

Scénario négaWatt 2017-2050

**Un scénario de transition
énergétique pour la France**

Stéphane SIGNORET

Association négaWatt

le 26/08/2018 à Paris / la Grande Marche



Soutenu par la Fondation
Charles Léopold Mayer pour le
progrès de l'Homme

↘ Qui sommes-nous ?



- Créée en 2001 par des experts et praticiens de l'énergie
- Missions :
 - Prospective énergétique : le scénario négaWatt
 - Réflexion stratégique et politique
 - Plaidoyer, lobbying à l'échelle nationale
 - Mesures et propositions
- Regroupe une vingtaine de membres actifs + 25 ambassadeurs
- Plus de 1000 membres nous soutiennent



- Créé en 2009
- Filiale et outil opérationnel de l'association

○ 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

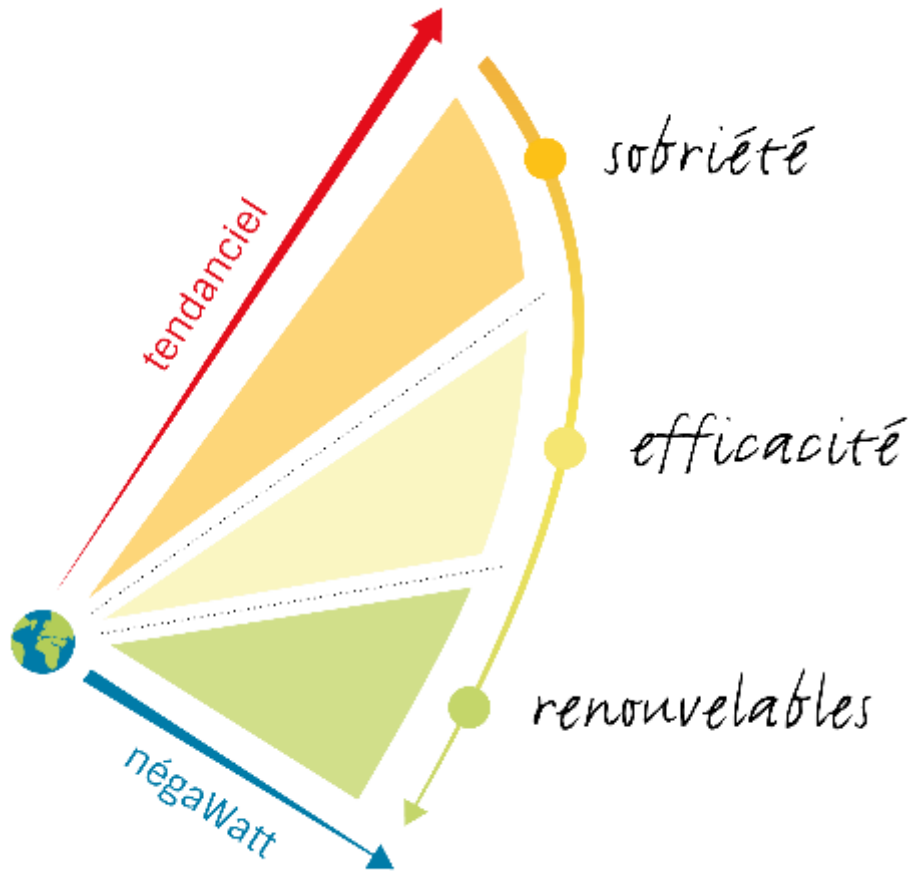
3

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*

↘ 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

↘ 12 points clés



1. La courbe de la consommation s'est inversée
2. Il est possible de diviser par 2 la consommation d'énergie finale d'ici 2050
3. Le 100% renouvelables est possible en 2050
4. La France peut devenir neutre en carbone en 2050
5. La complémentarité entre les vecteurs électrique et gaz est incontournable
6. L'agriculture et la forêt sont au cœur des solutions énergétiques et climatiques
7. L'économie circulaire est le moteur du nouveau industriel
8. La transition énergétique génère des dividendes sanitaires et écologiques
9. La transition énergétique crée des emplois et mobilise de nouvelles compétences
10. La France joue son rôle à l'échelle mondiale, solidaire et responsable
11. Il n'y a plus de temps à perdre, il faut poursuivre et accélérer les efforts engagés
12. Le scénario négaWatt donne l'horizon et le tempo pour l'action

