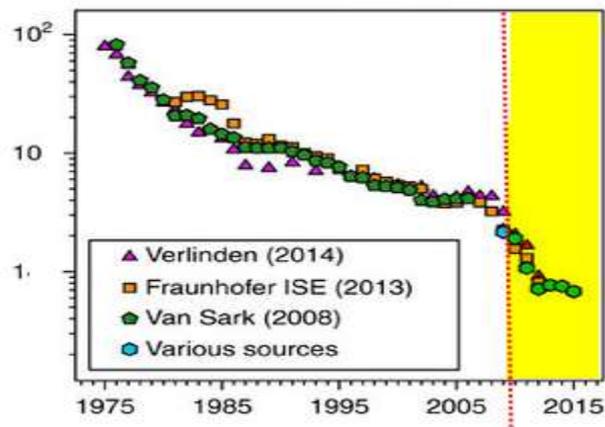
# Centrale solaire



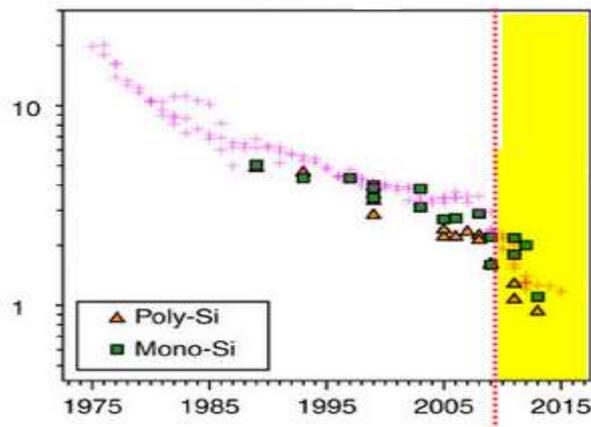


# ↘ Electricité : la révolution photovoltaïque

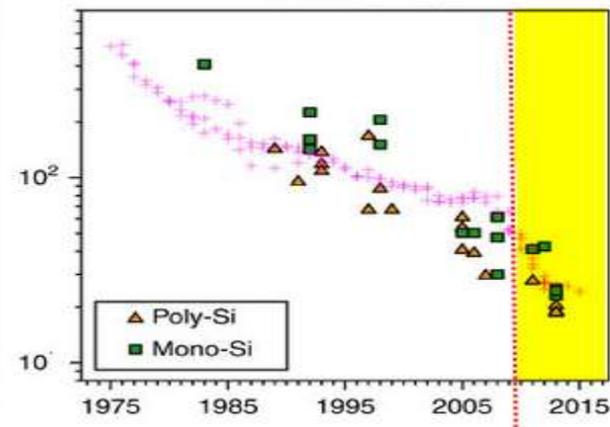
Depuis ~2010, une rupture radicale, résultat des efforts de Recherche et Développement et grâce à la massification



**Coût**  
en \$ 2015 par Wc

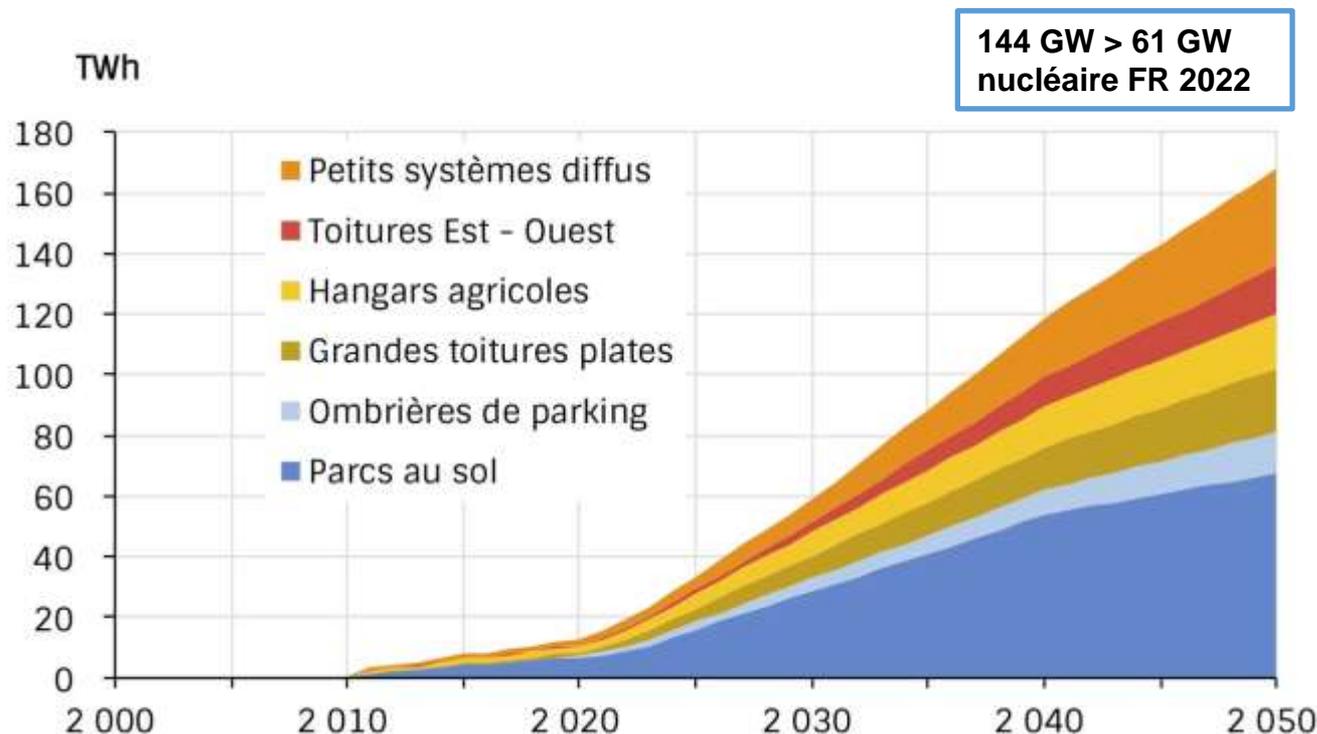


**Temps de retour énergie**  
en années



**Effet de serre**  
en gCO2 par kWh

## ↳ Le photovoltaïque dans le scénario négaWatt



Production totale de **168 TWh** en 2050.

