

# Scénario négaWatt 2022

Réussir la Transition Energétique

Daniel MUGNIER

11 Octobre 2023 – Condrieu

## ↳ Qui sommes-nous ?



- Une association, créée en 2001 par des professionnels de l'énergie
- Missions :
  - **Expertise et prospective énergétique**
  - **Plaidoyer à l'échelle nationale**
- 12 salariés - 30 membres actifs - 1500 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**
- 16 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**
- 46 salariés - 5 agences régionales



# Contexte



# Un contexte de plus en plus préoccupant



Plus que jamais,  
“Notre maison brûle...”

**Urgence  
climatique**

Inégalités  
croissantes

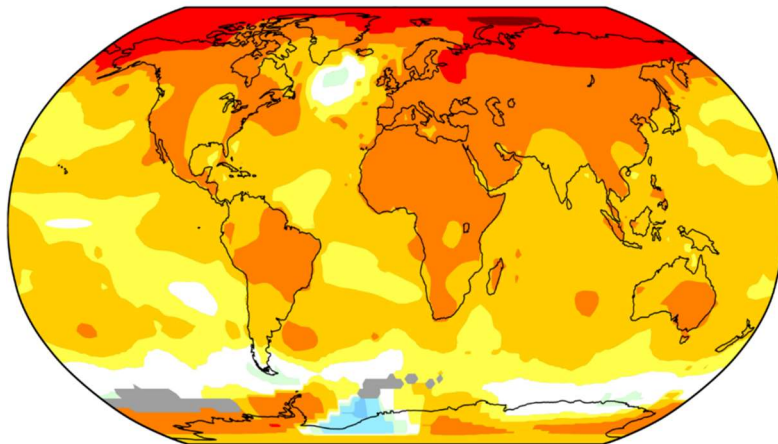
**Effondrement  
de la biodiversité**

Vulnérabilité  
des sociétés

Tensions  
géopolitiques

Démocratie  
menacée

Atteintes à la santé



Plus que jamais,  
... nous contemplons l'extincteur

Transition  
écologique

Faisabilité  
Rationalité  
Opportunité

Lenteur  
et inaction  
politique





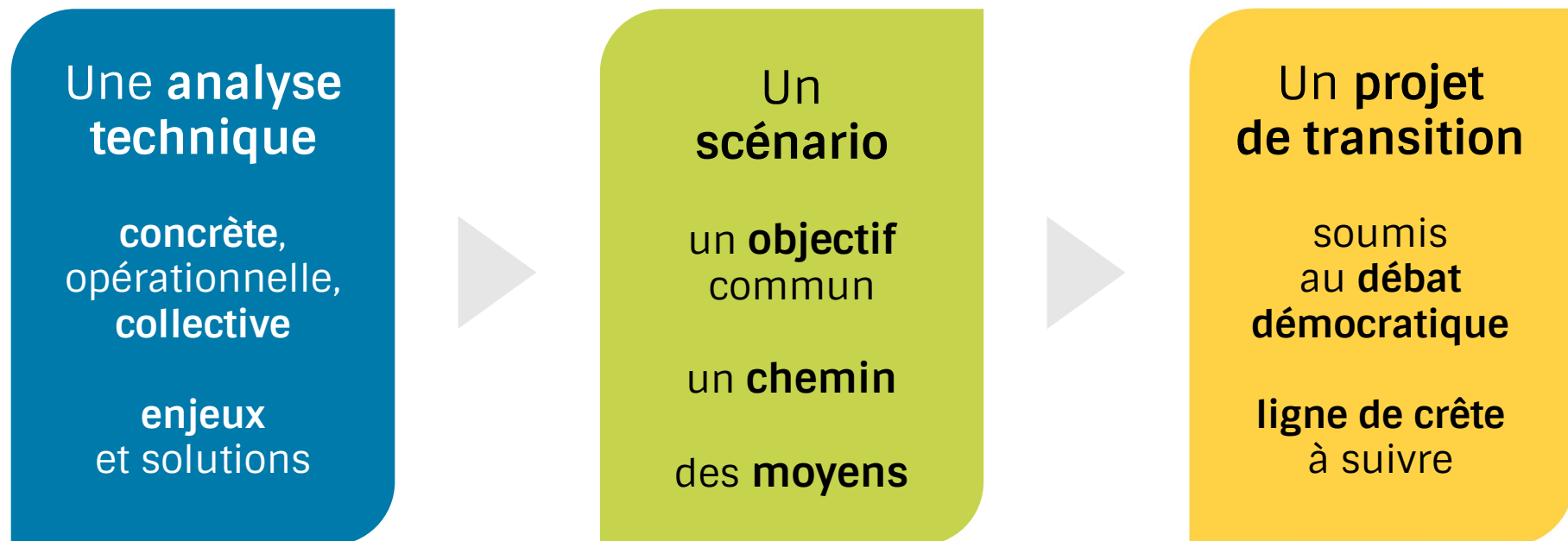
**Qui sommes-nous ?**

---

## ➤ Une approche prospective de plus en plus nécessaire



Plus que jamais, nous avons besoin d'une feuille de route pour agir ensemble





# La démarche négaWatt

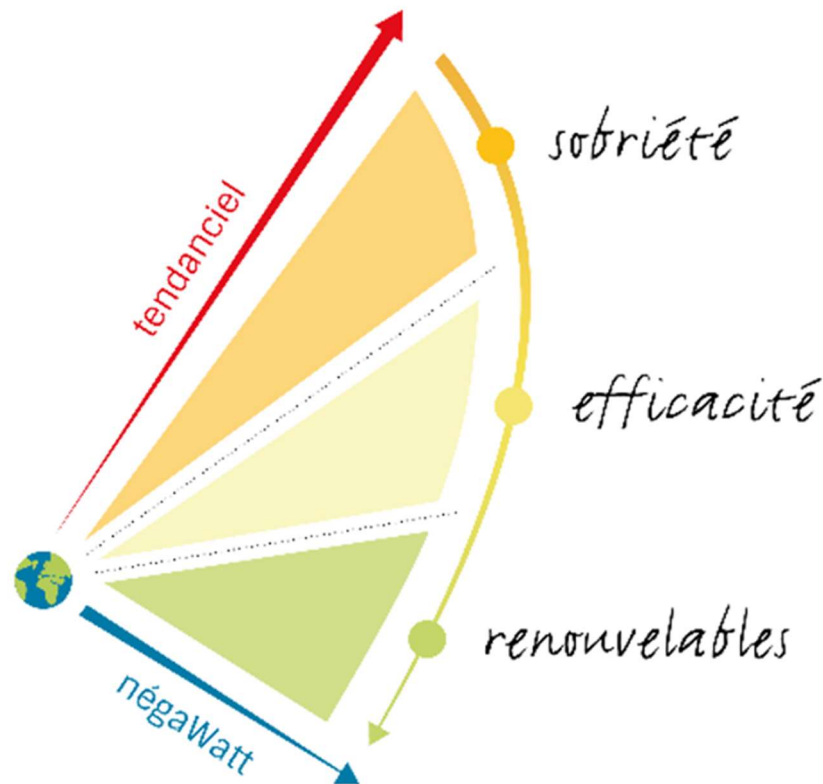
---

## ↳ La démarche négaWatt



Une démarche systématique pour répondre à un problème systémique

Partir des usages  
pour remonter aux ressources



1

Agir collectivement et individuellement sur le niveau d'usage en priorisant et redimensionnant les services rendus

2

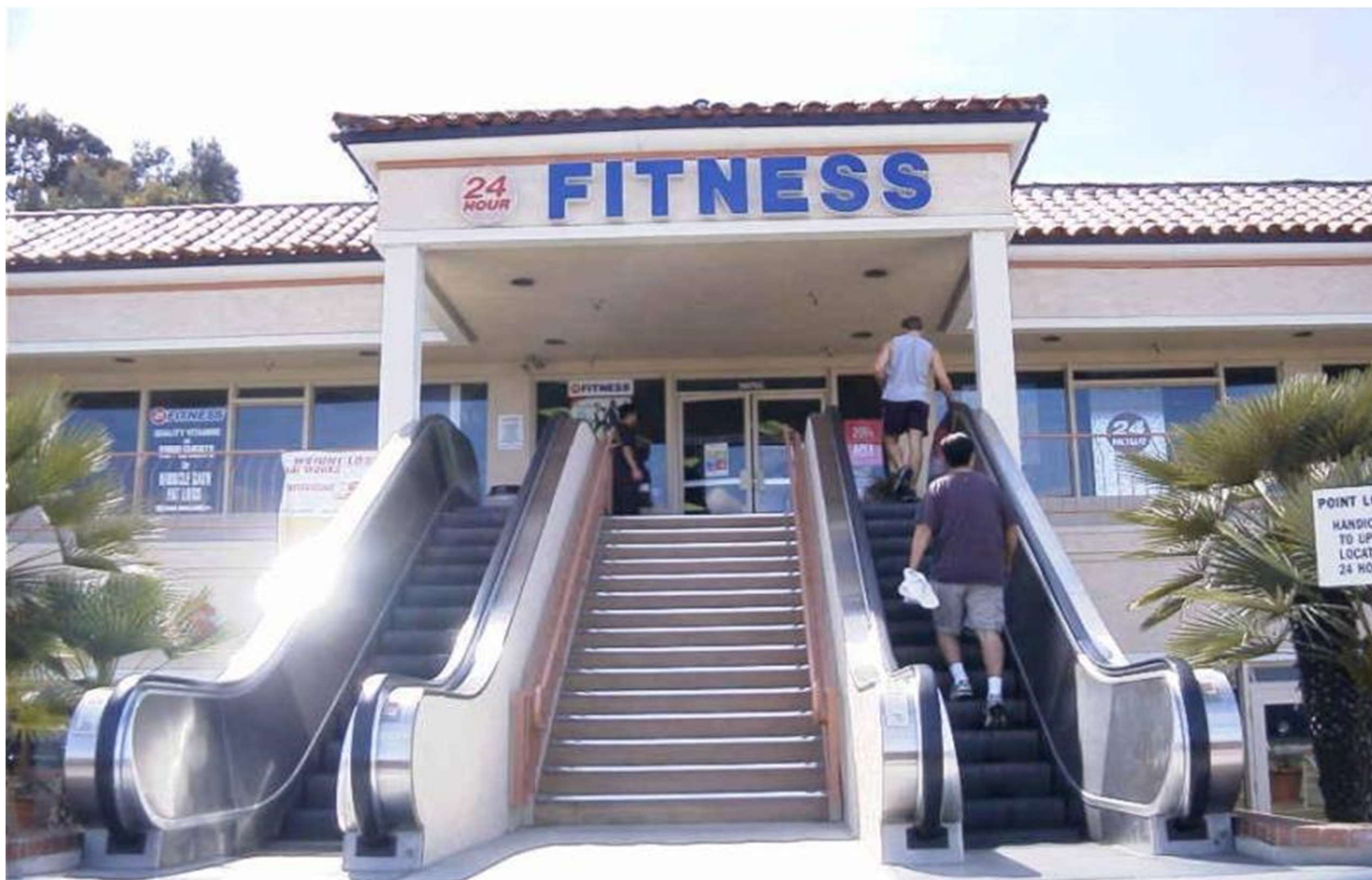
Réduire le ratio ressources / usages en améliorant les performances à toutes les étapes de transformation

3

Remplacer les ressources moins soutenables (stocks) par des ressources plus soutenables (flux)



## ↳ Sobriété ou ébriété énergétique ?



1

### Sobriété dimensionnelle



Taille, juste dimensionnement

Exemples :

- Surface chauffée
- Poids d'une voiture

1

**Sobriété dimensionnelle**

Taille, juste dimensionnement

2

**Sobriété d'usage**

Niveau et durée d'utilisation et d'exploitation



Exemples :

- Arrêt des appareils inutiles
- Vitesse sur autoroute

## ↘ Les trois sobriétés



1

**Sobriété dimensionnelle**

Taille, juste dimensionnement

2

**Sobriété d'usage**

Niveau et durée d'utilisation et d'exploitation

3

**Sobriété coopérative**


Organisation collective du territoire et de l'urbanisme, mutualisation



Exemples :

- Habitat partagé
- Transports en commun

↳ Sobriété – 50 mesures proposée par négaWatt

A collage of images related to energy efficiency: a showerhead with water droplets, a car on a road, a car air vent, and a hand adjusting a thermostat. The thermostat display shows '19 °C', 'AUTO', 'ECO', and '3°C'.

Réduire de plus de **10 %**  
notre consommation  
d'énergie **d'ici 2 ans**  
c'est possible !

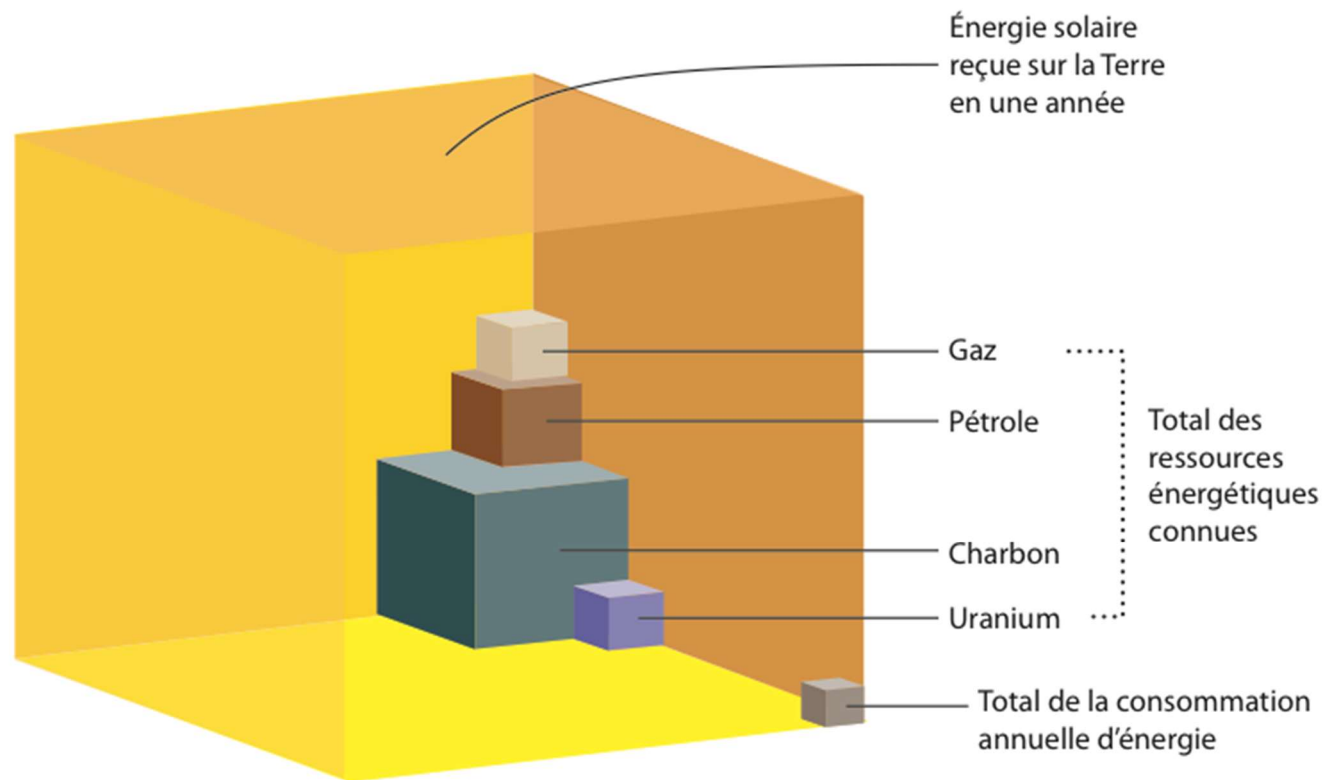
**#Sobriété**

[www.negawatt.org/  
sobriete-  
propositions-  
chiffrees](http://www.negawatt.org/sobriete-propositions-chiffrees)

## ↳ Les renouvelables : des énergies de flux



- **La Terre** reçoit en **1 heure** la quantité d'énergie consommée en **1 an**



*Représentation des quantités d'énergies disponibles sur Terre*



# **Le scénario négaWatt 2022 en détail**

---

- Un scénario de transition énergétique réaliste et soutenable

1

### Hiérarchisation des solutions

- › Actions en priorité sur la demande
- › 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*



## ↳ Le périmètre d'analyse - 3 scénarios couplés



### 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

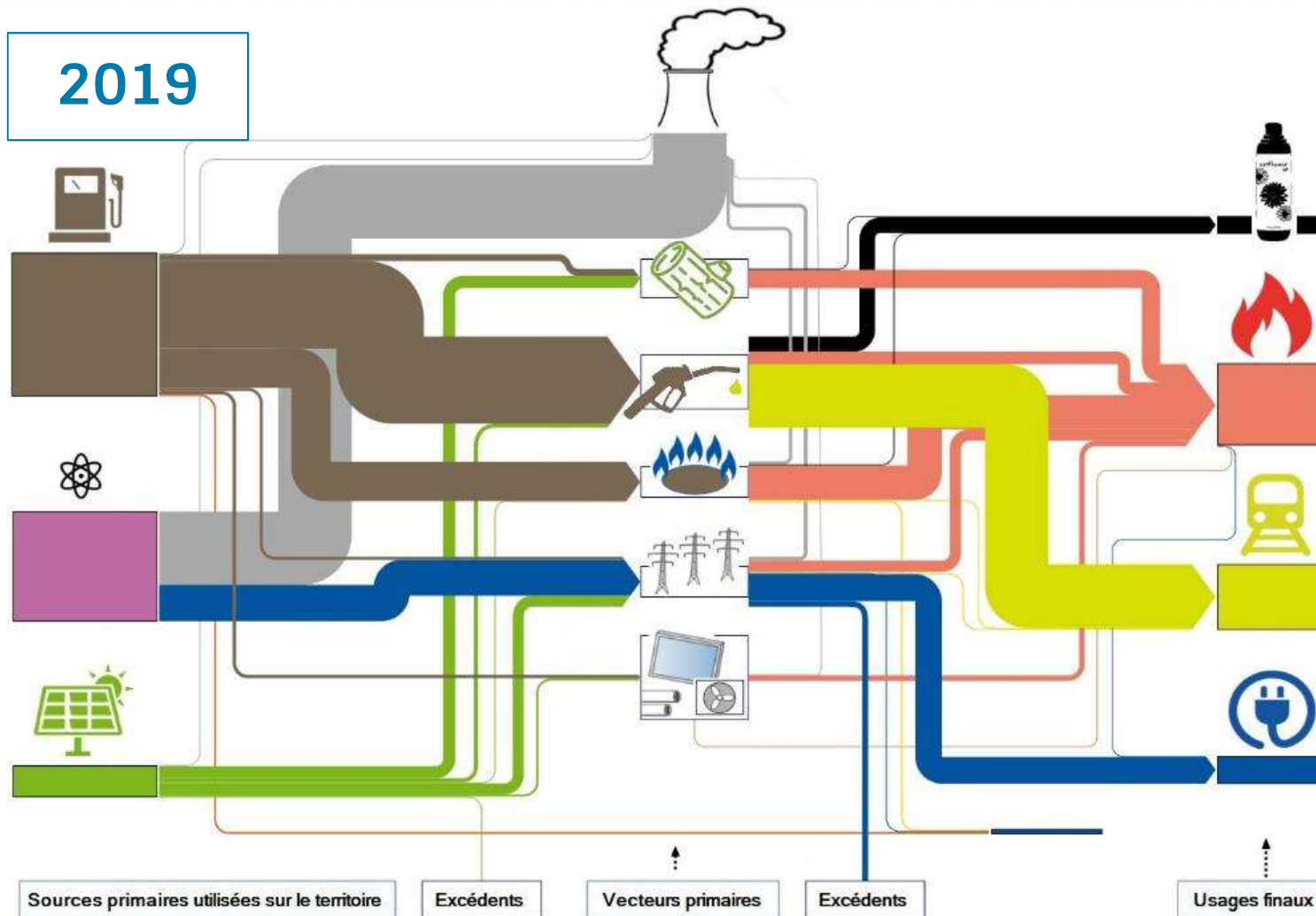
- Évalue l'évolution possible de nos consommations de matériaux et de matières premières
- **Approche en empreinte matière**