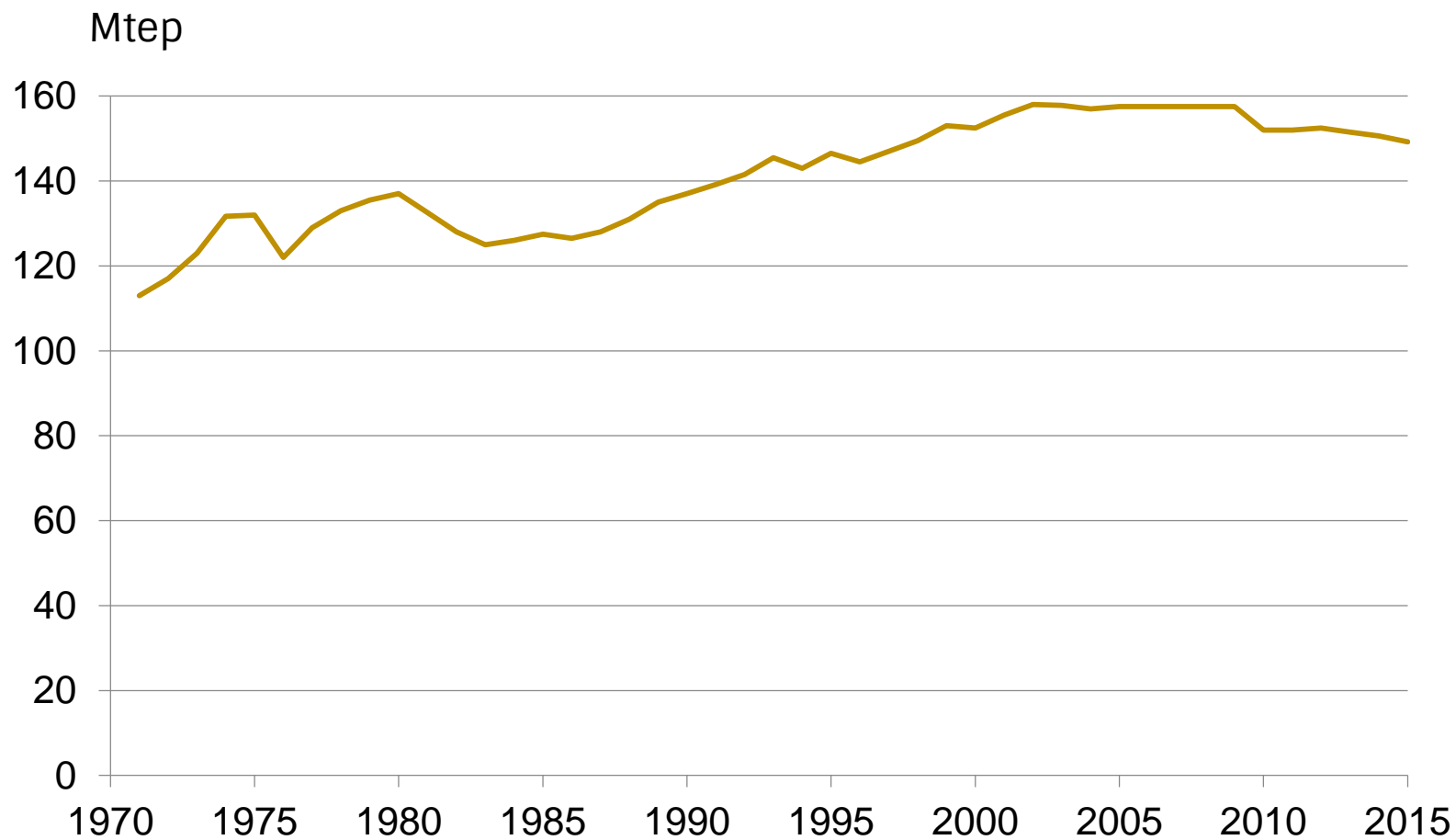


01.