144 000 MW installés

4 000 MW installés / an

Des enjeux industriels importants

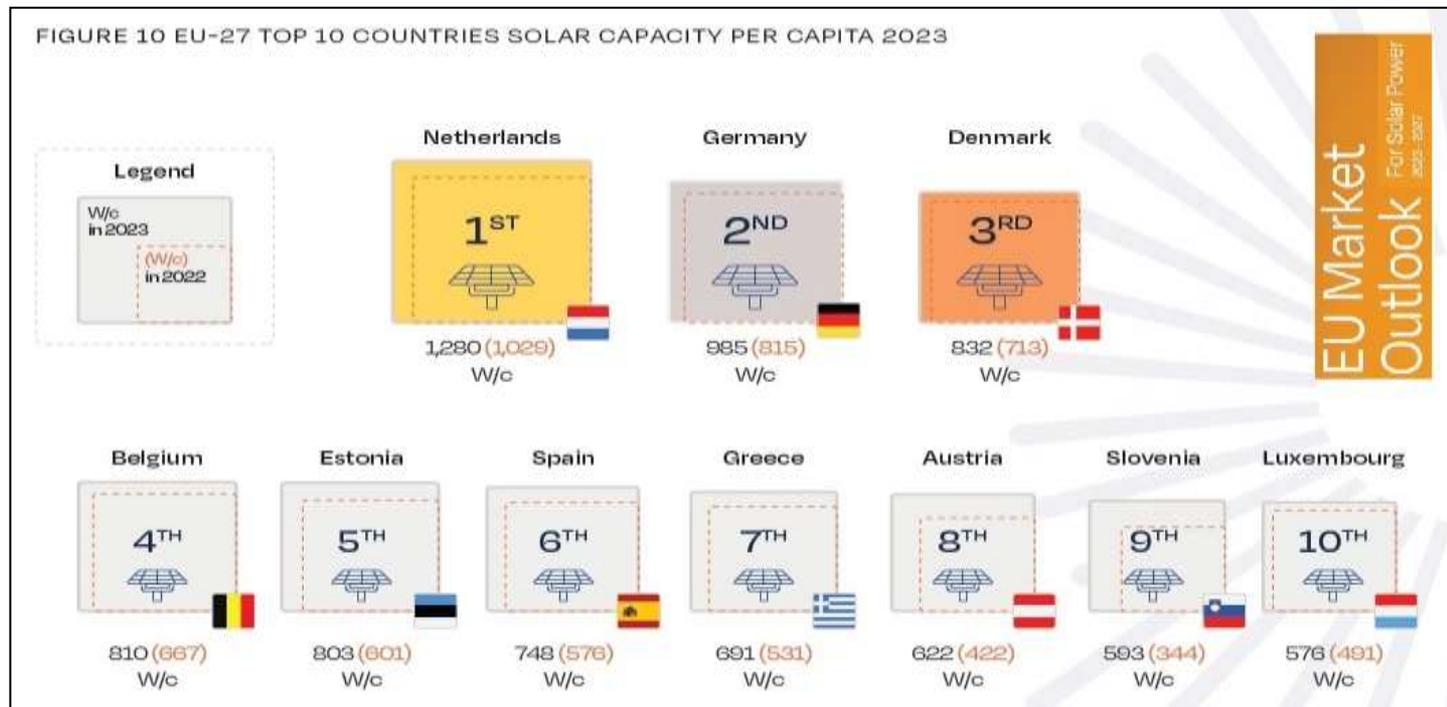
Une grande diversité d'installations.

Parcs au sol : pas de concurrence avec les usages agricoles.



# Le photovoltaïque ailleurs

Les Pays-Bas sont leader européen en photovoltaïque par habitant (1,3 kW/habitant).  
En France c'est ...0,3 kW.





# Le vent



# ➤ Eolien en mer planté

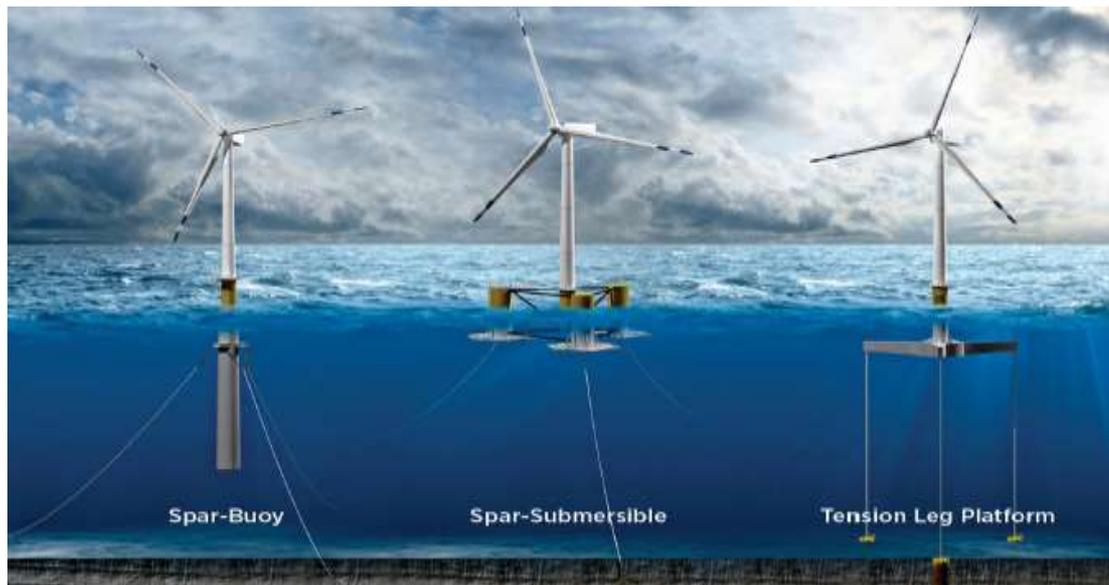


## L'éolien en mer

Après le début des travaux sur Saint-Nazaire, les projets de Fécamp et Saint-Brieuc sont désormais engagés



## ↘ Eolien en mer flottant



Projets éoliens en Occitanie

Retour d'expériences : les impacts des éoliennes sont associés avant tout à leur fonctionnement.

Pour chaque impact ou nuisance potentielle, un arrêt temporaire (ou un bridage) permet régulièrement de limiter considérablement cet impact/nuisance, pour :

Acoustique

Chauve-souris

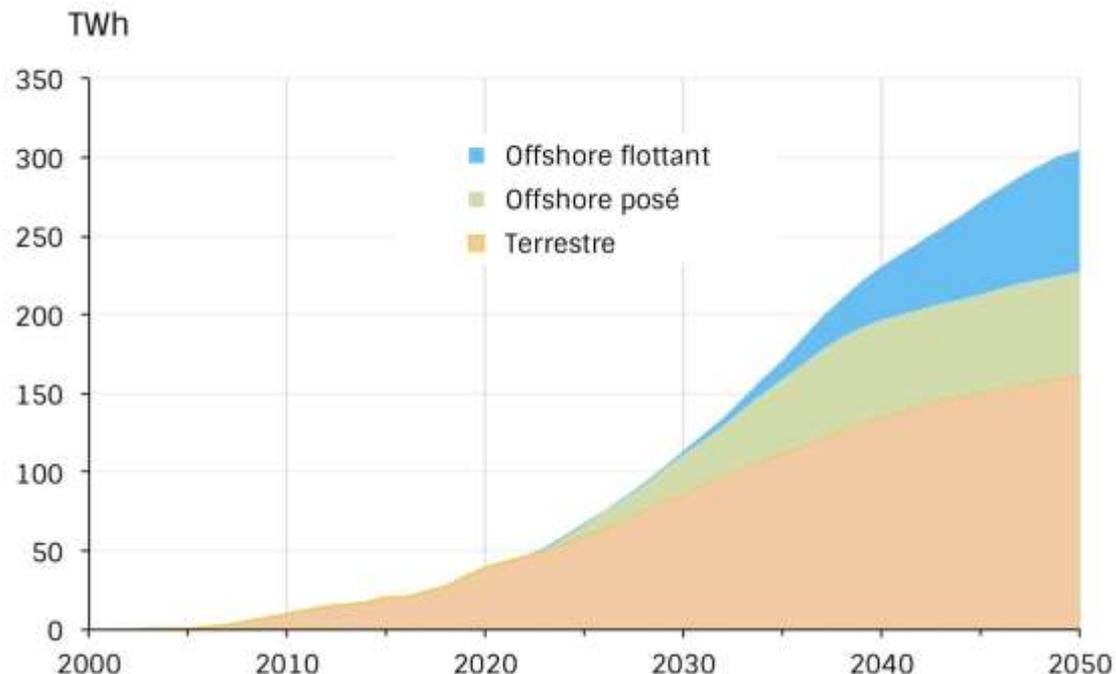
Oiseaux

Ombres portées

→ *Impact sur le productible du fait de ces plans de gestion de l'ordre de 4 à 5% (retours d'expériences Eoltech, Everoze).*



## ↳ L'éolien dans le scénario négaWatt



Production totale de **305 TWh** en 2050 dont :