### Scénario Afterres

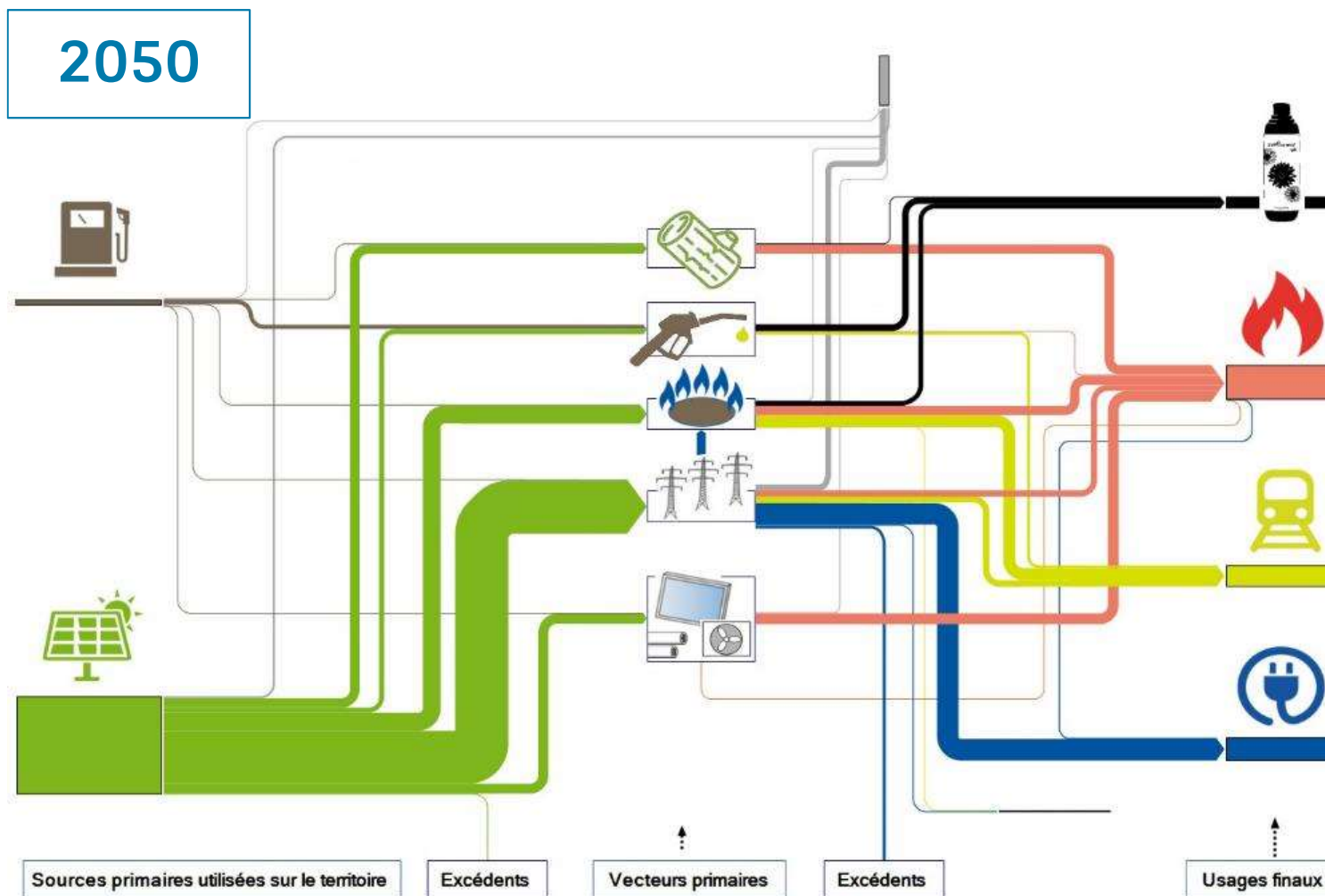
→ Transition agricole, sylvicole et alimentaire

- 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

# ➤ Présentation des différents scénarios



# ➤ Présentation des différents scénarios





**Bâtiment**

---

## ↳ Bâtiment : contexte et enjeux



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



**Chaleur : 80 %**



**Électricité spécifique : 20 %**

• Chauffage des maisons individuelles d'avant 1975

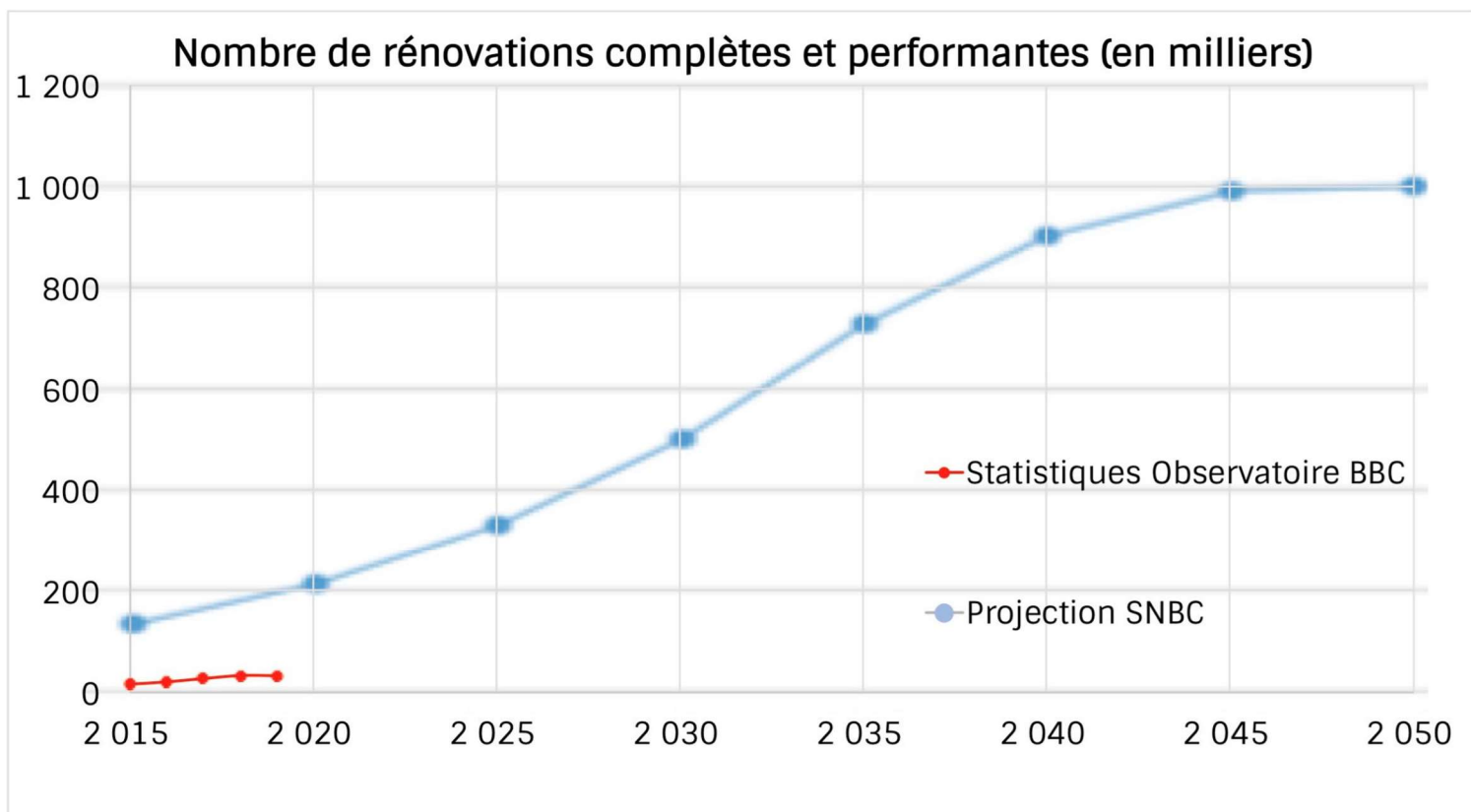
= près d'un tiers des consommations d'énergie finale du résidentiel

• L'essentiel du parc immobilier de 2050 est déjà construit

• **Objectif : rénover un parc**

- **de 30 millions de logements et de 900 millions de m<sup>2</sup> de surfaces tertiaires**
- **de façon performante (division par 4 des consommations de chauffage)**
  - > Objectif = 50 kWh<sub>EF</sub> / m<sup>2</sup> / an (chauffage uniquement)
  - > Ne pas tuer le gisement

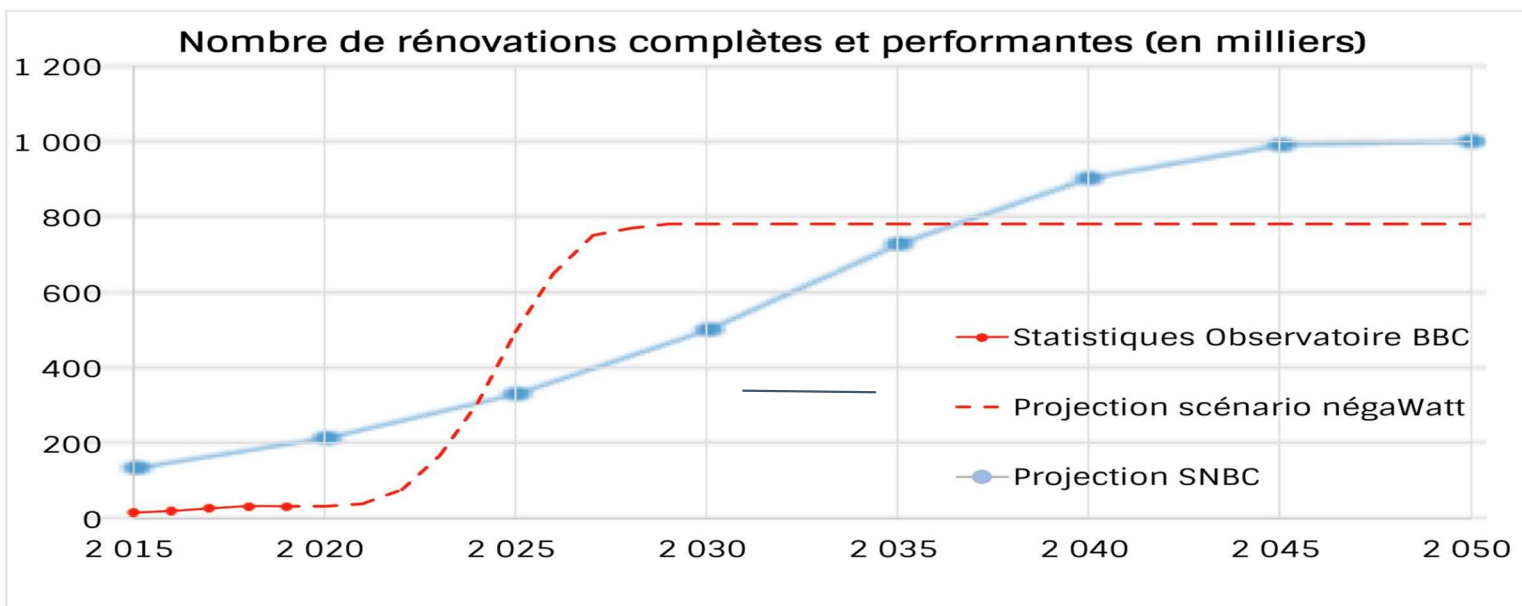
## ↳ Une accélération radicale de la rénovation performante



### Constat :

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

## ↳ 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.

### Mesures prioritaires :

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

## ➤ Des appareils plus efficaces utilisés raisonnablement



Les **20 principaux types d'appareils** électroménagers, numériques et d'éclairage ont été finement modélisés pour évaluer leurs potentiels d'économie d'énergie.

Les gains d'efficacité continuent grâce à la réglementation, les normes sociales évoluent pour modérer le besoin et l'usage des appareils.

### Quelques exemples d'évolutions (moyennes) de sobriété en 2050



Un seul grand écran par foyer, **moins** d'écrans pub



**-35%** de sèche-linge



Un appareil de froid (combiné) bien dimensionné



**-15%** de lampadaires, utilisés plus intelligemment

Le numérique et ses flux de données continuent à se développer, mais à partir de 2030 la consommation de l'ensemble des appareils électroniques et de réseaux commence à baisser

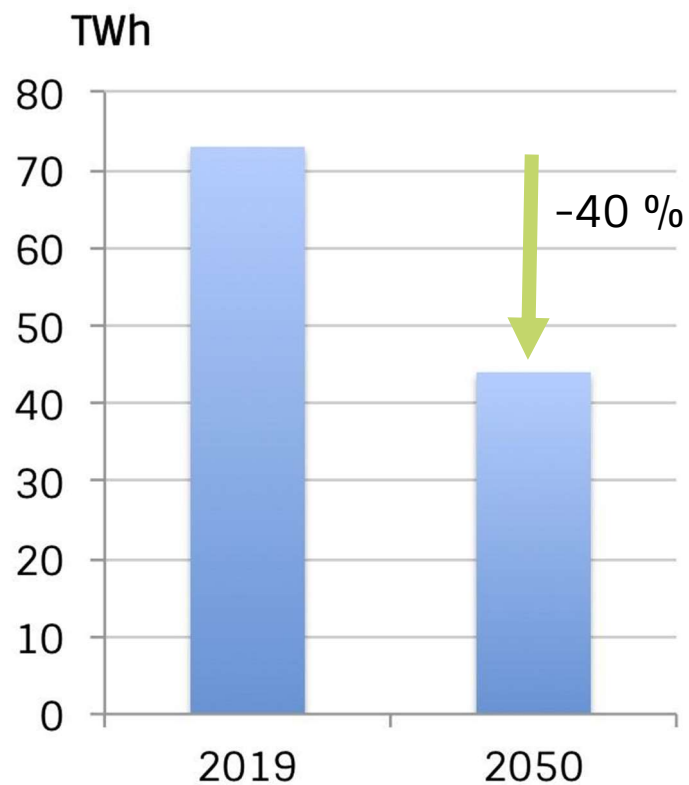




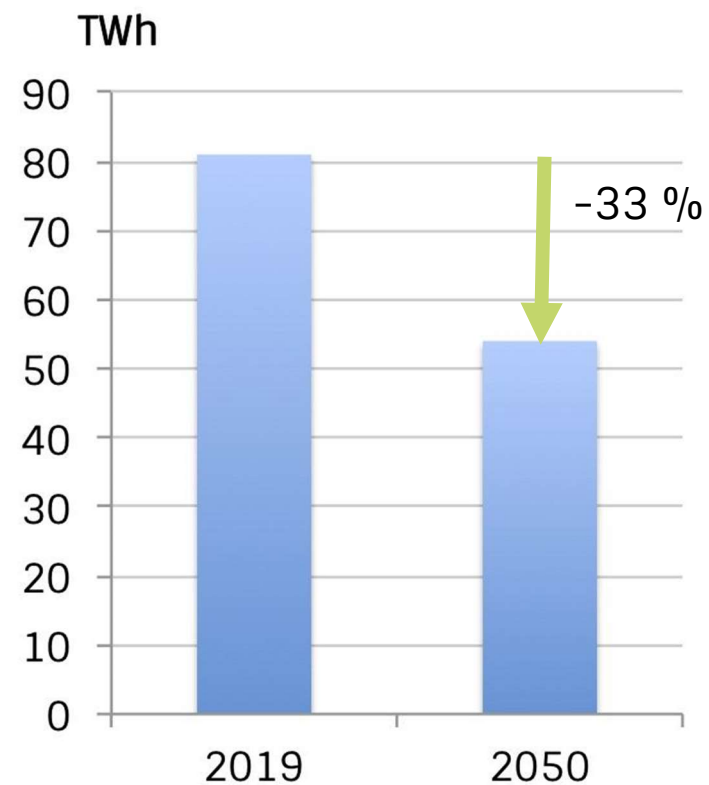
## ↘ Une forte réduction des consommations d'électricité



### Résidentiel



### Tertiaire



## ↳ Un cas concret : l'Hôtel du département du Bas-Rhin



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**



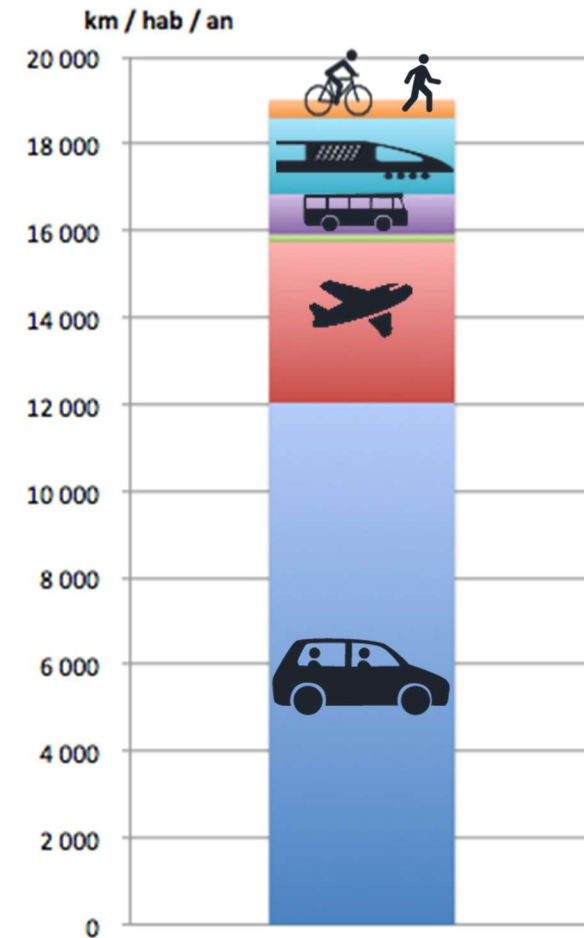
# Mobilité

---

## ↘ Contexte et enjeux



- 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



## ↘ 1<sup>er</sup> levier : baisse du trafic routier motorisé



= + de 60 % des km parcourus (80 % pour les trajets intérieurs)