Un début d'inflexion



↘ Stabilisation de la consommation d'énergie finale

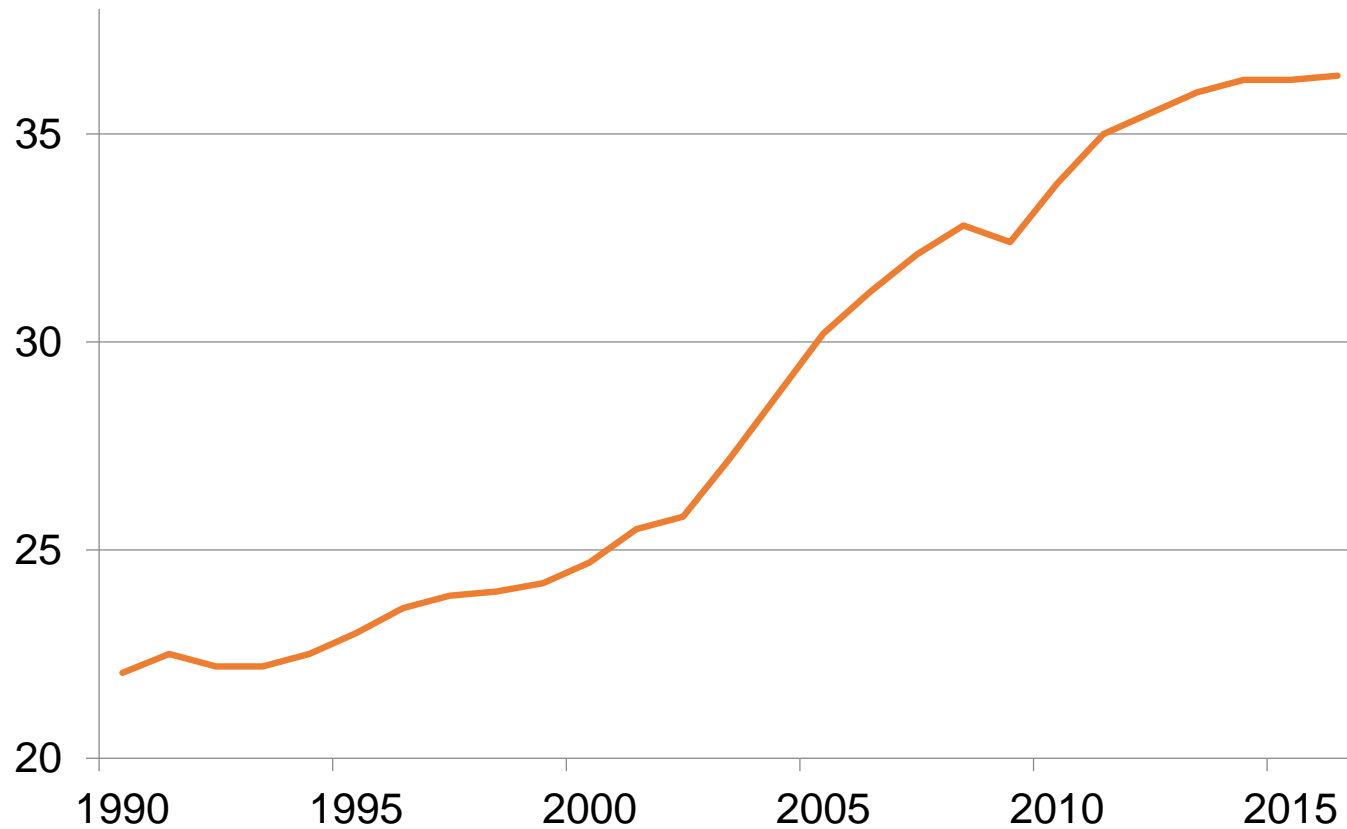


Consommation française d'énergie finale (corrigée du climat)