- 162 TWh en terrestre
- 143 TWh en maritime

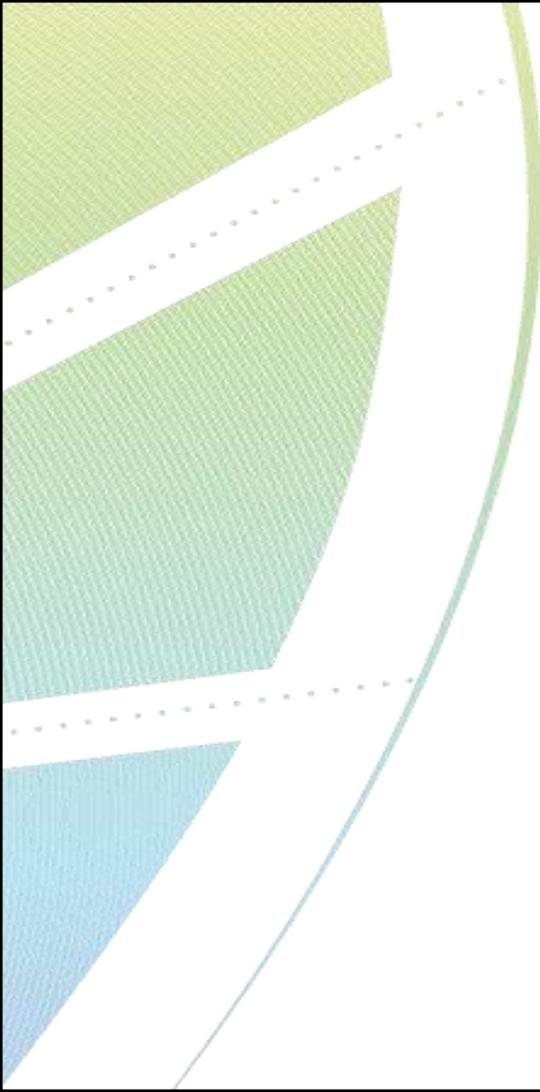
**Soit > la production nucléaire FR 2022**

61 300 MW éolien sur terre +  
18 000 MW éolien posé en mer +  
20 000 MW éolien flottant en mer

**99,3 GW > 61 GW nucléaire FR 2022**

18 500 éoliennes terrestres en 2050 : **multiplication par 2 par rapport à 2021.**

Déploiement d'une filière industrielle française (notamment pour l'éolien maritime).



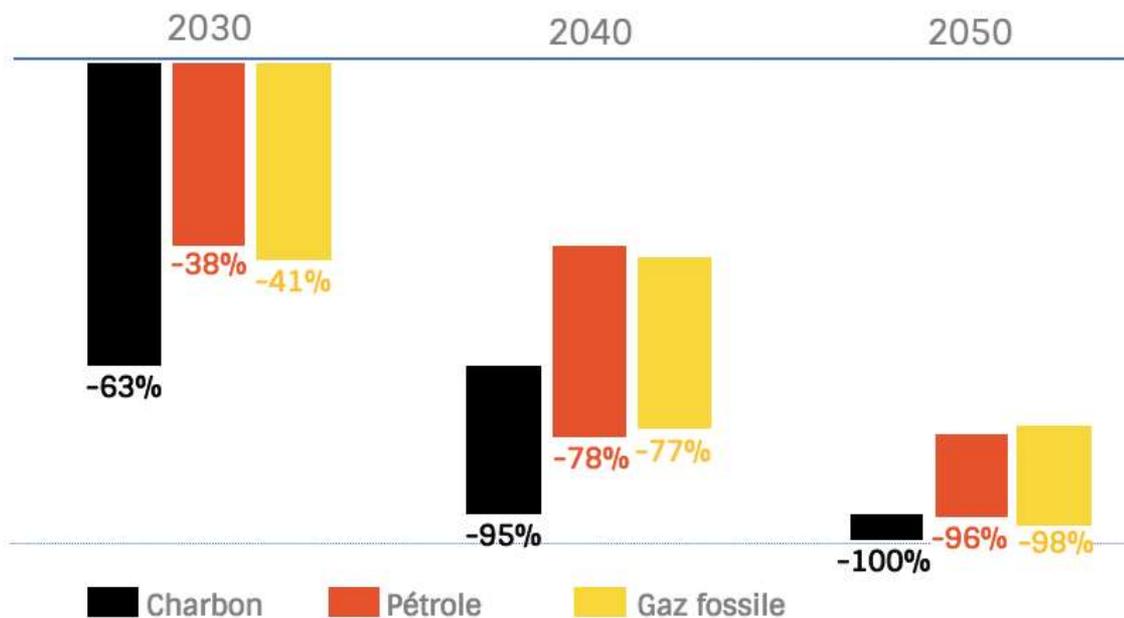
# Production

Développement des énergies renouvelables

**Fin des énergies fossiles et du nucléaire**

- Sortie progressive des énergies fossiles sauf usages résiduels marginaux de gaz fossile
- Talon d'usages non énergétiques
- Effort de substitution continu entre vecteurs et de remplacement du gaz fossile par du gaz vert
- Pas de pic temporaire lié à la transition

## Réduction de la consommation d'énergies fossiles par rapport à 2020



**Soutenabilité** Le nucléaire, actuel ou nouveau, est intrinsèquement moins soutenable que les énergies renouvelables électriques.



**Faisabilité** Un système électrique 100 % renouvelable est possible à l'horizon 2050.



**Performance** L'éolien et le photovoltaïque sont plus rapides, plus fiables et moins coûteux à construire que les réacteurs nucléaires.

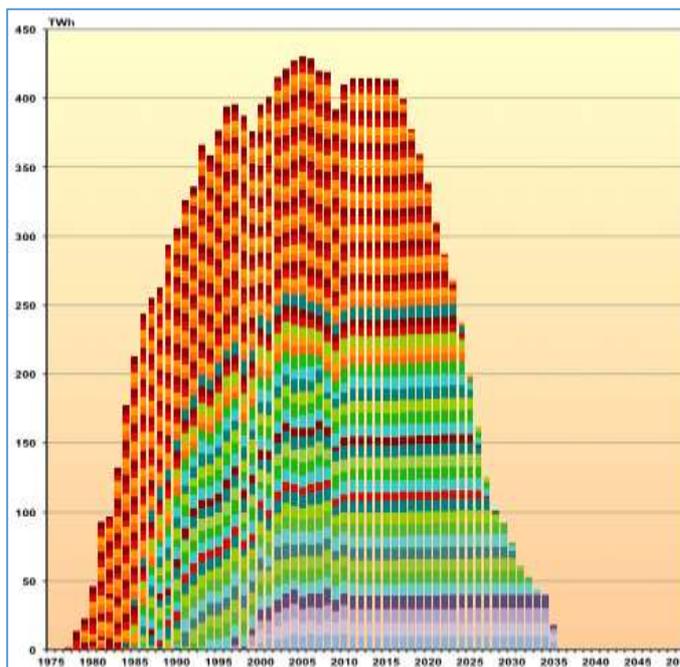
## ↘ Risques et limites du nucléaire

- Limites
  - **3% de la consommation finale d'énergie** dans le Monde, et 16 % en France
  - **Généralisation impossible** pour des raisons techniques, sociales, et politiques : grosse puissance, besoin d'un gendarme, prolifération de la bombe
  - **Coût élevé** (kWh EPR > kWh éolien)
  - **Long** à construire
  - Forts **besoins en eau** peu compatible avec le bouleversement climatique
- Irréversibilité
  - **Déchets** à gérer sur des milliers d'années
  - Incertitudes (techniques et coût) sur le **démantèlement**
- Risque majeur
  - Conséquences sociopolitiques ingérables (Tchernobyl, Fukushima)



## ↳ Les (grosses) difficultés du nucléaire français

Un parc nucléaire construit en peu de temps (80 % en 10 ans) et qui vieillit de façon groupée.