= 88 % des tonnes.km

**Pour réduire les impacts du trafic routier, la seule électrification n'est ni possible ni suffisante.**

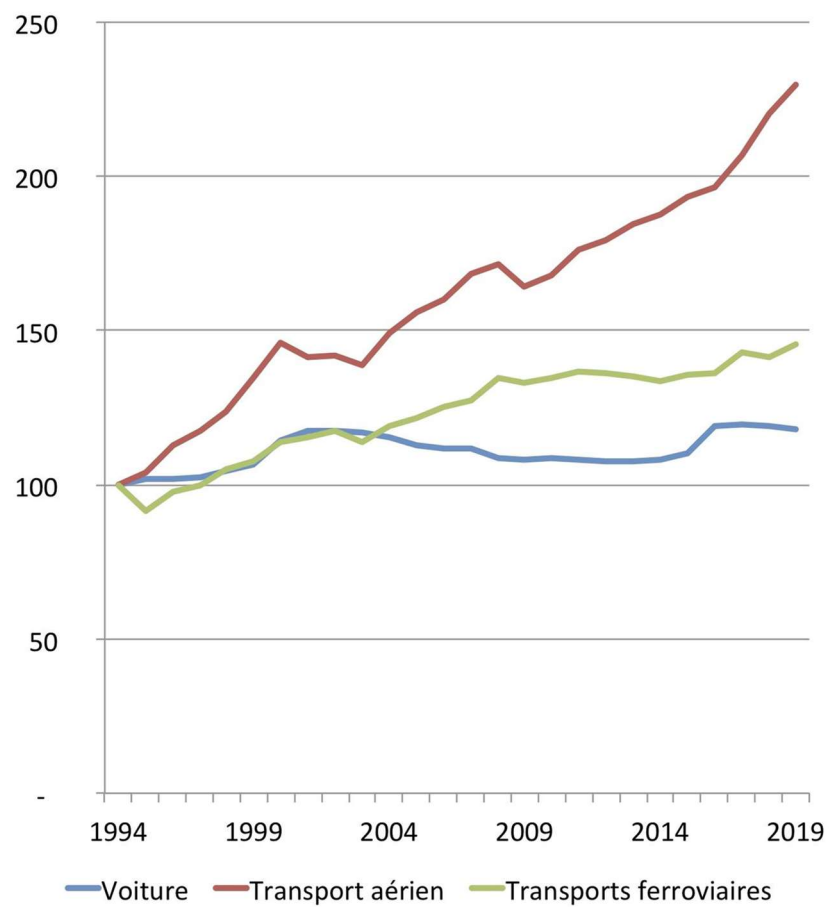
### **Différents leviers :**

- réduction des déplacements contraints et des tonnages transportés
- report modal
- augmentation des taux d'occupation / de remplissage

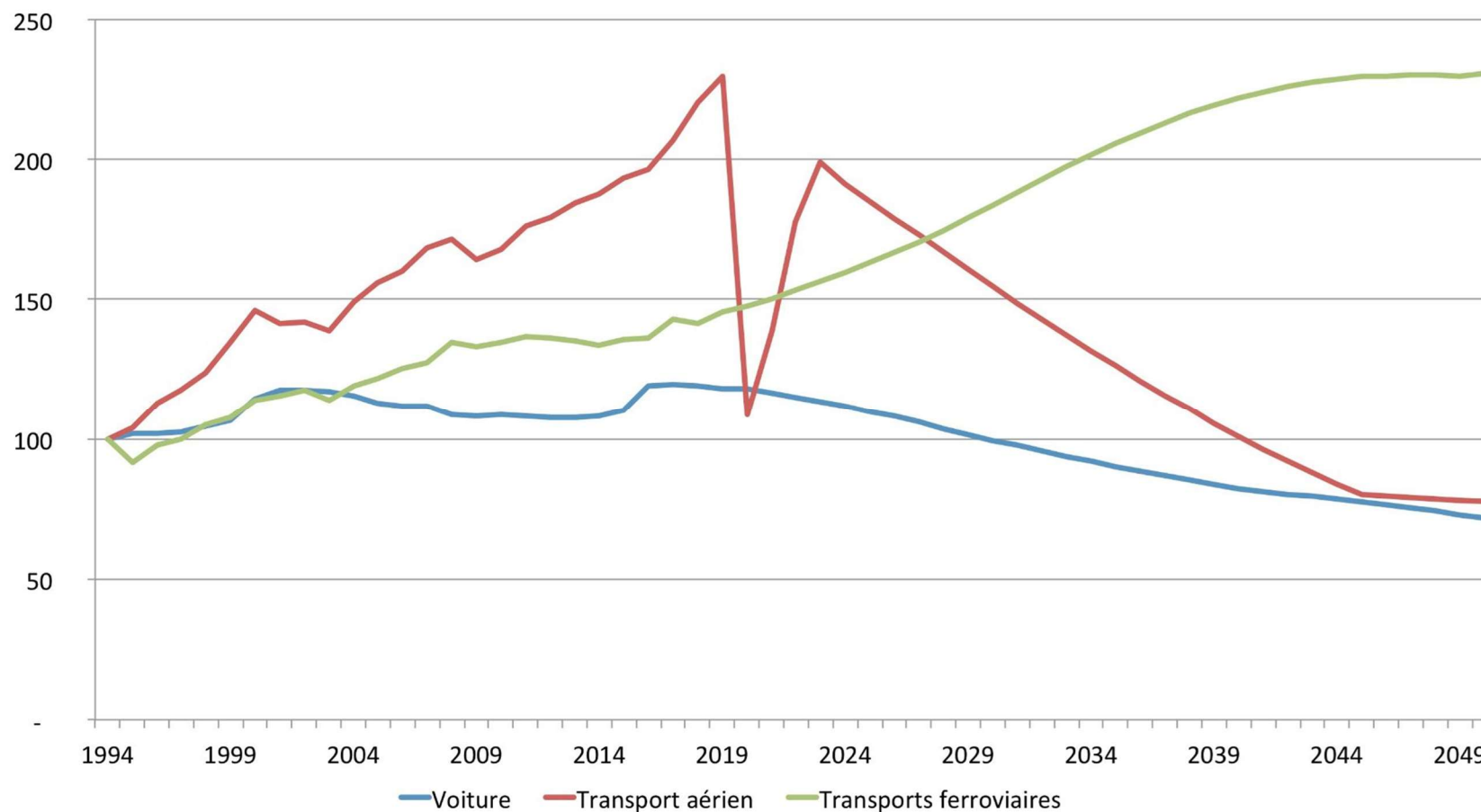
### **Deux mesures prioritaires :**

- Investir massivement dans les alternatives au transport routier motorisé
- Instaurer une redevance kilométrique sur le fret routier pour financer le fret ferroviaire

## ↘ 2<sup>ème</sup> levier : moins de trafic aérien, plus de trains

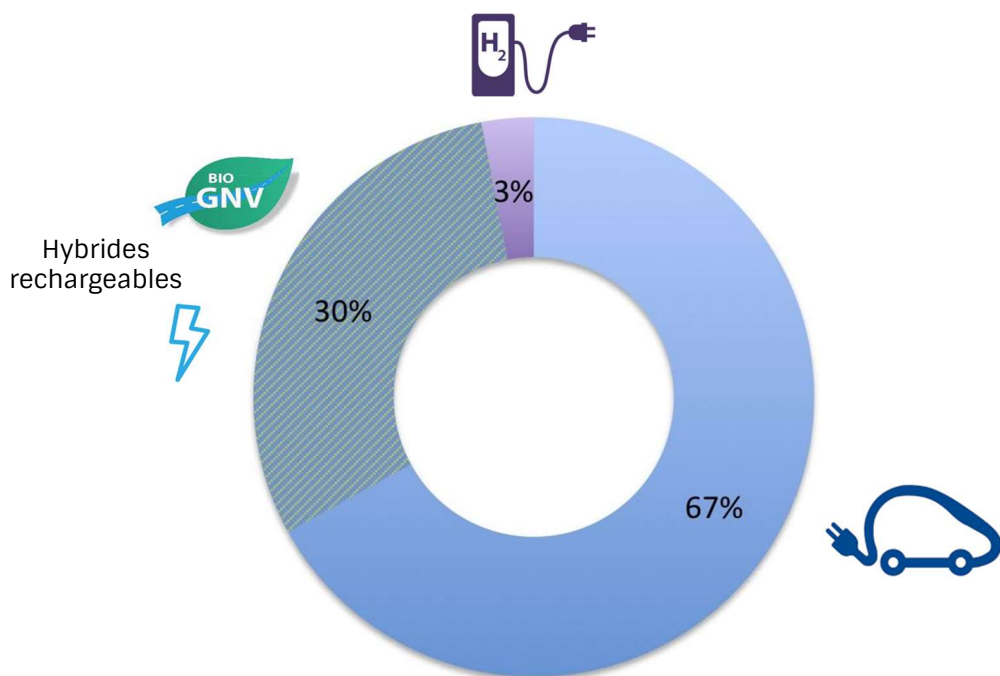


## ↘ 2<sup>ème</sup> levier : moins de trafic aérien, plus de trains

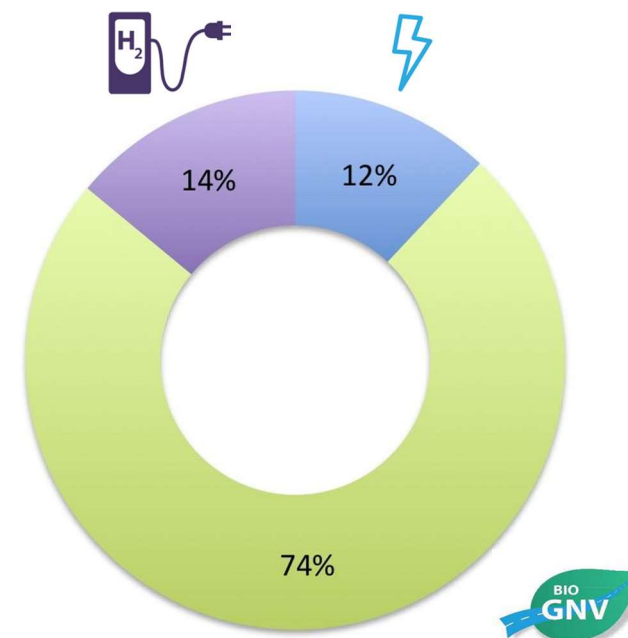




## 3<sup>e</sup> levier : des véhicules électriques... mais pas que !



Répartition des motorisations des voitures en 2050



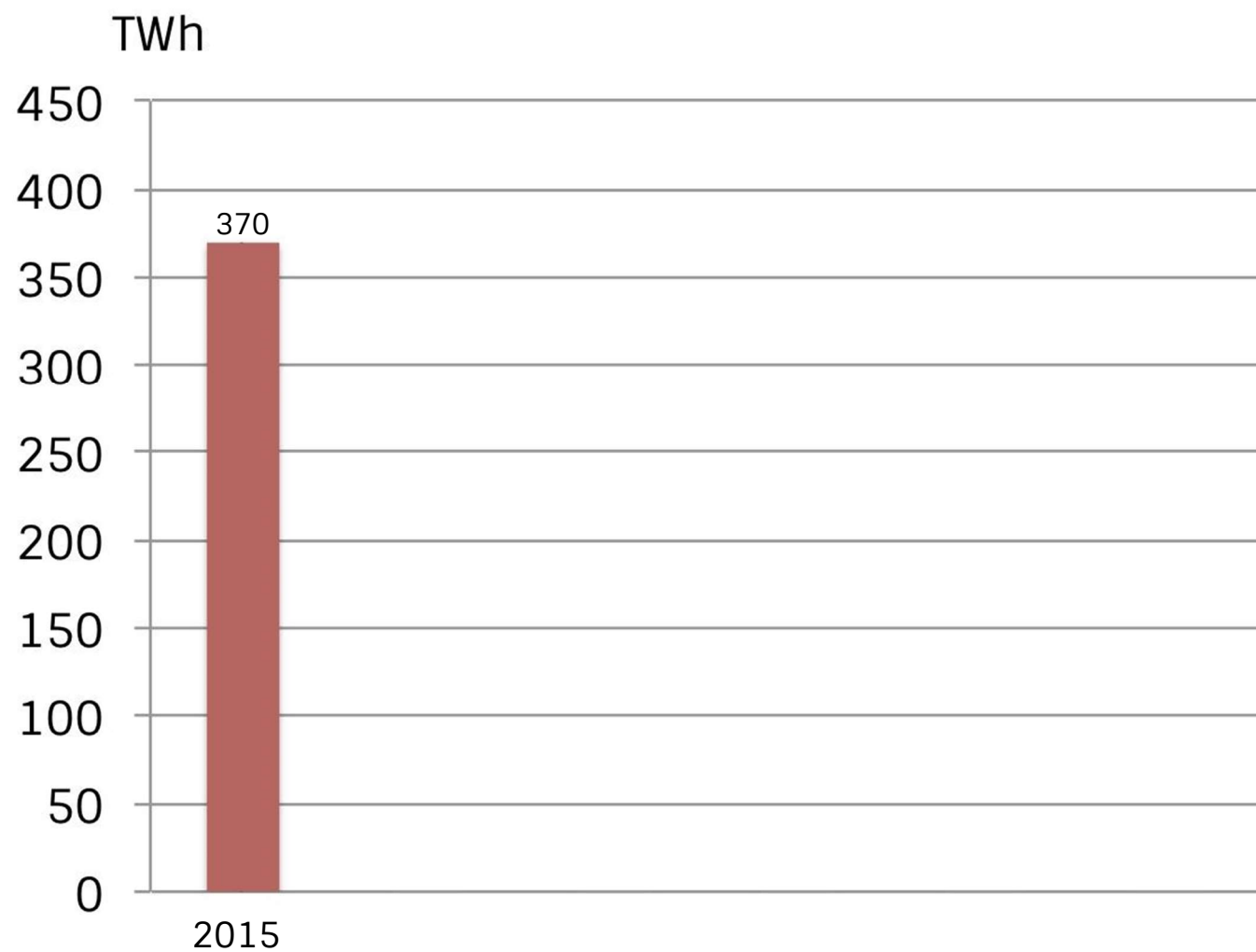
Répartition des motorisations des poids lourds en 2050



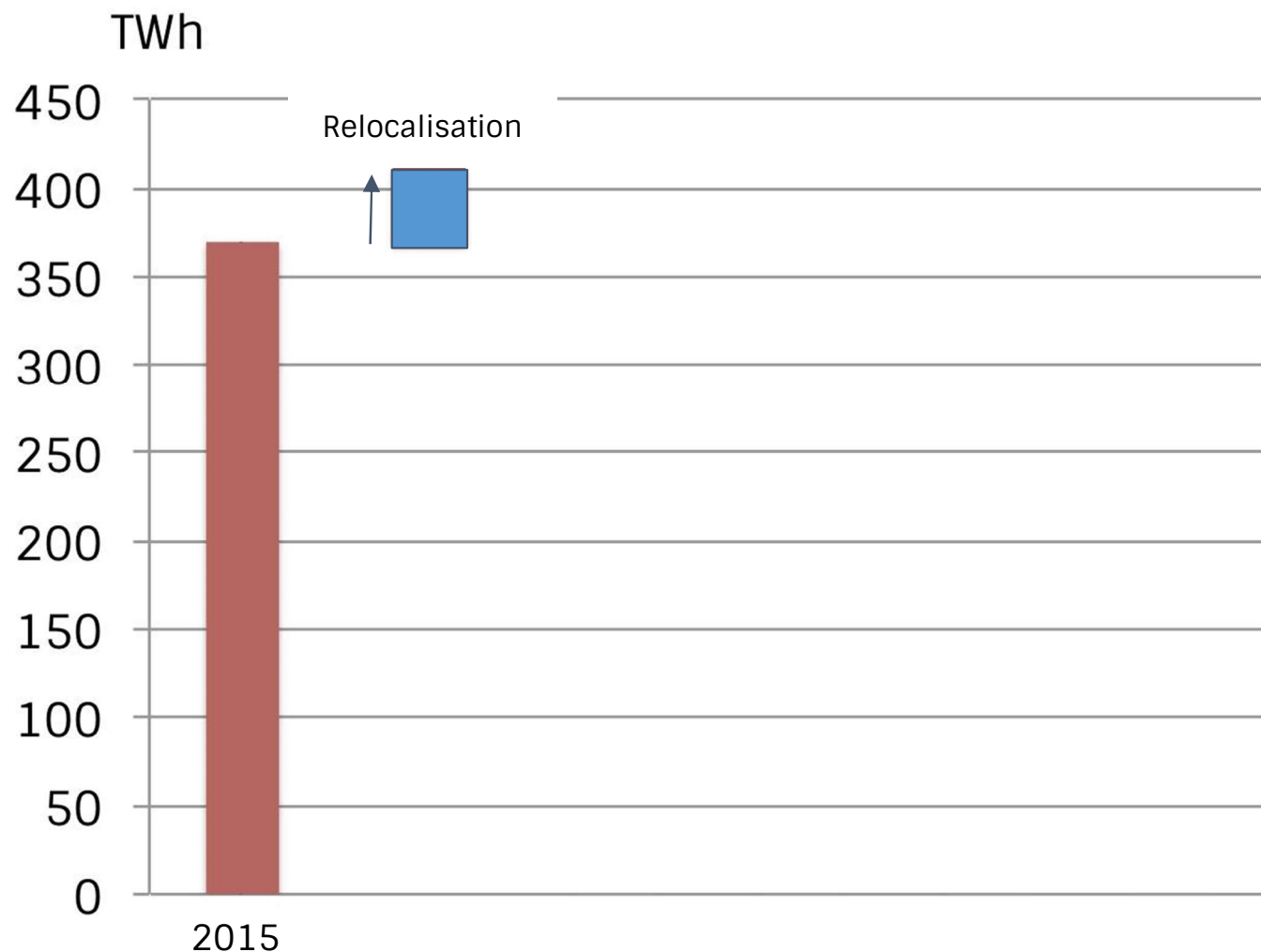
# **Industrie et biens de consommation**