↘ Inflexion des émissions mondiales de CO₂



Mds t CO₂ / an

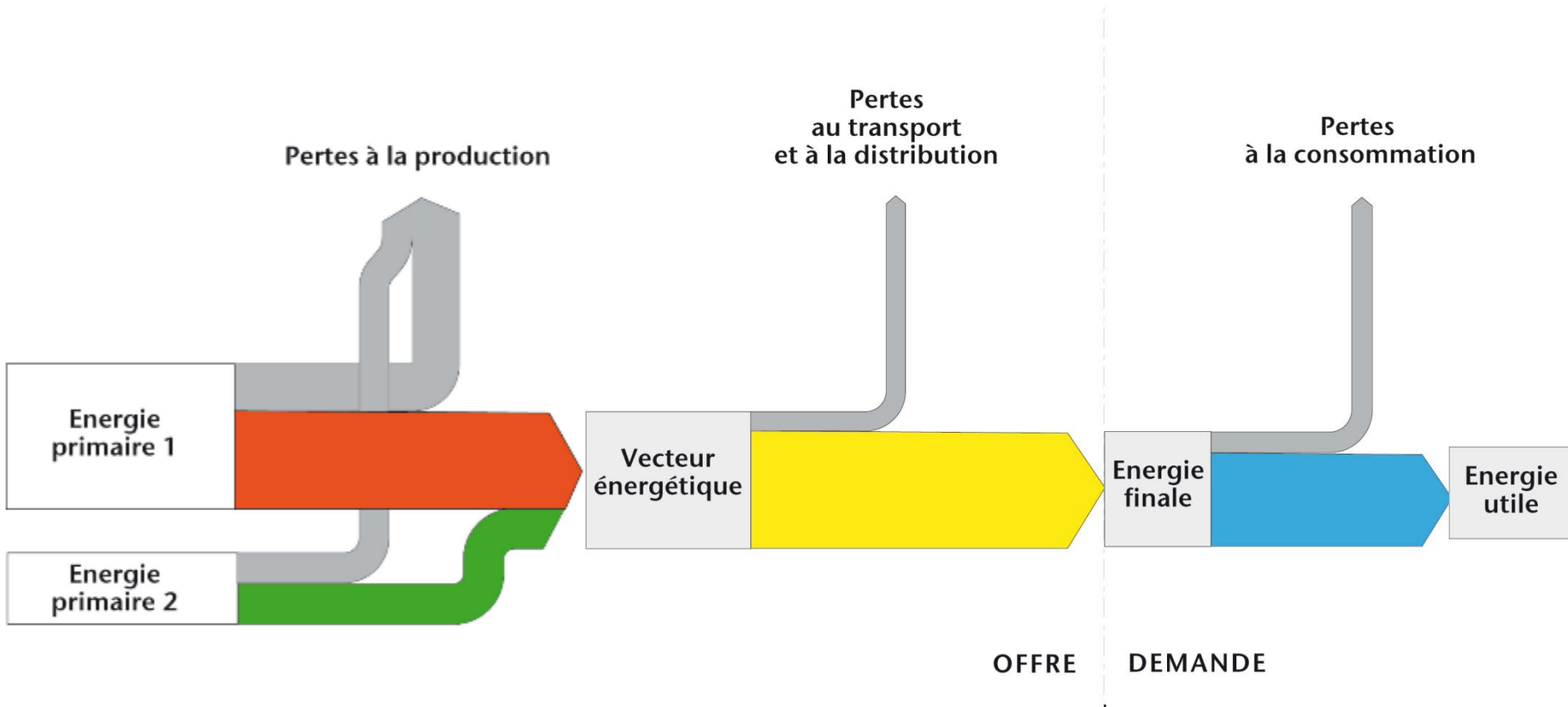




02.