### Difficultés :

- Un parc nucléaire vieillissant : effet falaise,
- problèmes de corrosion
- Nouveau nucléaire dans 20 ans au mieux



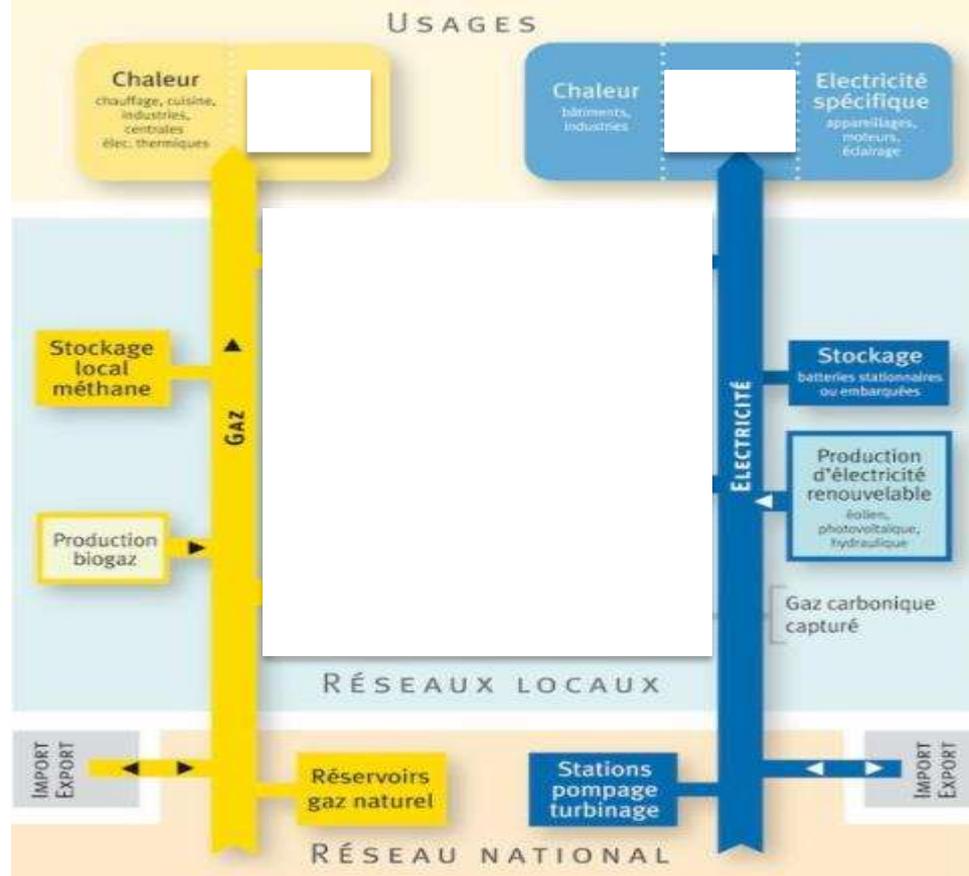


# Réponse à la variabilité des productions éolienne et solaire



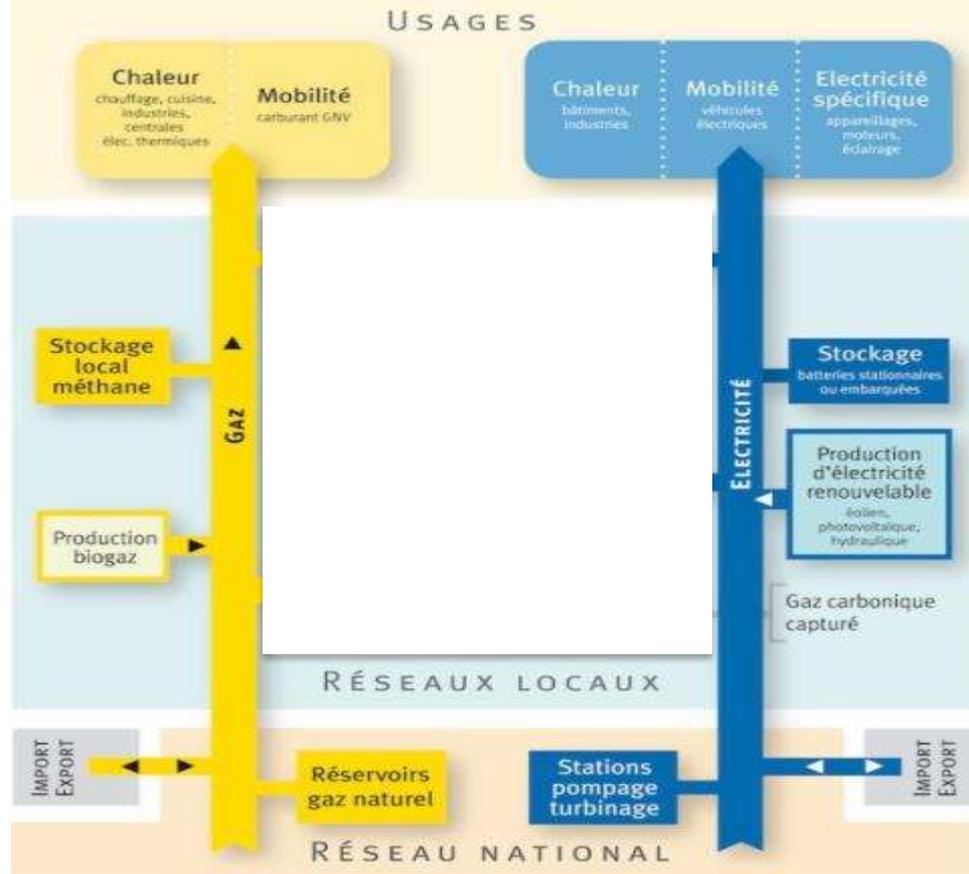
# ➤ Power-to-Gas : le mariage électron-méthane

- Aujourd'hui



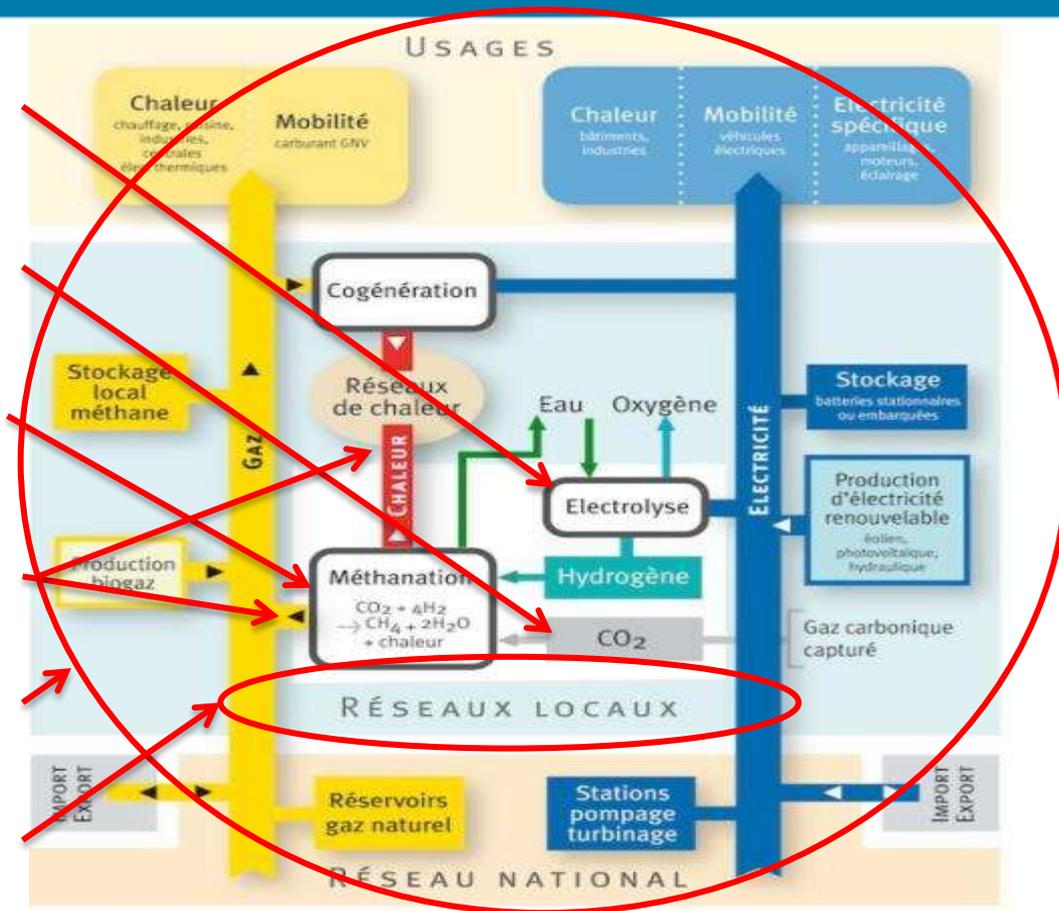
# ➤ Power-to-Gas : le mariage électron-méthane