---

## ↘ Diviser par deux les consommations d'énergie



## ↘ Diviser par deux les consommations d'énergie

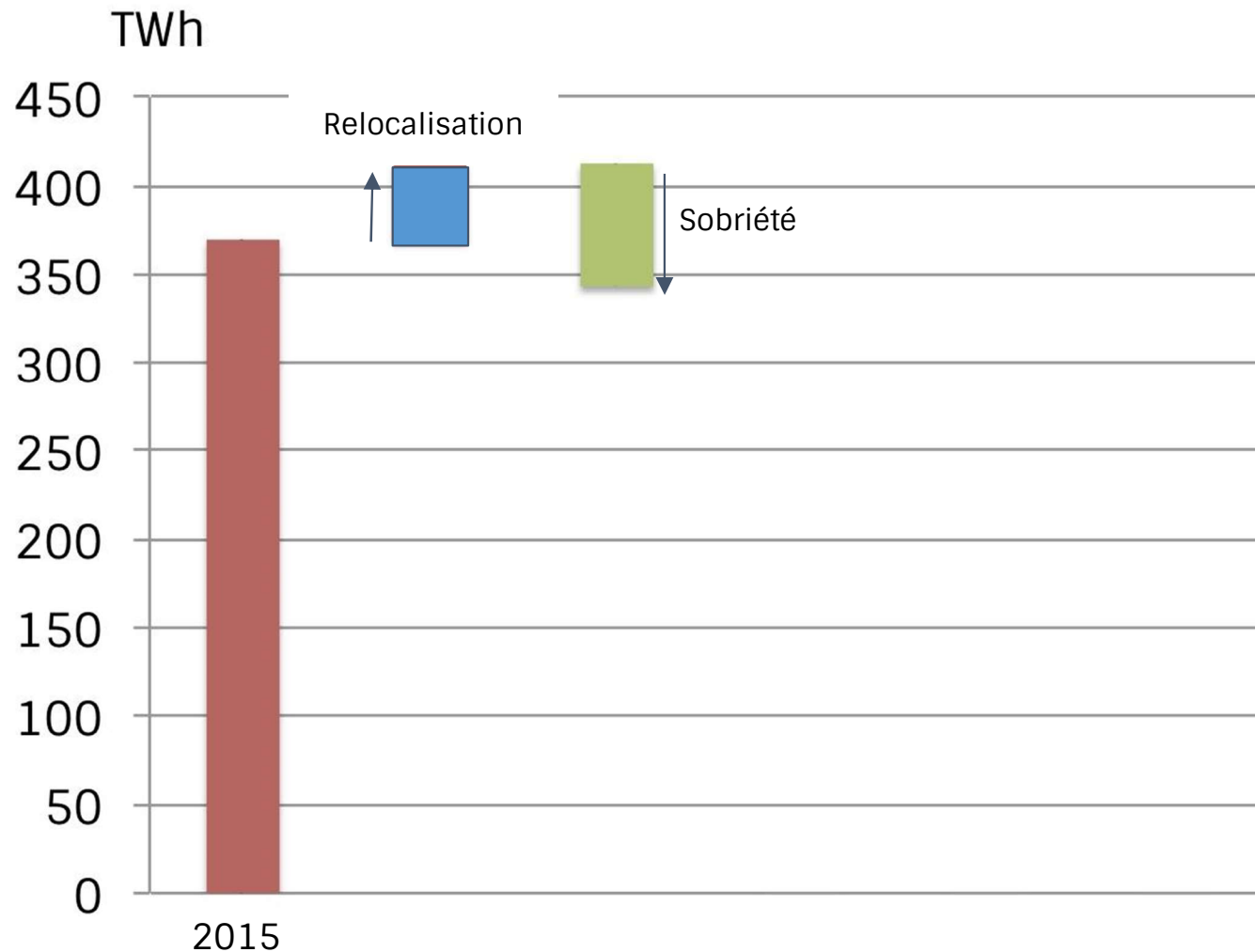


Produire ce que l'on consomme et non l'inverse : **une stratégie industrielle pour la France**

### Les leviers d'action :

- **Réorientation** de secteurs du passé (ex. pétrochimie)
- **Relocalisation** de secteurs en décroissance (ex. mécanique, métallurgie)
- Développement de **filières d'avenir** (énergies renouvelables, batteries, etc.)

## ↘ Diviser par deux les consommations d'énergie



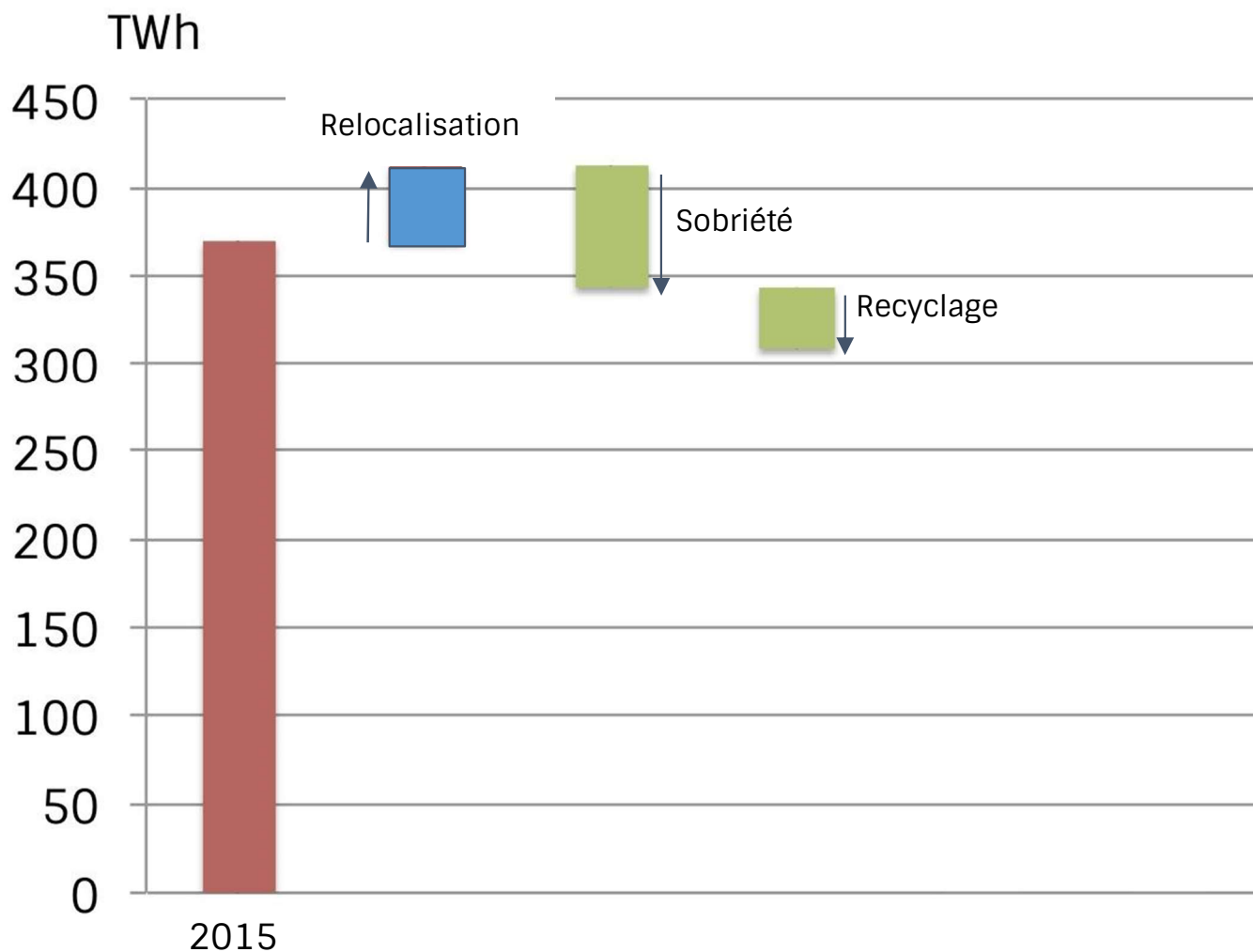
### Maîtriser la consommation de biens

#### Les leviers d'action :

- La sobriété de consommation
- L'économie circulaire
  - durée de vie
  - réutilisation
  - réparation



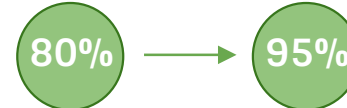
# Diviser par deux les consommations d'énergie



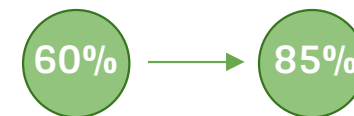
## Favoriser le recyclage



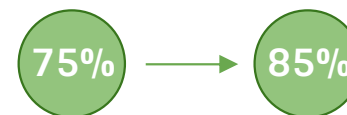
Métaux



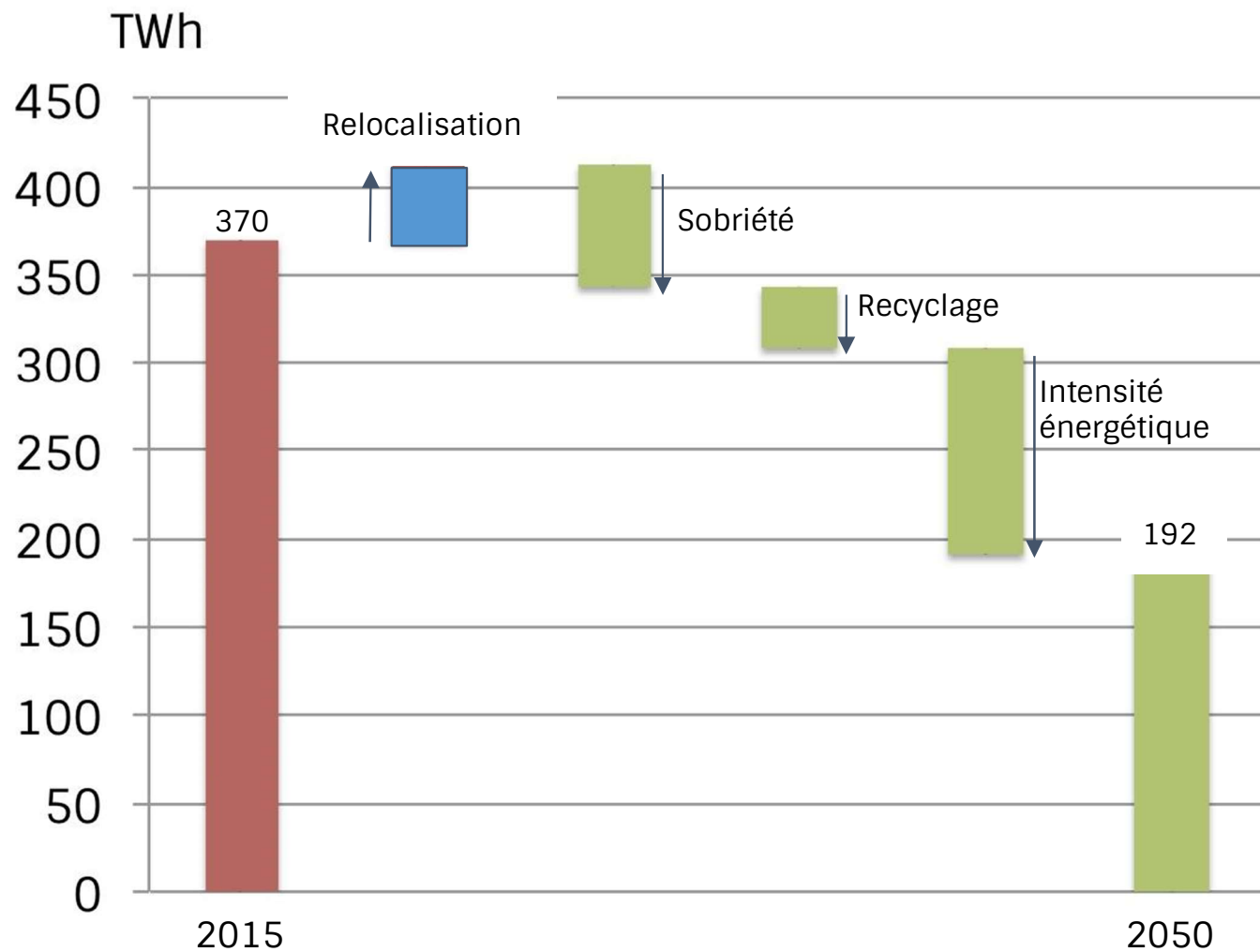
Plastiques



Verre



## ↘ Diviser par deux les consommations d'énergie



**Amélioration des process**

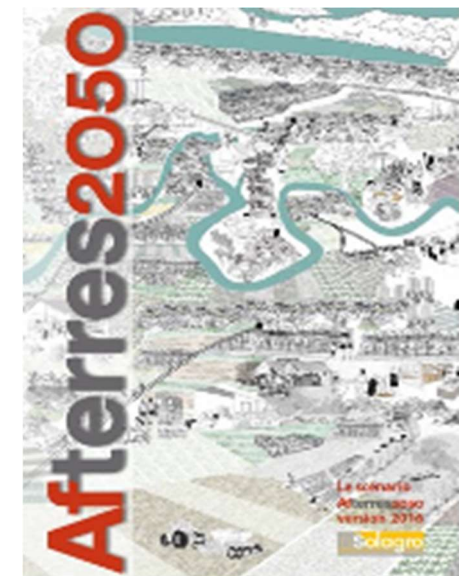
**Moteurs plus performants**

**Électrification**

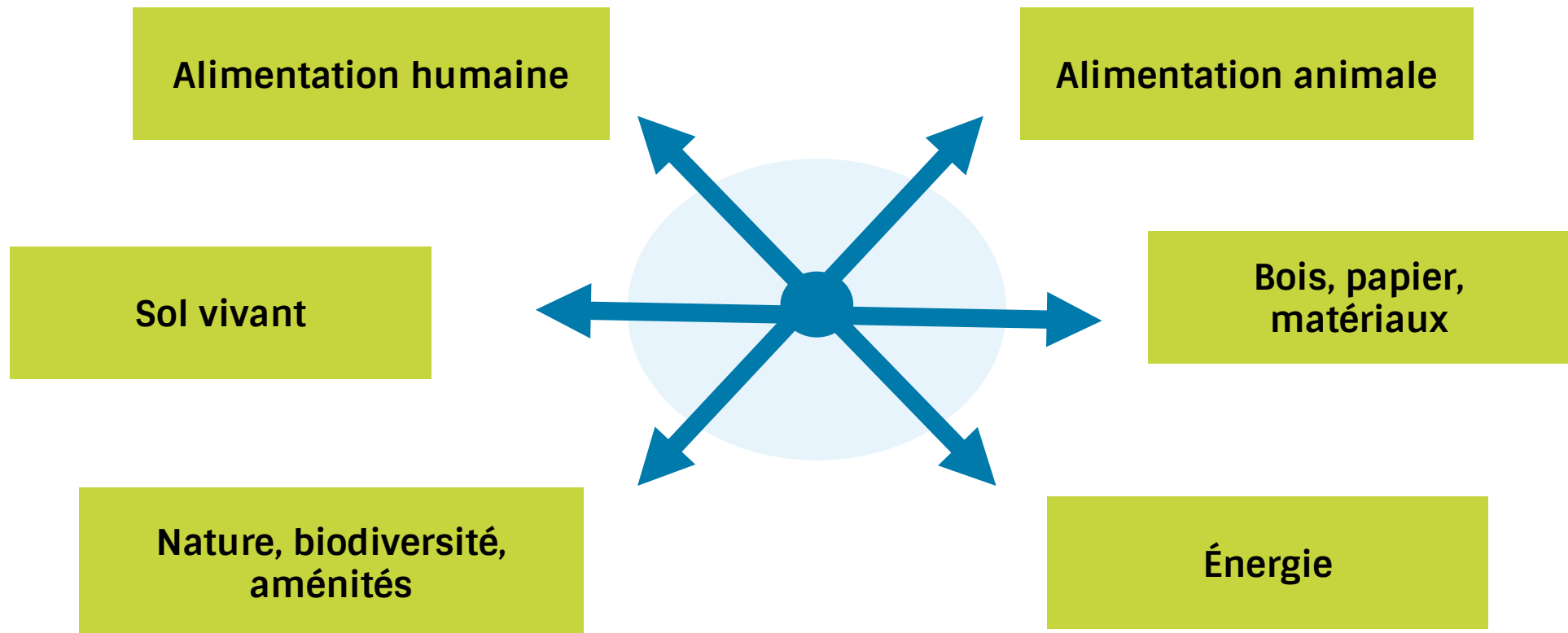
# Le « secteur des terres »

## Agriculture, alimentation, forêt, usage des terres

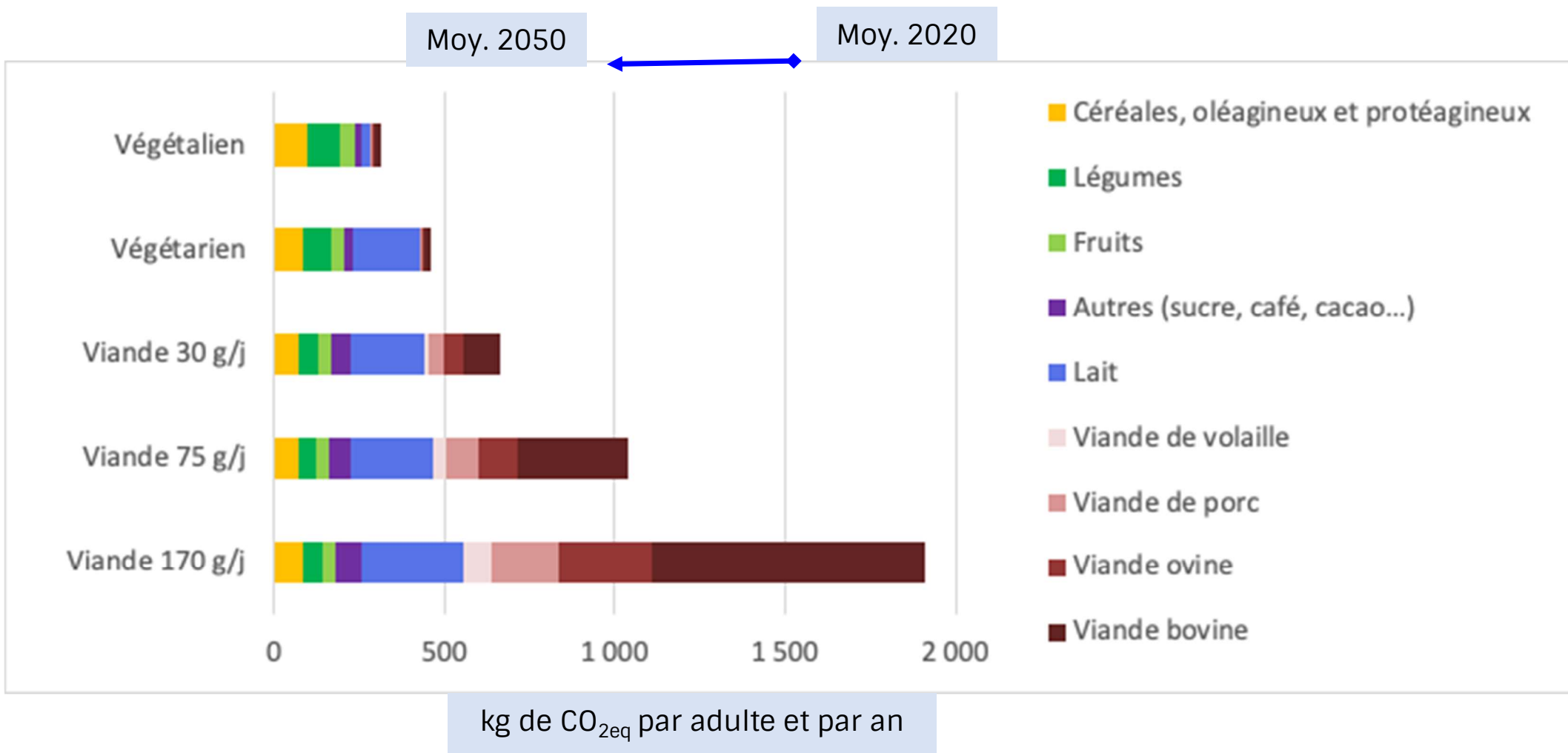
---







# Empreinte climatique des régimes alimentaires





# Production

---

Développement des énergies renouvelables

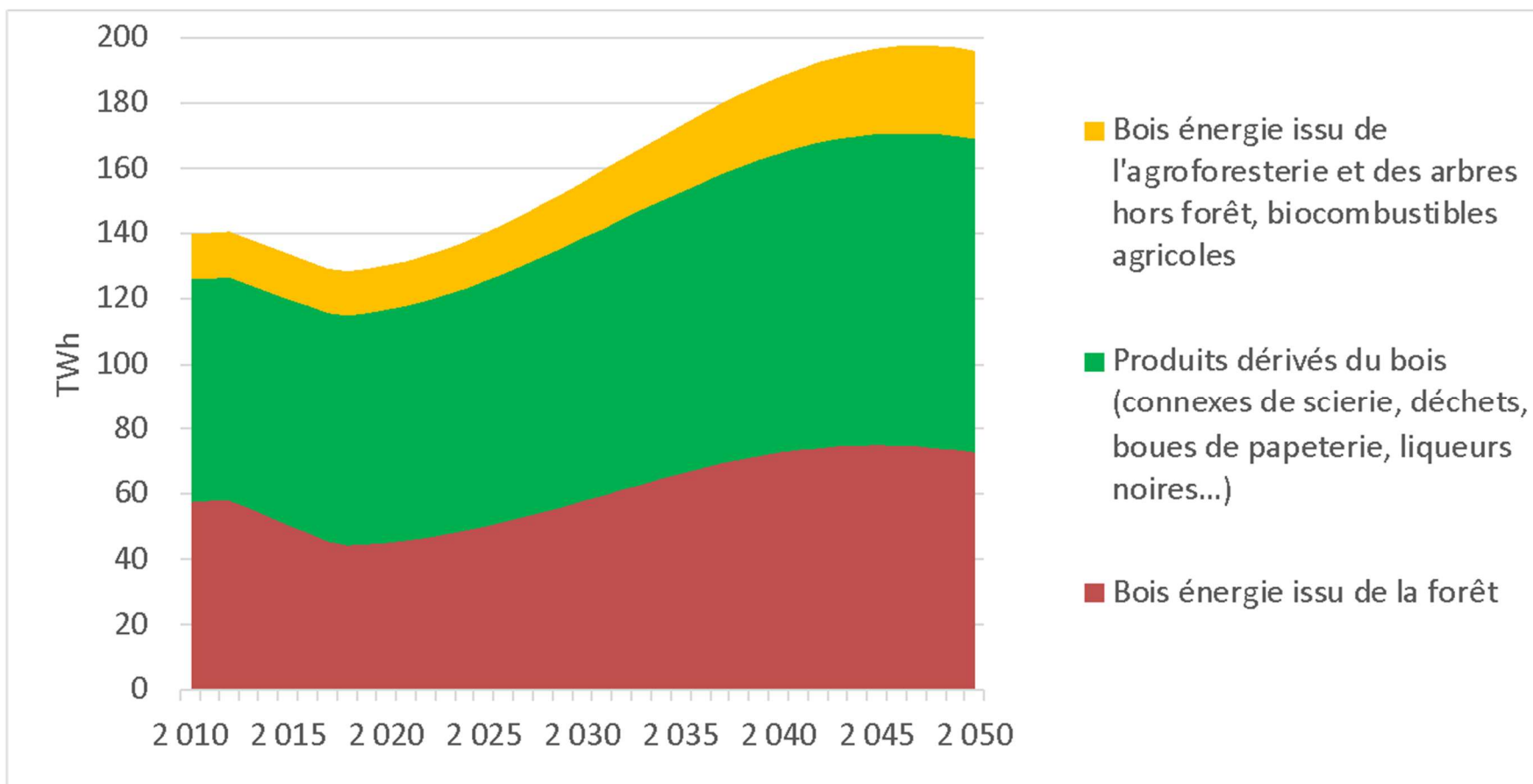
Fin des énergies fossiles et du nucléaire



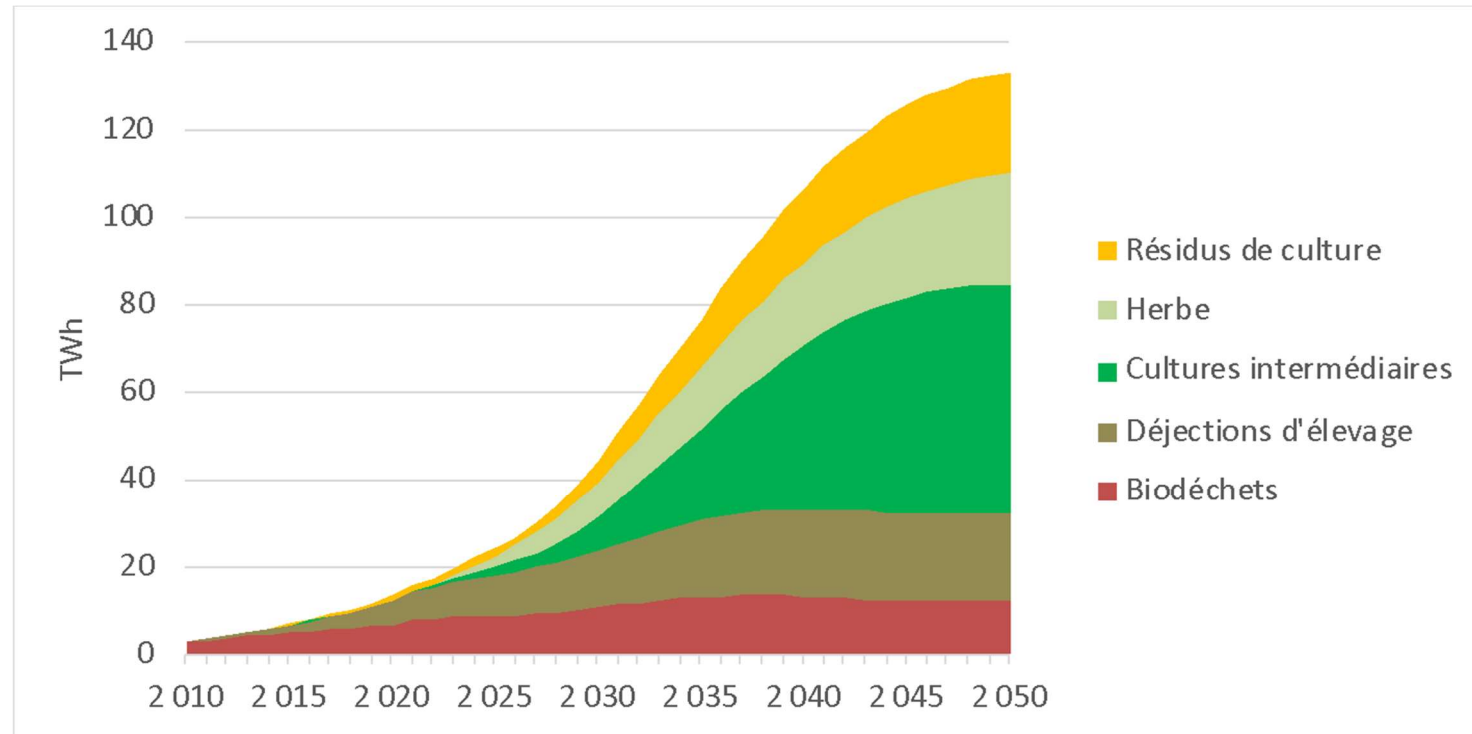
# Bio-énergies

---

## ↘ Biomasse solide



# ↘ Biogaz

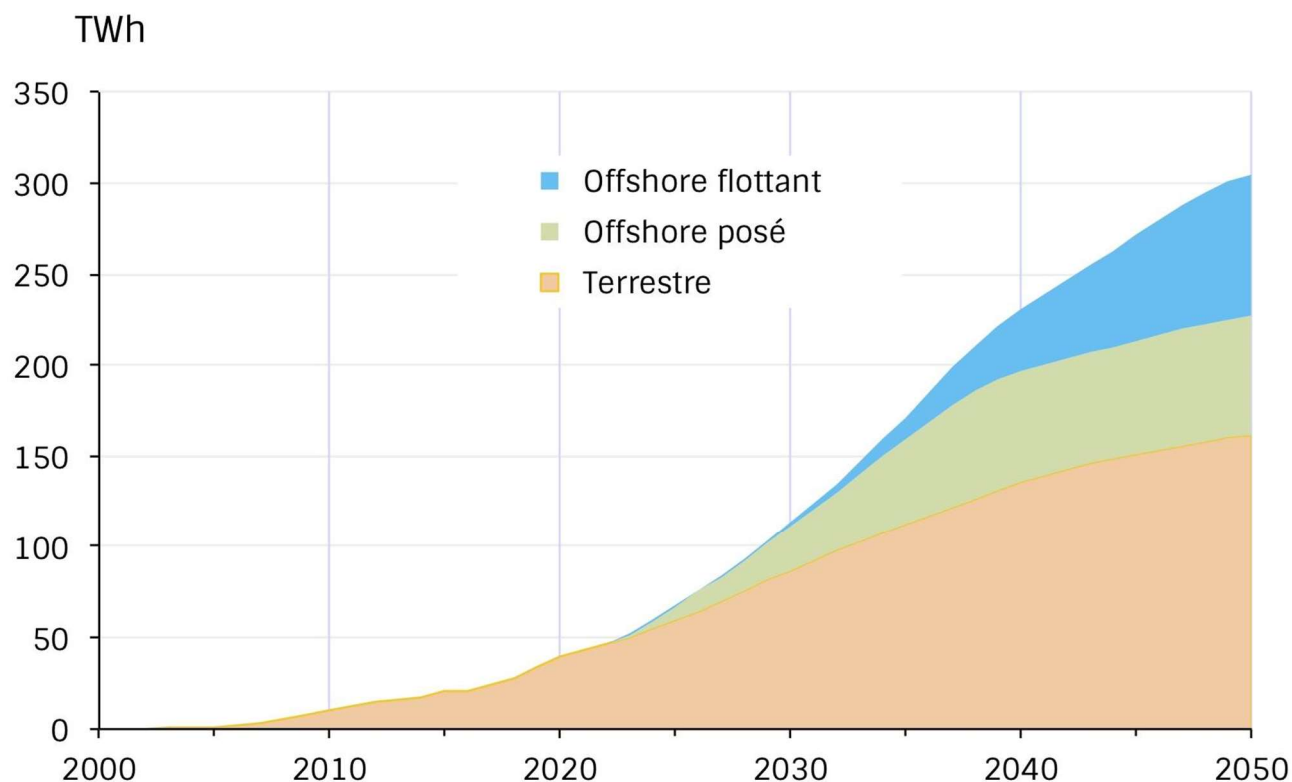




# Énergies renouvelables électriques

---

## ↳ L'éolien dans le scénario négaWatt



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

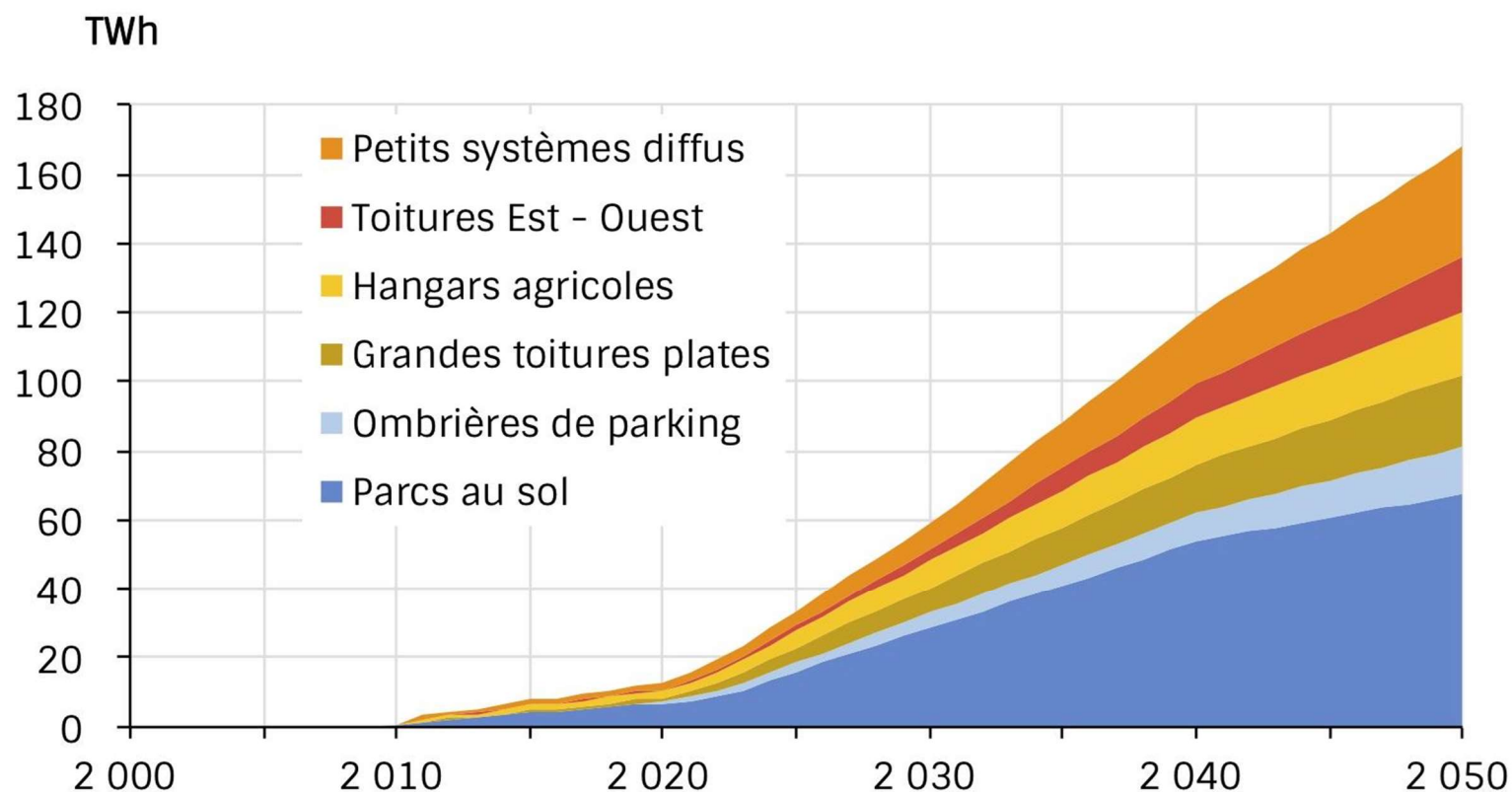
- 162 TWh en terrestre
- 143 TWh en maritime

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

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



## ↳ Le photovoltaïque dans le scénario négaWatt



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

4 GW installés / an

Des enjeux industriels  
importants

Une grande diversité  
d'installations.