- Demain
  - Des usages diversifiés
  - Des réseaux connectés



## ➤ Power-to-Gas : le mariage électron-méthane

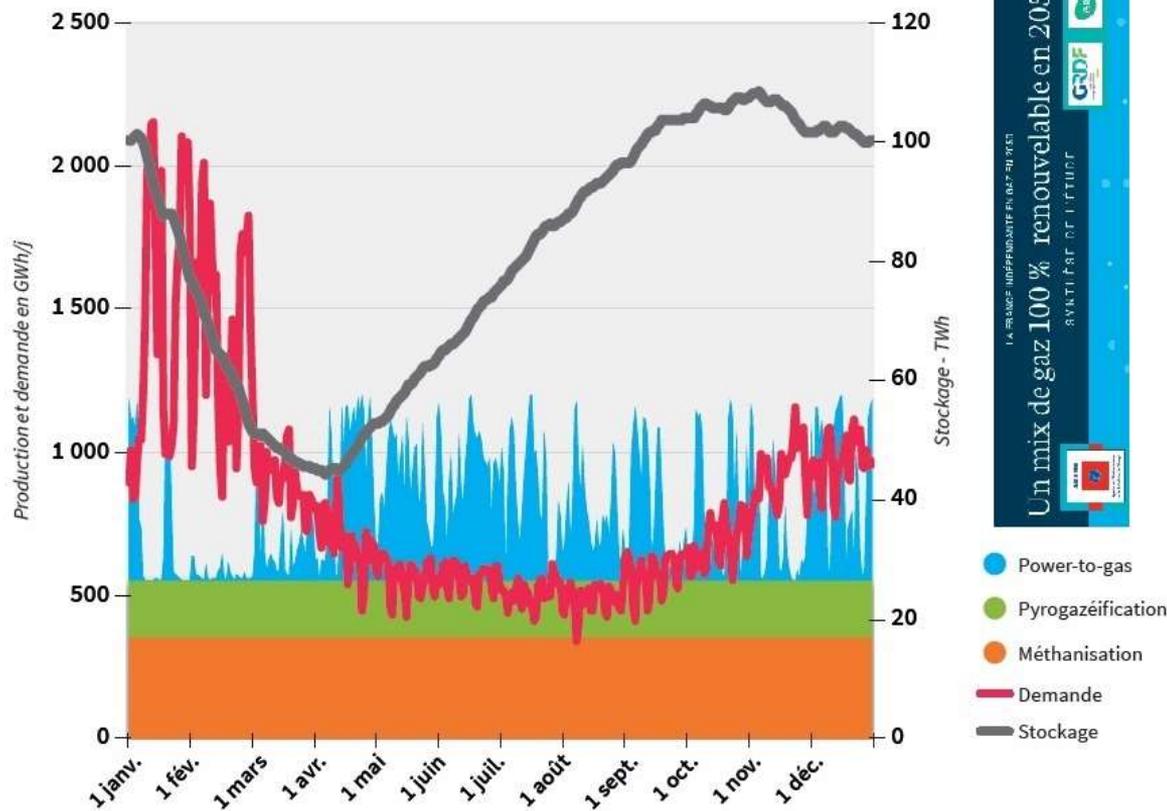
- Production d'hydrogène ( $H_2$ ) grâce aux excédents d'électricité
- Capture du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) : épuration du biogaz, industrie, ...
- Production de méthane ( $CH_4$ ) par réaction de Sabatier (*méthanation*)
- Injection et stockage du  $CH_4$  dans le réseau de gaz, production de chaleur
- **Interopérabilité** des réseaux (électricité, gaz et chaleur)
- Rôle primordial des **collectivités** et des **territoires**

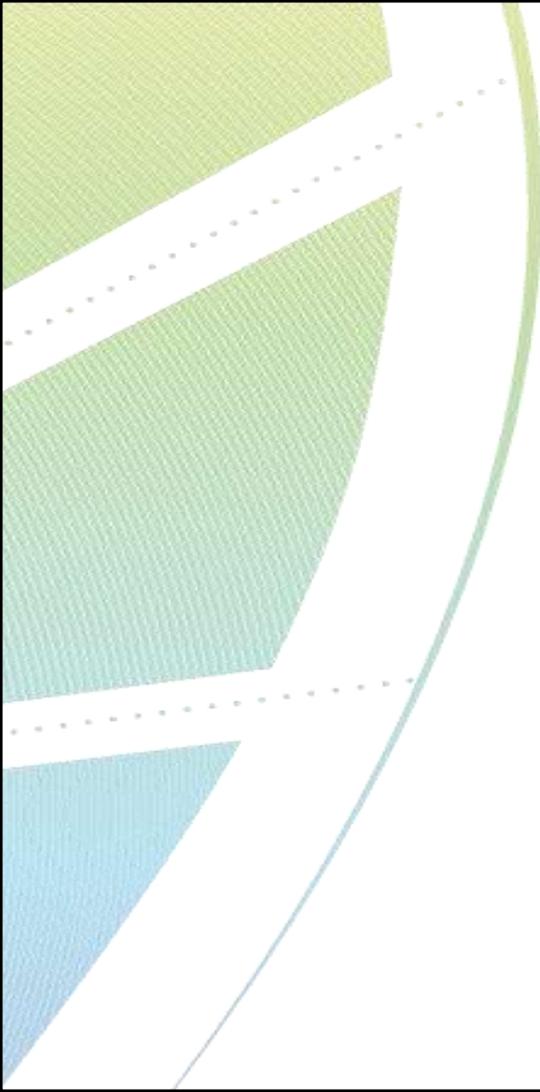


# ➤ Power-to-Gas : le mariage électron-méthane

La capacité de stockage du réseau de gaz EXISTANT est de 110 TWh.

FIGURE 10 : ÉQUILIBRAGE OFFRE-DEMANDE ET ÉVOLUTION DU STOCKAGE (ANNÉE NORMALE)





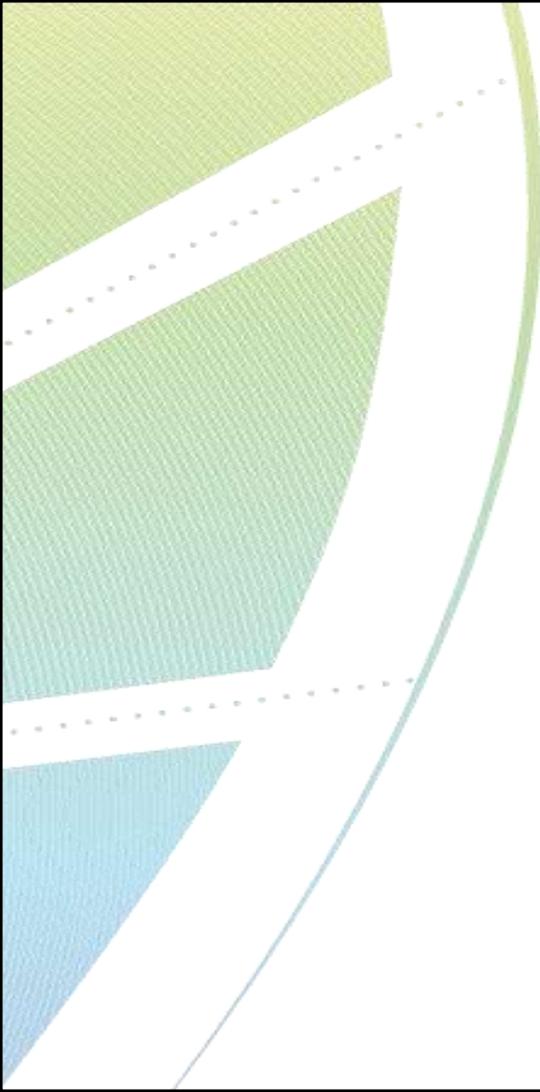
**Questions sur cette troisième partie ?**

---



# **Bilan et résultats**

---

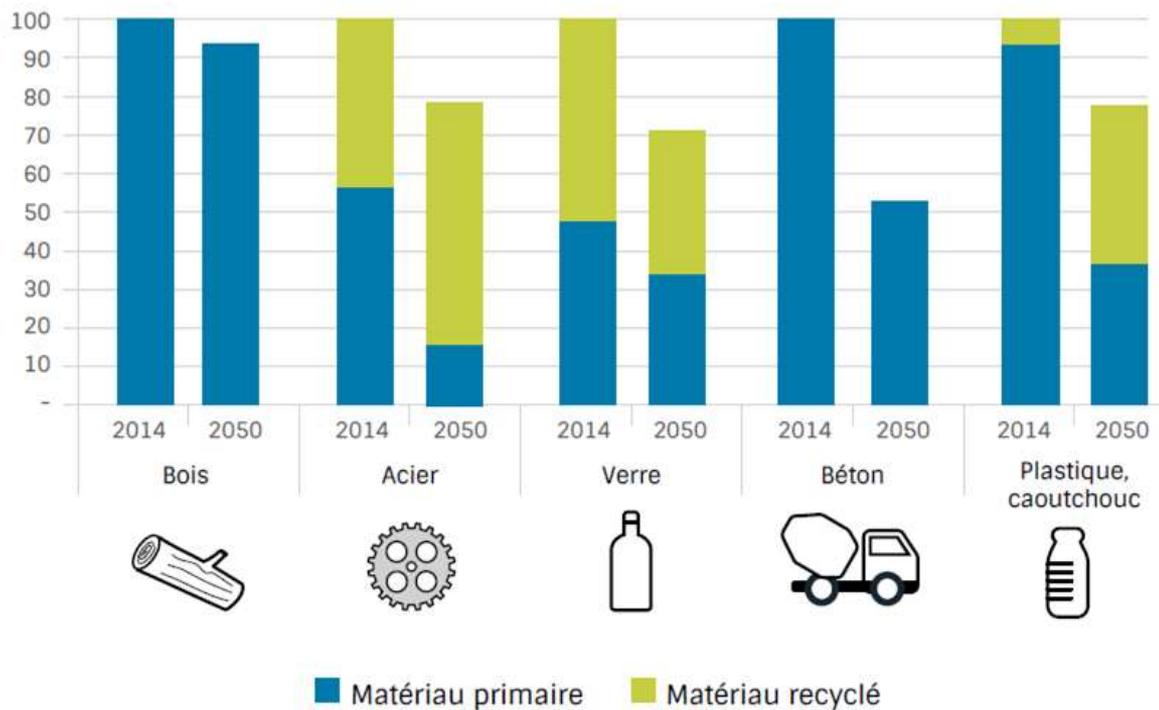


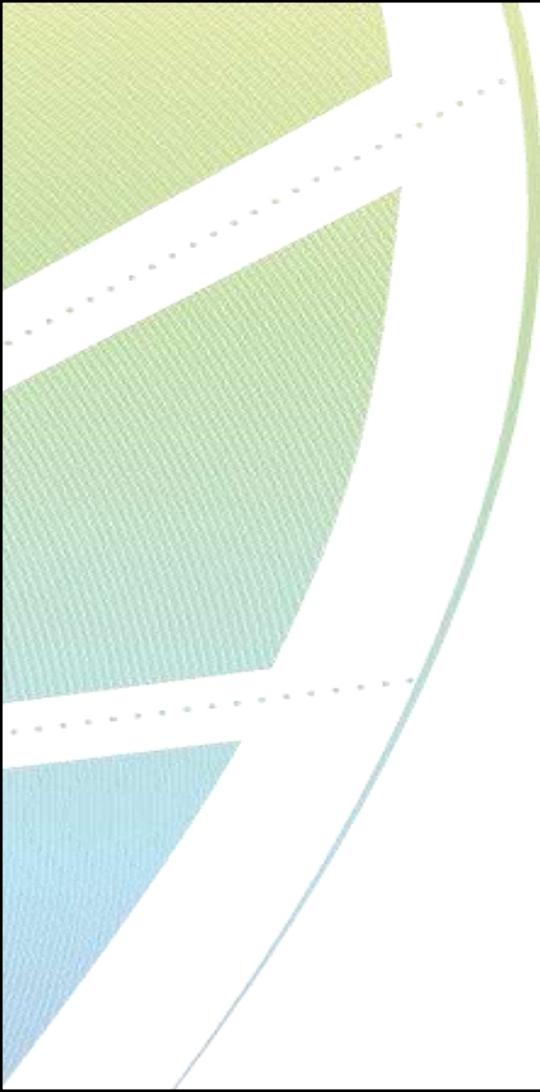
## **2. Bilan matières**

---

## ↳ Une consommation de matériaux en baisse

Evolution de la consommation de matériaux primaires et recyclés

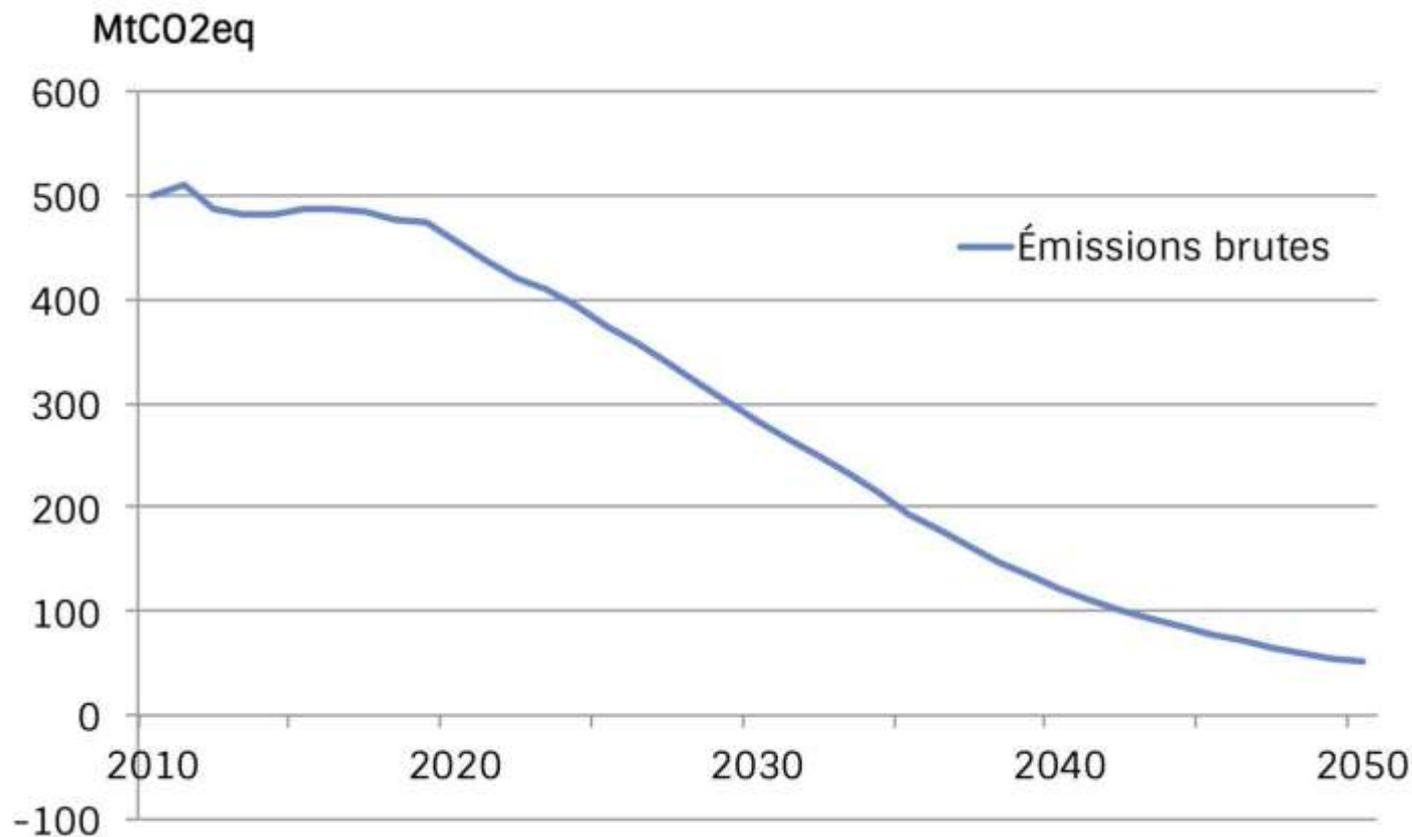




## **3. Bilan gaz à effet de serre**

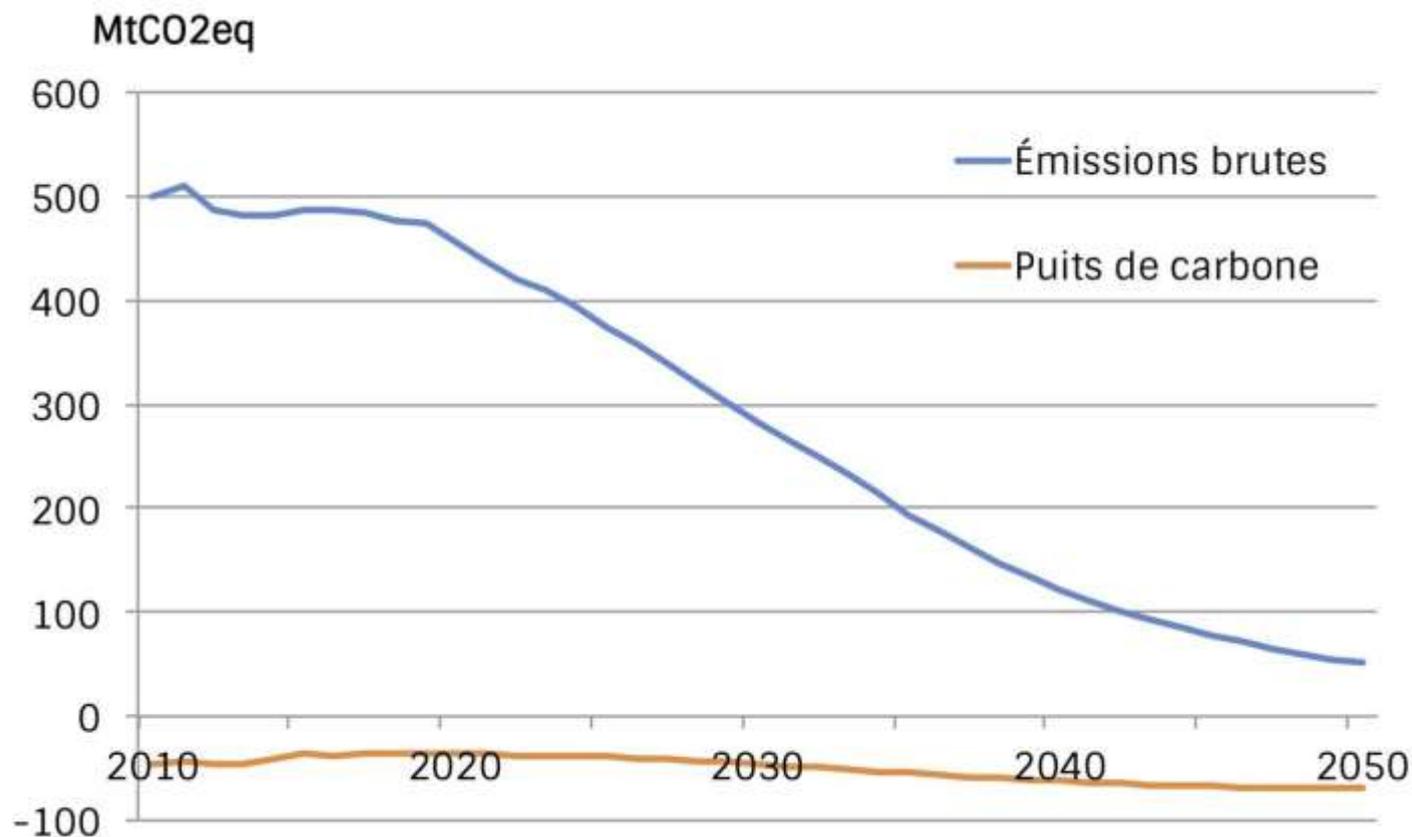
---

# ↘ Une forte décarbonation permet la neutralité carbone

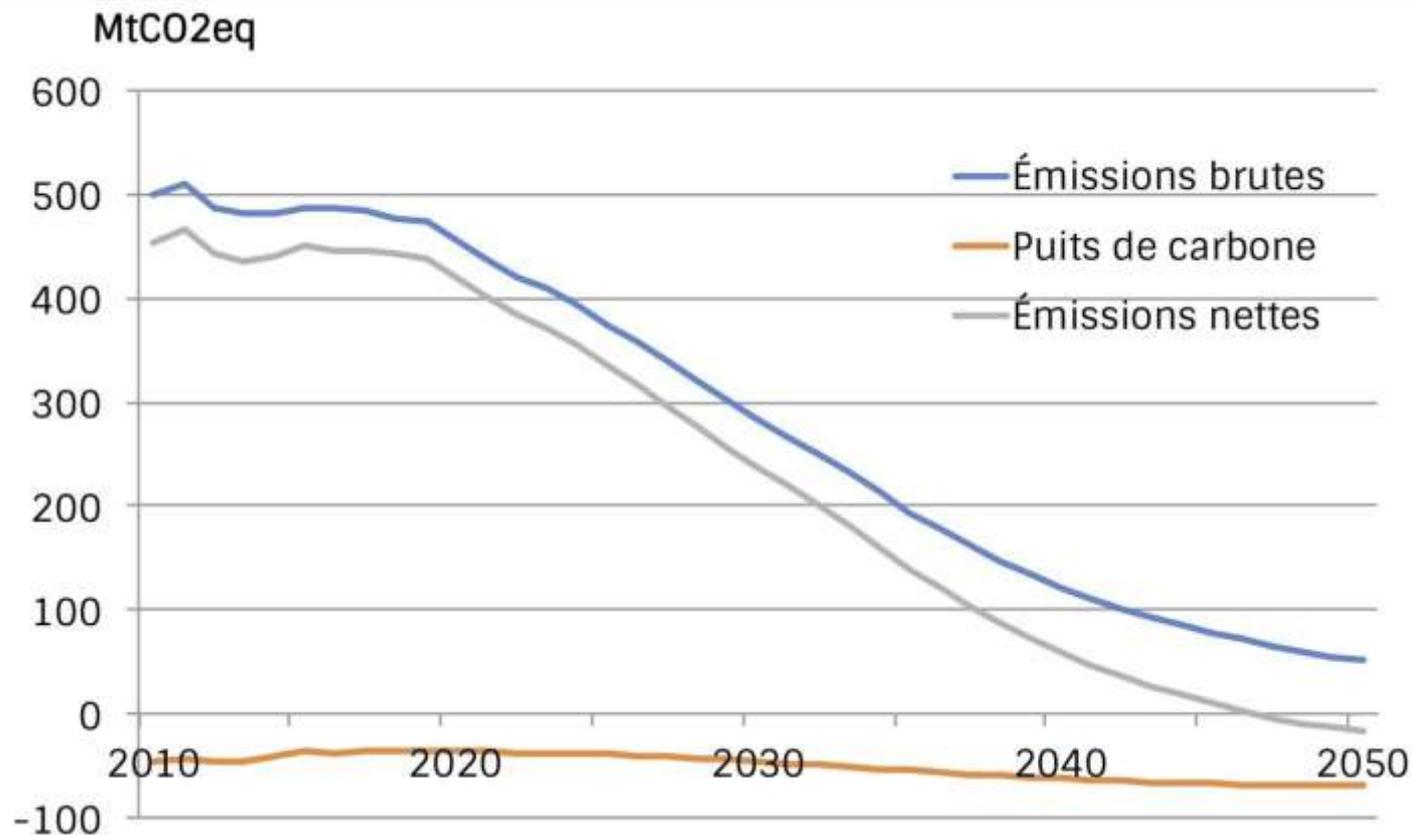


**Des émissions territoriales de GES divisées par 9 entre 2019 et 2050**

# ↘ Une forte décarbonation permet la neutralité carbone

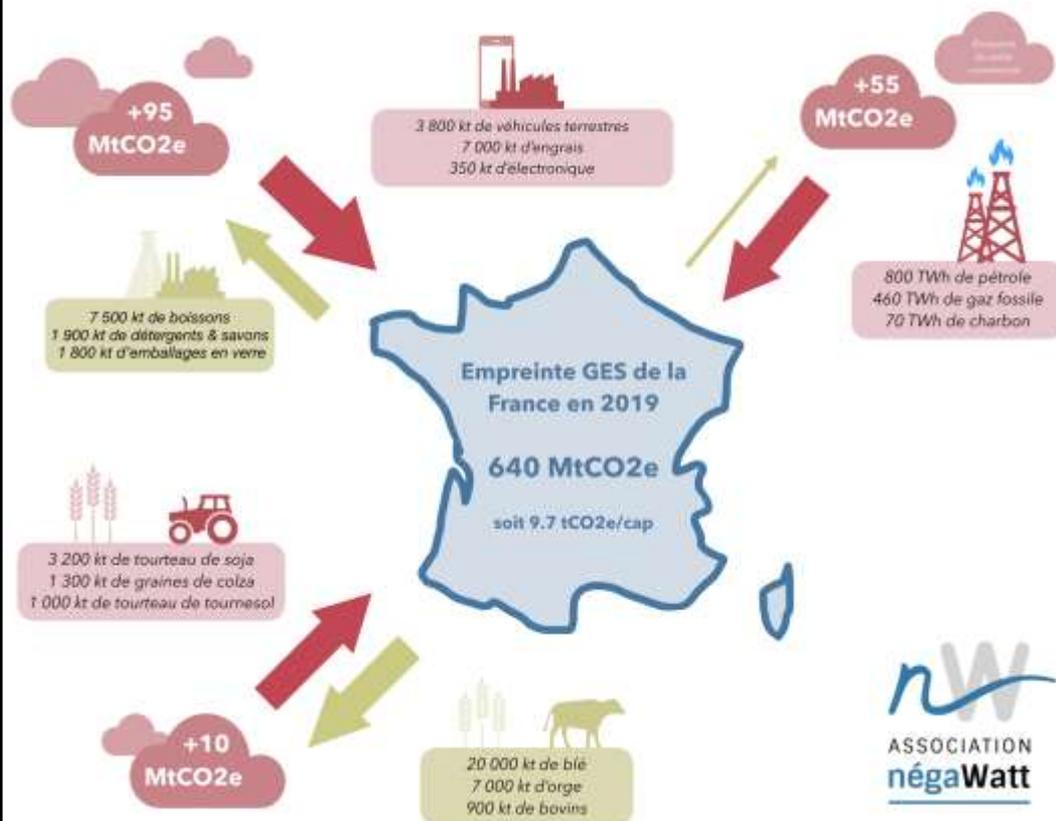


# Une forte décarbonation permet la neutralité carbone



La neutralité  
carbone atteinte  
en 2047