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



## Électricité 100% renouvelable, ça veut dire :



	<b>Fin 2020</b> (67 M habitants)	<b>2050</b> (72,3 M d'habitants)
<b>Eolien terrestre</b>	8 000 éoliennes 1 pour 8 400 hab	18 500 éoliennes 1 pour 4 000 habitants
<b>Eolien en mer</b>		3 200 éoliennes
<b>Photovoltaïque</b>	12 GWc 0,2 kWc par habitant	144 GWc 2 kWc (7m <sup>2</sup> ) par habitant
<b>Autres sources</b>		Hydraulique : légère diminution Énergies marines : incertitudes



# Production

---

Développement des énergies renouvelables

Fin des énergies fossiles et du nucléaire

## ↘ Une orientation résolument 100 % renouvelable



**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.

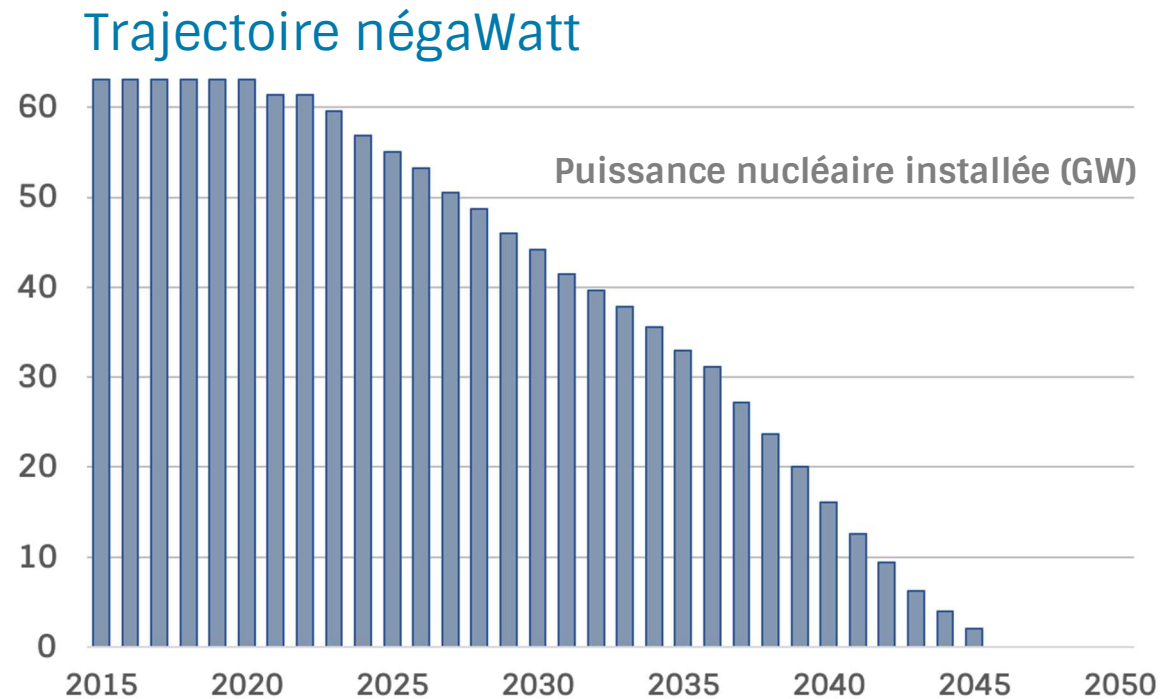
## ↘ Une fermeture maîtrisée et responsable du parc actuel



**Orientations actuelles** : prolongations massives post 40 et post 50 ans

**Position négaWatt** : aucune prolongation au-delà de 50 ans

- **Fermeture progressive des réacteurs**
- **Flexibilité** dans les dates d'arrêt pour garantir l'approvisionnement électrique
- **Prise en compte responsable** d'autres facteurs :
  - étalement (impact social)
  - fin des usines





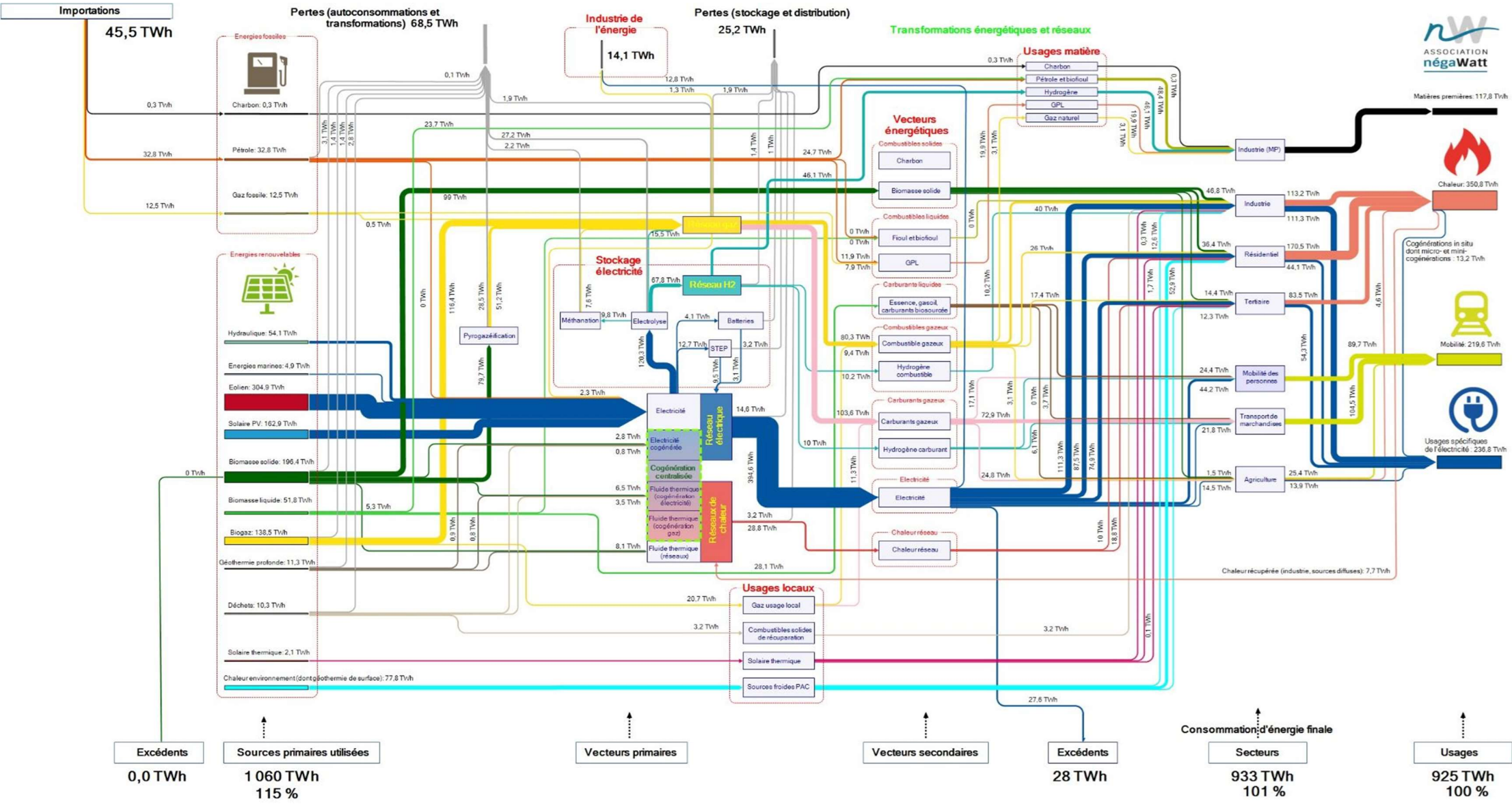
# **Bilan et résultats**

---



# 1. Bilan énergie

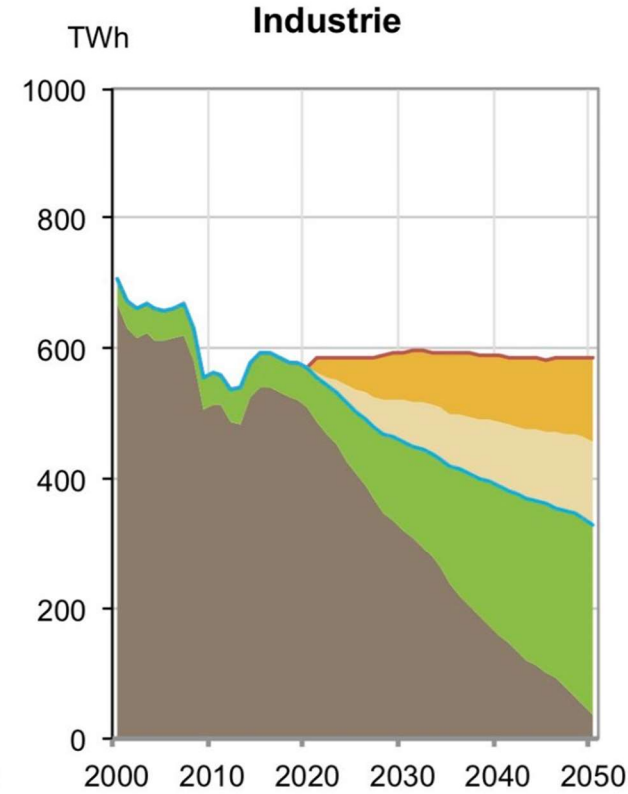
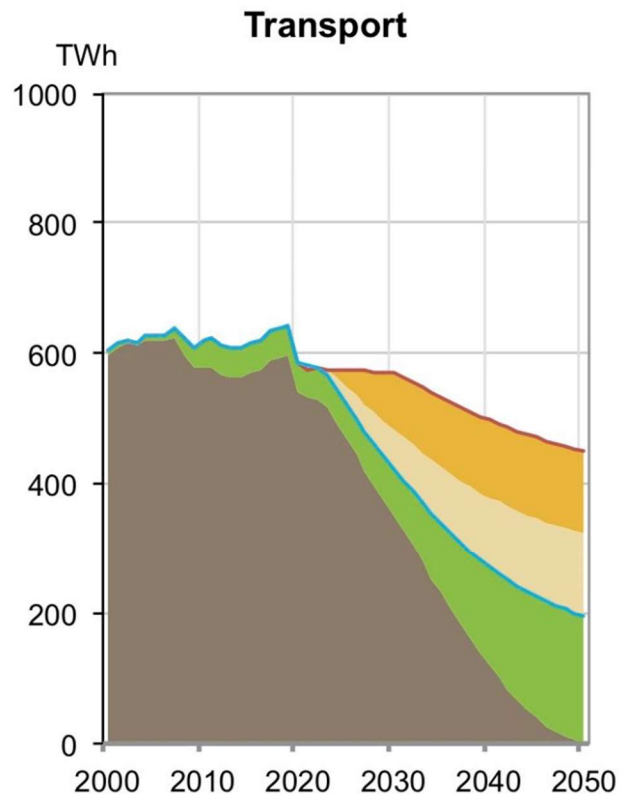
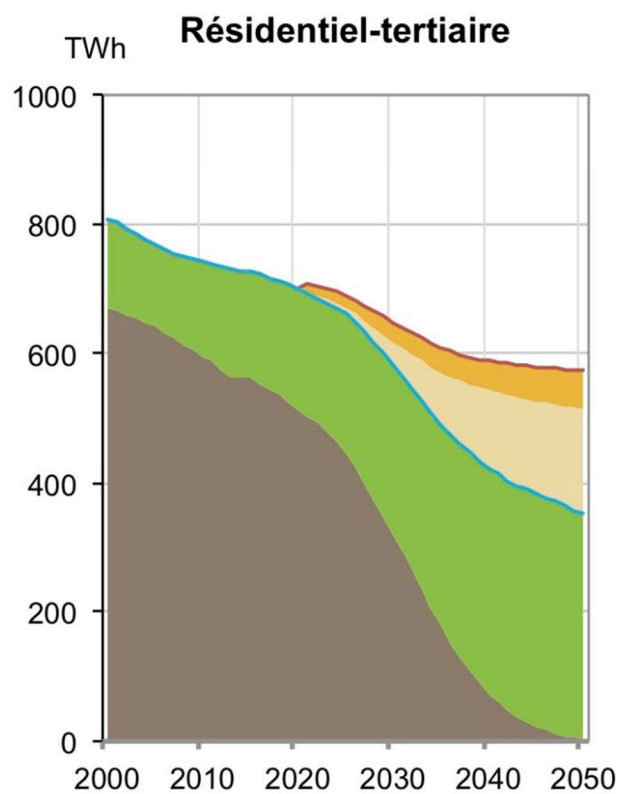
---



Nota  
 1) Ce diagramme n'est pas une représentation physique des réseaux, mais une représentation des flux et pertes liées aux différentes transformations des énergies depuis les sources primaires jusqu'aux usages finaux.  
 2) La plupart des valeurs sont arrondies à l'unité, pour ne pas alourdir le schéma. Il peut en résulter des bilans non parfaitement équilibrés.

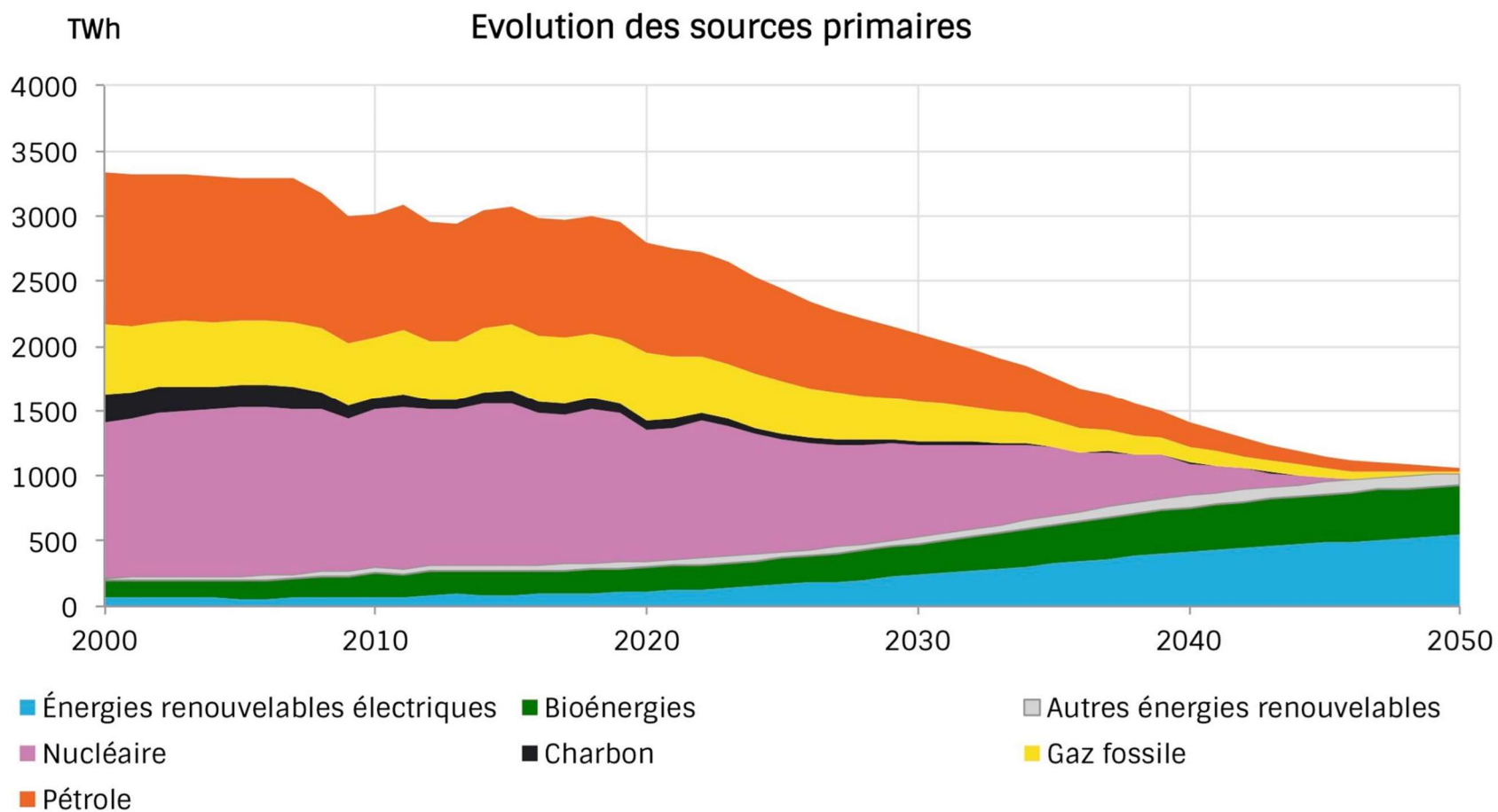


# ↘ Bilan en énergie finale : -53 %

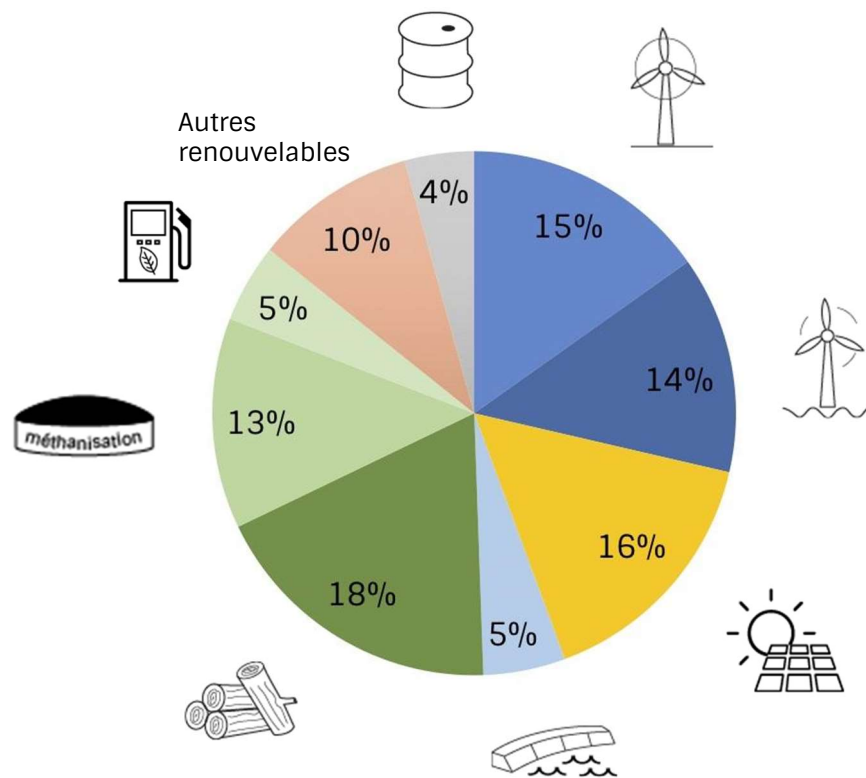


■ Sobriété ■ Efficacité ■ Renouvelables ■ Fossiles + Fissile ■ Tendanciel ■ Scénario nW 2022

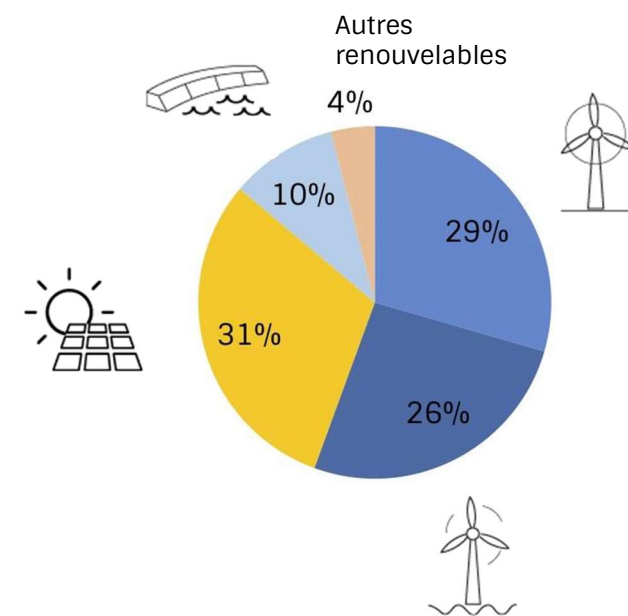
# ↘ La transition vers le 100 % renouvelable



## ↘ Mix énergétique et mix électrique en 2050



Mix énergétique 2050 - 1060 TWh



Mix électrique 2050 - 550 TWh



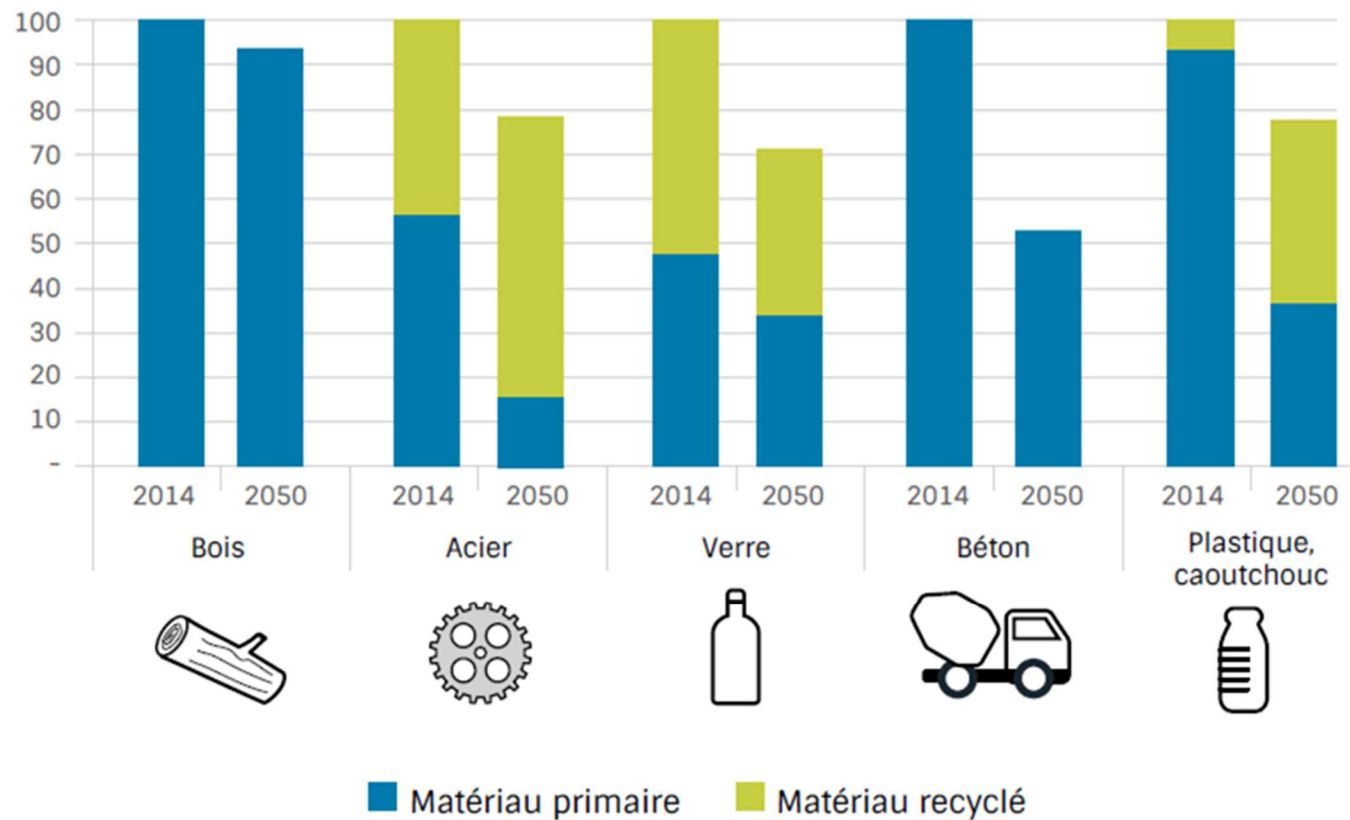
## **2. Bilan matières**

---

## ↘ Une consommation de matériaux en baisse



Evolution de la consommation de matériaux primaires et recyclés

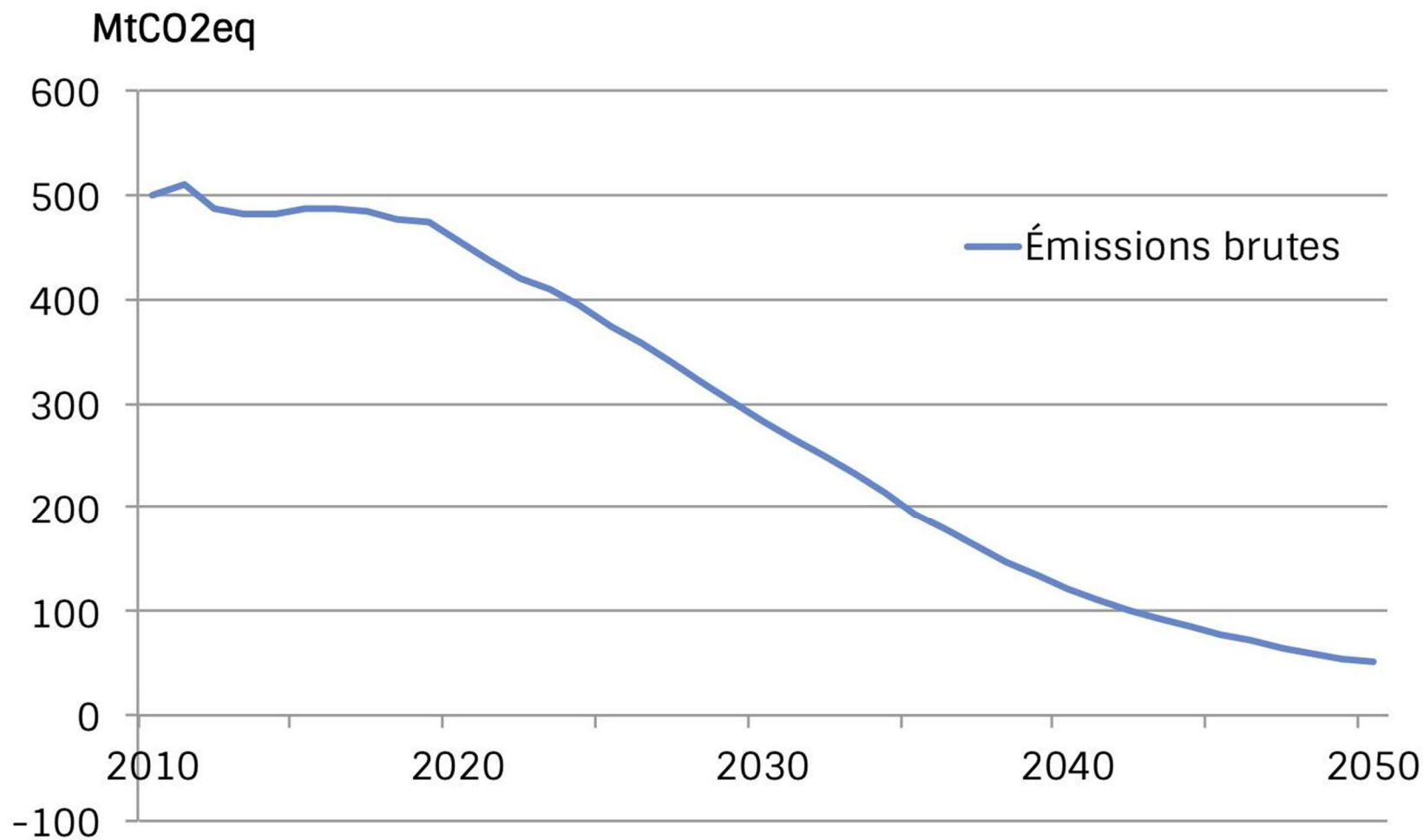




# **3. Bilan gaz à effet de serre**

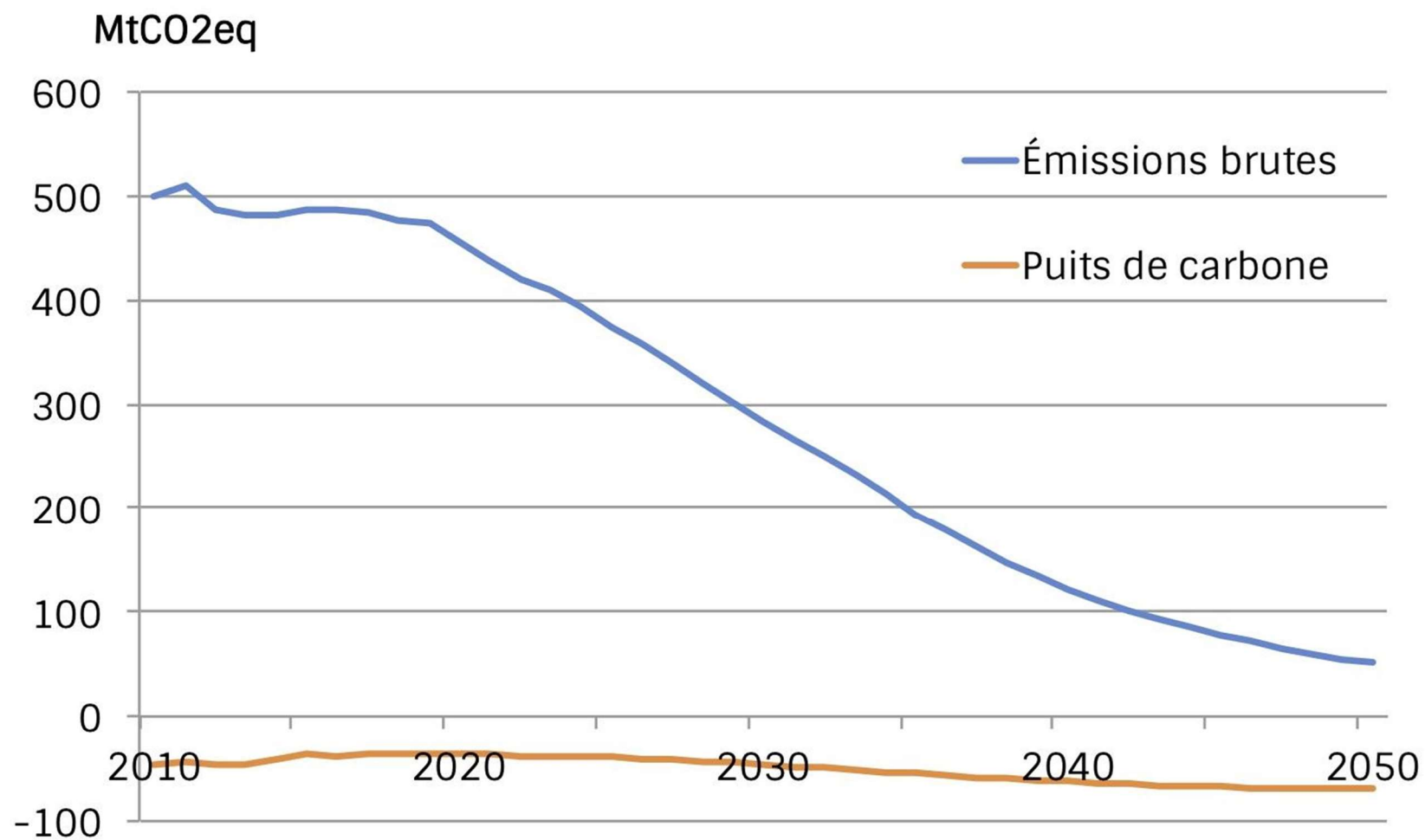
---

## ↘ Une forte décarbonation permet la neutralité carbone



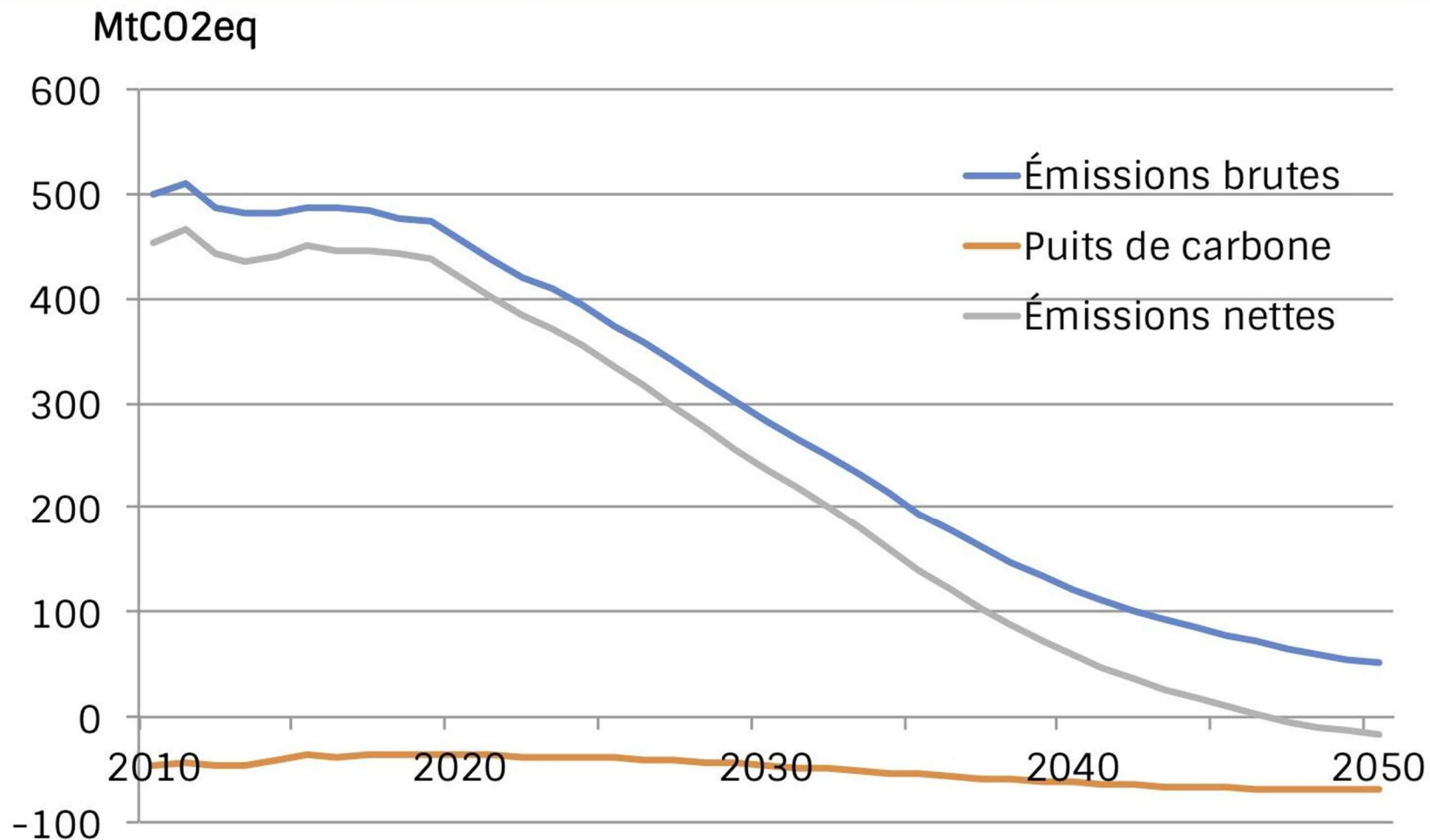
**Des émissions territoriales de GES divisées par 9 entre 2019 et 2050**

## ↘ Une forte décarbonation permet la neutralité carbone





# ↘ Une forte décarbonation permet la neutralité carbone



**La neutralité  
carbone atteinte  
en 2047**

## ↳ Ce qu'il faut retenir



- **La neutralité carbone est atteinte en 2047** pour les émissions territoriales (+ sources internationales)  
→ les puits absorbent davantage que ce qui est émis.
- Si le monde suit une trajectoire similaire au scénario négaWatt, **l'absorption des puits est égale à l'empreinte carbone en 2050.**
- Le **cumul des émissions** en empreinte est **compatible avec le scénario RCP 1.9 du GIEC qui permet de limiter l'élévation de température à 1,5 °C.**



## **4. Impacts socio- économiques & santé**

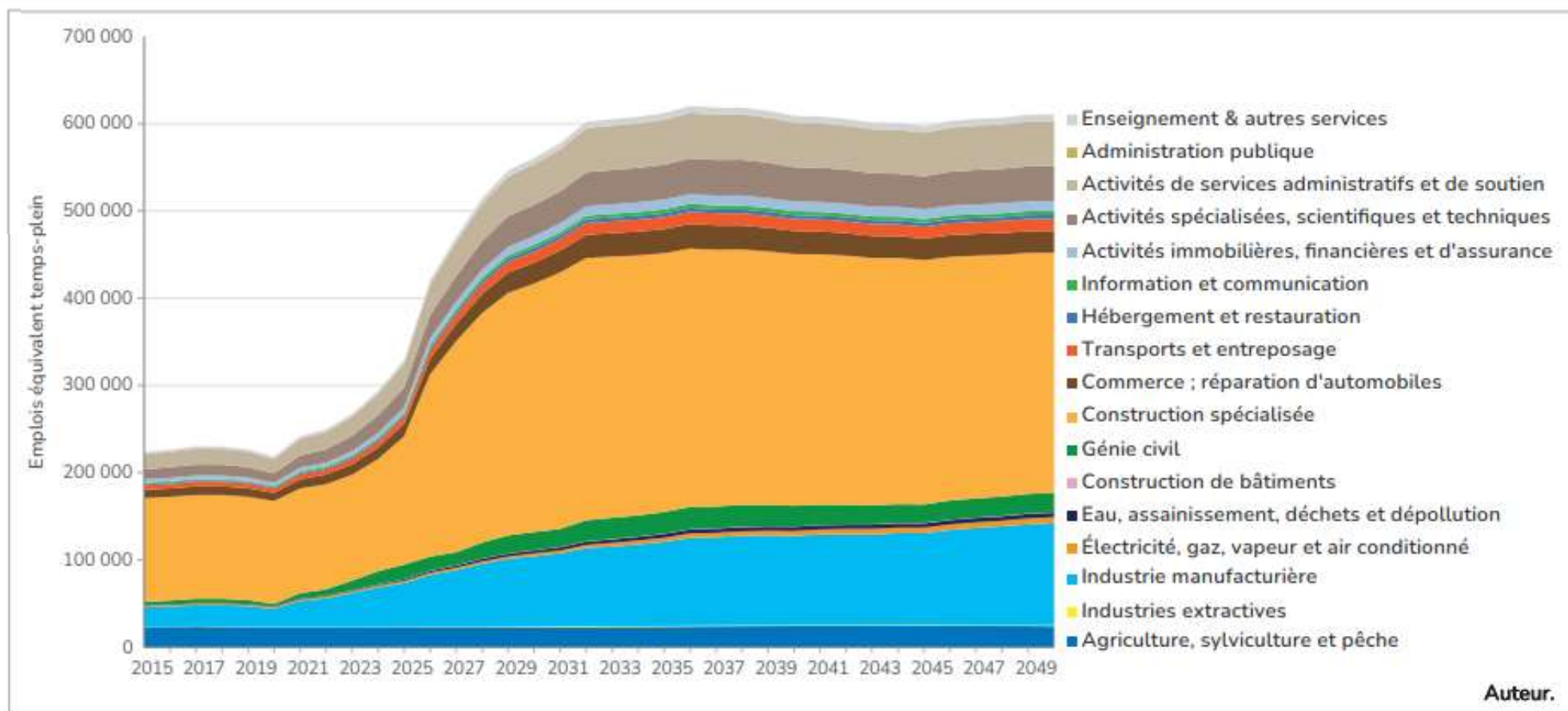
---

## ↘ Un mode de développement plus désirable



- ↘ **Emploi** : un effet globalement (très) positif  
Création de plus de 500 000 emplois qualifiés dans des secteurs clés
  - **rénovation des bâtiments**
  - **énergies renouvelables**Et des créations attendues dans d'autres secteurs
  - **transports en commun**
  - **réparation, recyclage, accompagnement à la sobriété, etc.**
- ↘ Des relocalisations industrielles et de nouvelles filières d'avenir
- ↘ Des pratiques de coopération et de gouvernance fondées sur un meilleur partage des ressources, de l'échelle locale à l'échelle internationale