## ↘ Aller plus loin : l'empreinte carbone



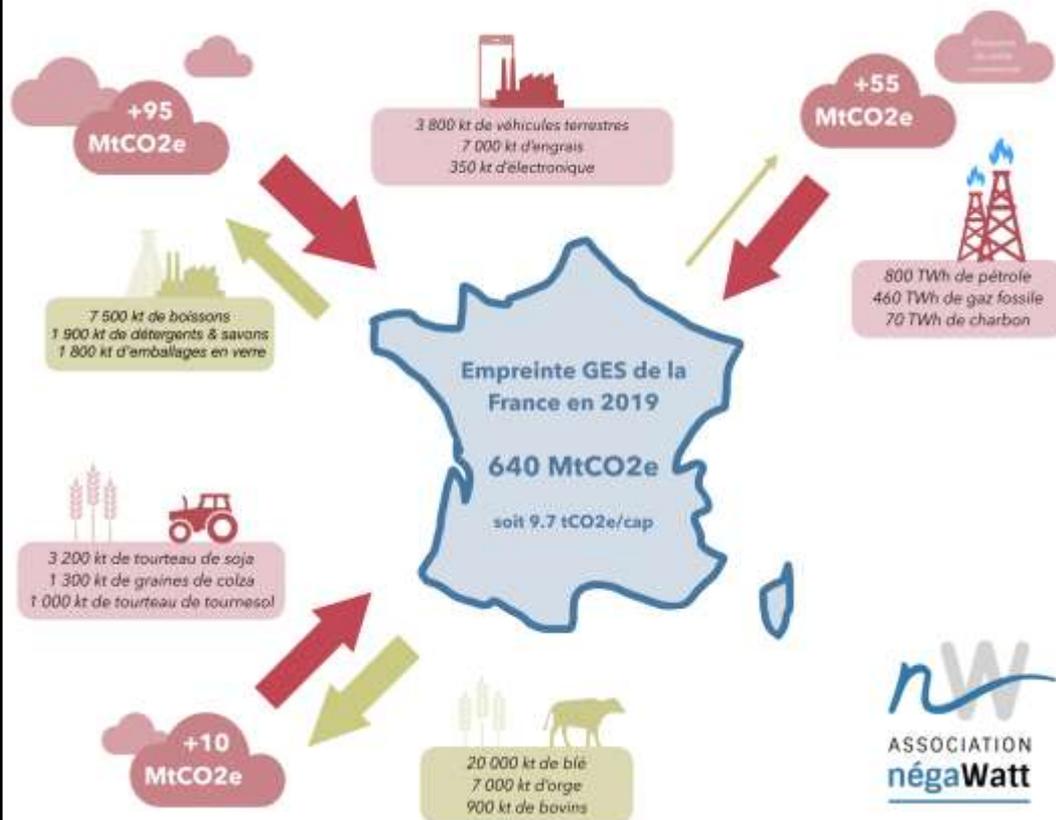
L'empreinte carbone cumule les émissions nationales et le **solde importateur**, en tenant compte :

- des produits agricoles et industriels importés + exportés
- de l'énergie carbonée importée
- du transport de marchandises dans les pays d'origine

Le mode de calcul est basé sur :

- des flux physiques
- le contenu carbone de production des pays qui exportent vers la France

## ↘ Aller plus loin : l'empreinte carbone



En empreinte, en supposant un mix énergétique mondial conforme au scénario négaWatt, la neutralité carbone est atteinte en 2050

### **Ce qu'on peut retenir de ce scénario :**

- Un chemin possible vers une société plus respectueuse de la planète, des ressources et de l'humain.
- Ce chemin implique une transition sociétale forte, mais une transition possible et progressive.

**Les conséquences du dérèglement climatique sont déjà visibles, nous ne pouvons plus attendre...**

**→ Il nous faut agir vite pour limiter ces effets et préserver l'ensemble de la population, de manière socialement juste.**



→ De nombreuses ressources disponibles sur :

[www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)

Synthèse du scénario

Rapport complet

Graphiques dynamiques

Replay de la présentation complète

**Soutenez négaWatt**

Adhérez ou faites

un don sur

[www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)

→ Des réponses aux idées reçues sur la transition énergétique sur :



[www.decrypterlenergie.org](http://www.decrypterlenergie.org)

↘ Un travail collectif, un scénario, trois livres