## ➤ Réflexion sur l'emploi



Source : étude de Philippe QUIRION du CIRED :  
<https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/revue/01-1760FCE.pdf>

Création de **400 000 emplois**

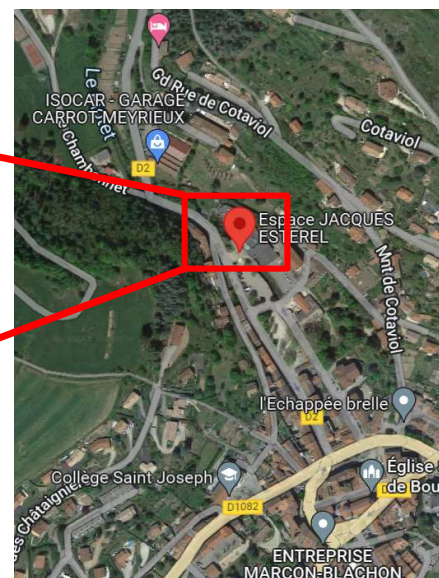
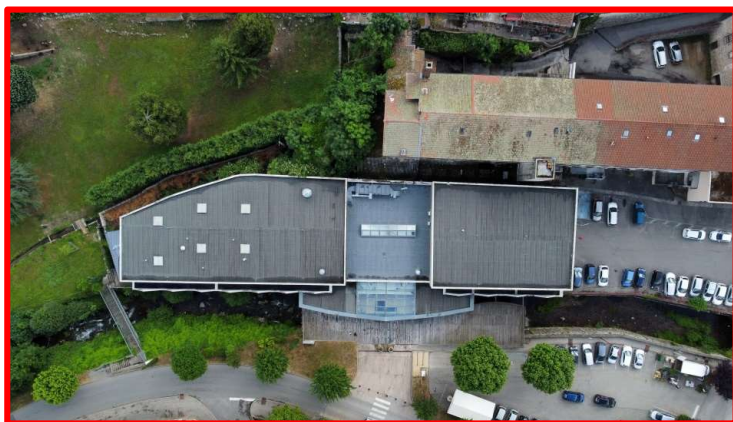
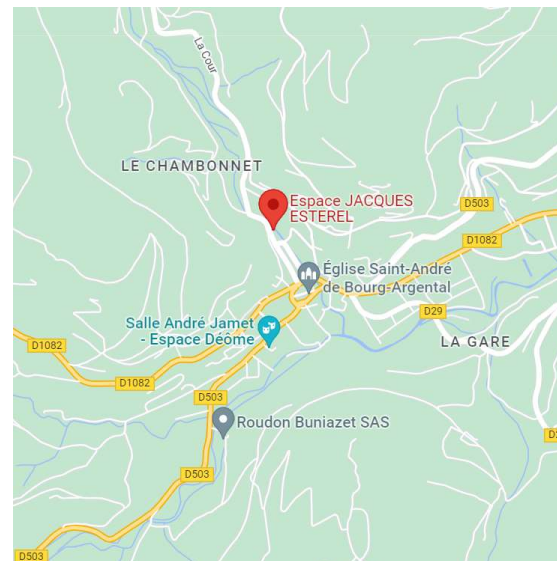
# Exemple du Centre Culturel de Bourg Argental

**Commune :** 42 220 Bourg-Argental

**Adresse :** Pl. Alfred Guyotat

**Coordonnées :** 45.29, 4.56

**Altitude :** 548 m




# DESCRIPTION DU SITE


## *Vues en drone du site*



Toiture à très faible  
pente < 5° hormis  
verrière actuelle

 Toiture **privilegiée** pour l'implantation  
de panneaux photovoltaïques  
(hors compatibilité étanchéité+isolant)

 Toiture **privilegiée** pour l'implantation :  
après rénovation bac acier

 Toiture **déconseillée** :  
ombrage, encombrement



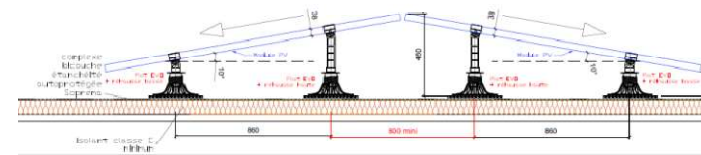
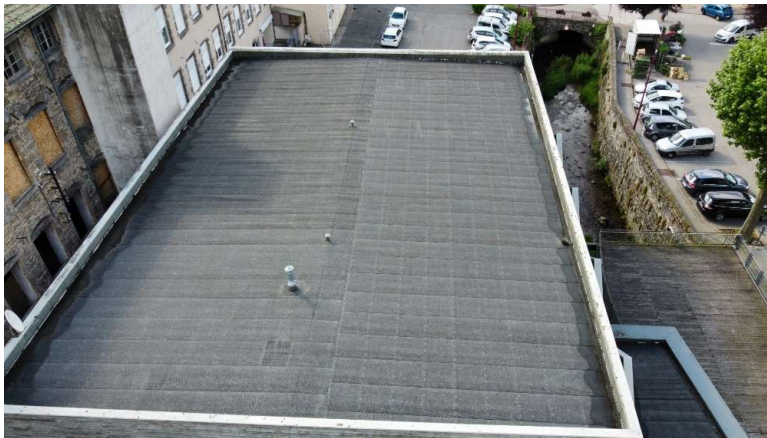
# TOITURE

***Pose sur toiture plane : étanchéité+isolant a priori non compatibles***



→ Système thermocollé sur étanchéité

**Solution SOPRASOLAR ou équivalent**



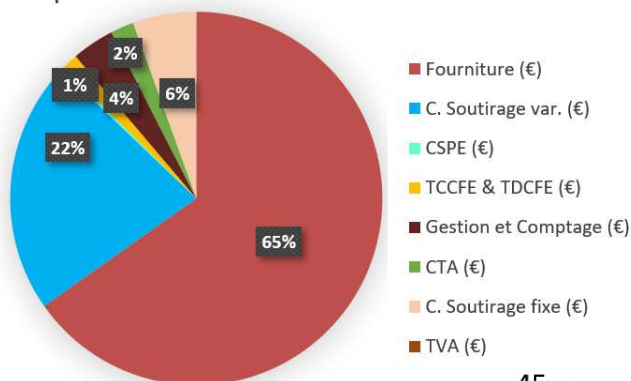
Dômes orientés EST/OUEST

**Nécessité de rénovation des toitures pour rendre compatible le PV..**



# CONSOMMATION ELECTRIQUE

Répartition des coûts d'électricité du réseau



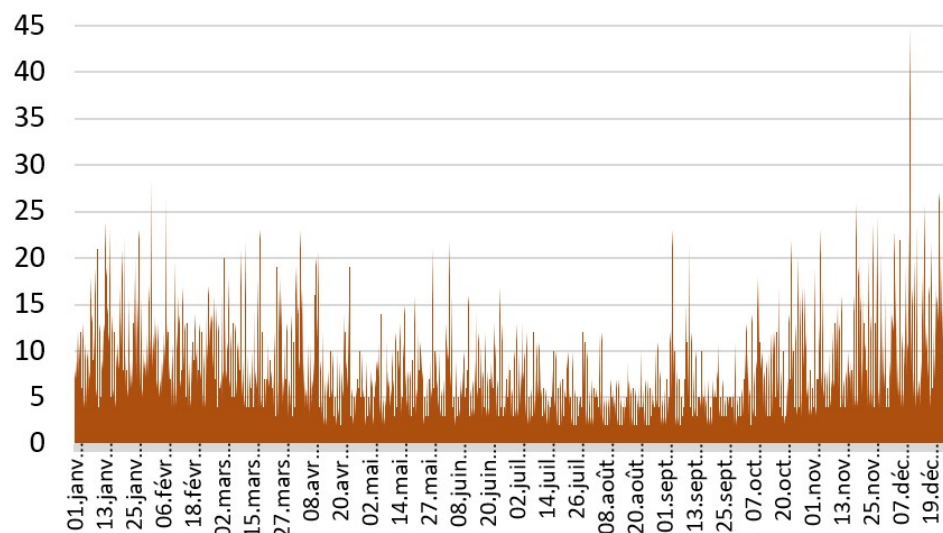
Fourniture : 65 % de la facture

Consommation relativement stable  
mais avec un talon bas : 5 kW

Consommation totale annuelle  
cumulée : 70,3 MWh

→ Schéma  
d'autoconsommation  
adapté avec un  
dimensionnement  
permettant un tarif de  
revente de surplus  
intéressant

→ Point de vigilance :  
Puissance souscrite actuelle de 54 kVA  
(si production PV supérieure à 66 kVA,  
échange nécessaire avec ENEDIS)



# CALEPINAGE DE L'INSTALLATION

*Calepinage : 108 kWc*

## Informations système

Puissance panneau : 400 Wc

Nombre de panneaux : 270

Dimensions panneau : 1,754 x 1,096 (m<sup>2</sup>)

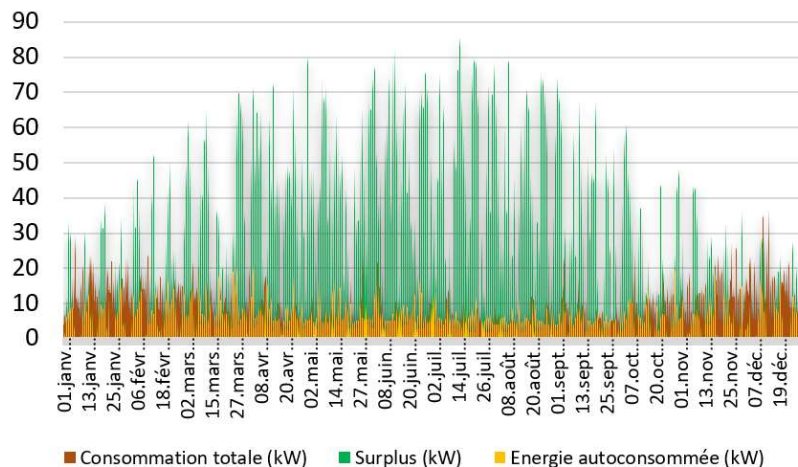
Puissance installée : 108 kWc



***Installation > 100 kWc*** : tarif de revente du surplus à 11,07 c€/kWh au lieu de 6 c€/kWh pour les installations < 100 kWc

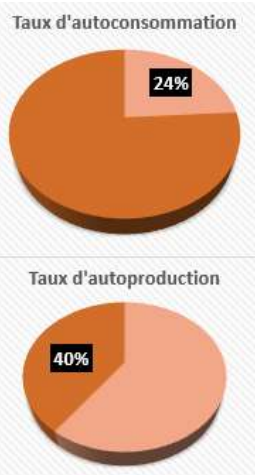
# BILAN ENERGETIQUE

## Scénario : 108 kWc



### Bilan énergétique

Nombre de panneaux : 270  
 Puissance installée : 108 kWc  
 Productible : 1 113 kWh/kWc.an  
 Consommation : 70 MWh  
 Production : 120 MWh  
 Energie autoconsommée : 28 MWh

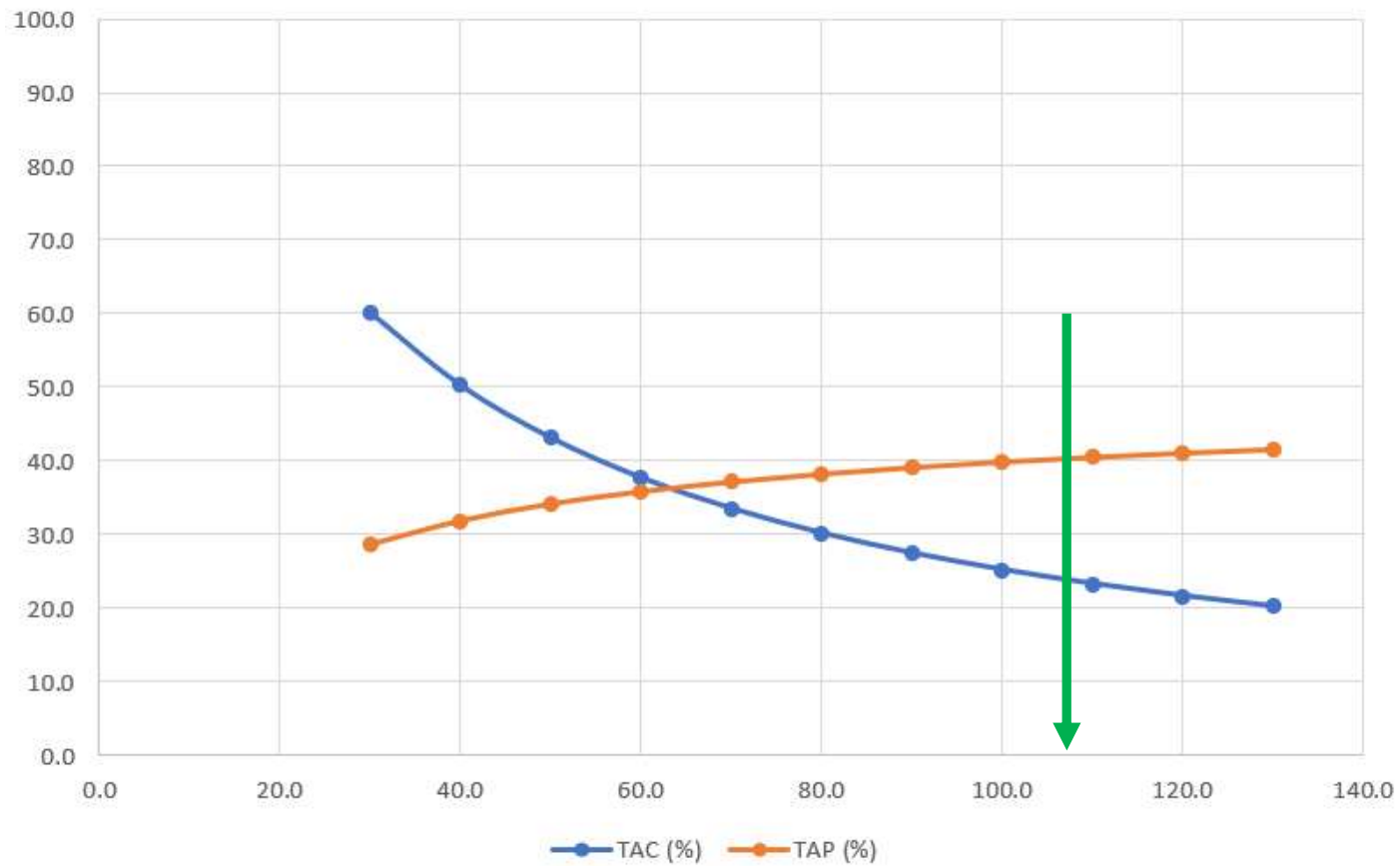


# BILAN ENERGETIQUE

*Etude de sensibilité :*

*Taux autoconsommation (TAC) et taux d'autoproduction (TAP)*

TAC et TAP (%) fonction de la puissance crête (kWc)



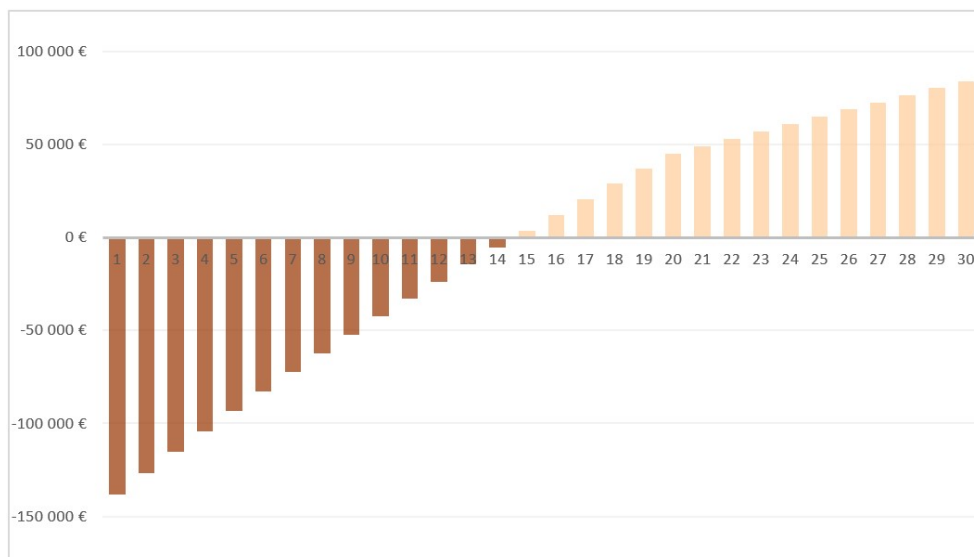
# ESTIMATION INVESTISSEMENT

108 kWc

CAPEX	€
Fourniture et pose modules photovoltaïques	52 920
Onduleurs	14 283
Préparation Chantier + Couverture	5 500
Système d'intégration	22 000
Câblage en toiture jusqu'au coffret DC	4 800
Coffret AC + TDGS	3 300
Bureau de contrôle + Ingénierie + Etude structure	10 000
Divers (signalisation, télé-suivi, AU, documentations DOE, contrat maintenance, extension garantie onduleur, remise état site)	9 600
Fourniture et pose Bac acier sur verrière	0
Tranchées	
Câblage AC jusqu'au point de livraison	1 050
Armoires électriques	1 500
TVA	24 991
<b>Investissement total (€ TTC)</b>	<b>149 944</b>
<b>Investissement net de subvention (€ TTC)</b>	<b>149 944</b>
Prix au Wc (€ TTC/Wc)	1,39

OPEX	€ TTC/an
Taxe IFR	0
Maintenance et entretien	1 404
Assurances RC	540
<b>Charges d'exploitation totales (€ TTC/an)</b>	<b>1 944</b>

# BILAN ÉCONOMIQUE



## RESULTATS SUR L'INVESTISSEMENT

Taux d'actualisation	<b>2,5 % / an</b>
CA actualisé sur 30 ans	304 194 €
Résultat avant impôt sur 30 ans	185 419 €
TRB (Temps de Retour Brut)	12,7 ans
TRI (Taux de Rentabilité Interne)	6,64%
<b>VAN (Valeur Actuelle Nette)</b>	<b>84 047 €</b>
<b>TRA (Temps de Retour Actualisé)</b>	<b>15,6 ans</b>
<b>TEC (Tx d'enrichissement du capital)</b>	<b>0,56</b>

## ↘ Conclusion



### **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.**



## ↘ Pour aller plus loin



→ 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)