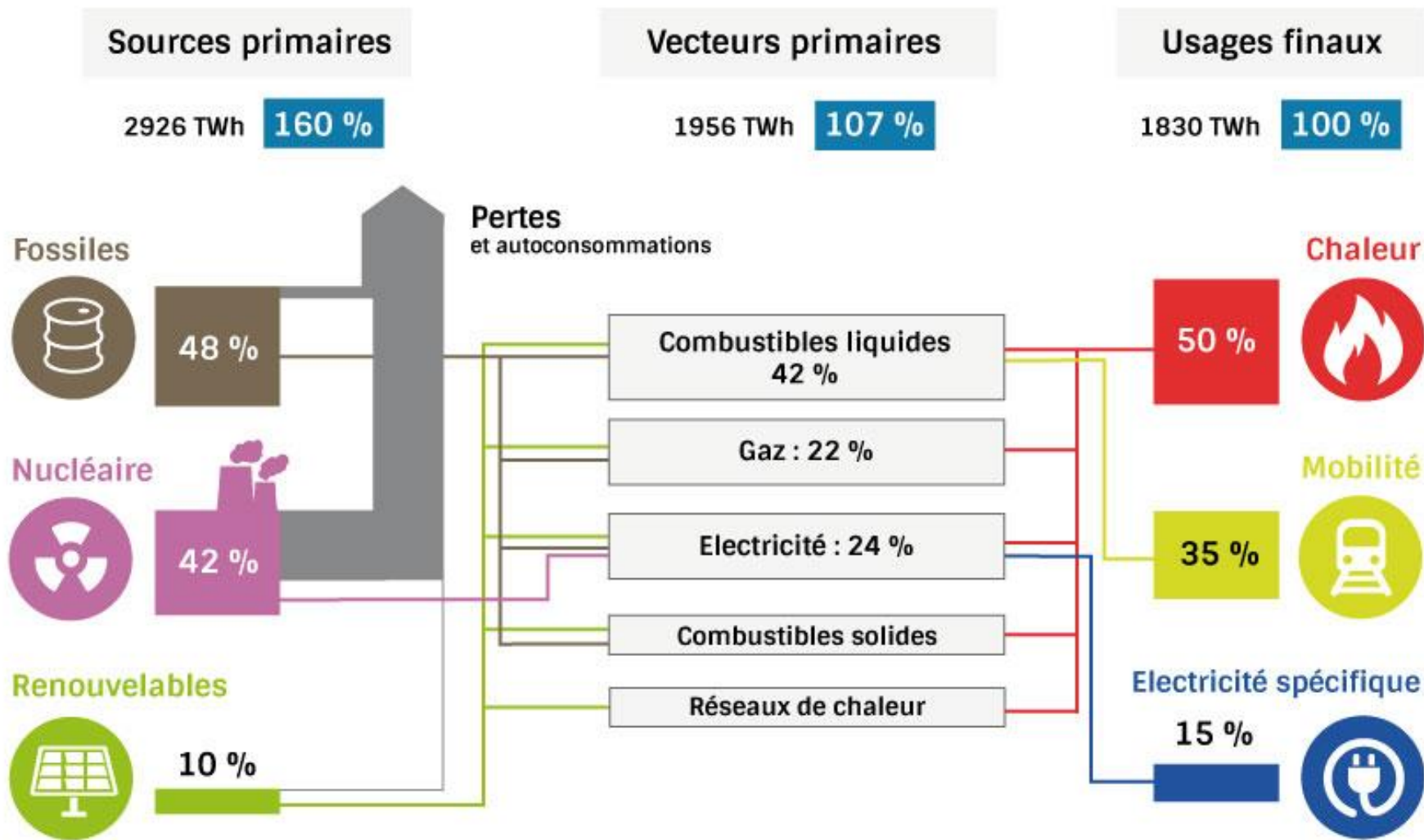
**Diviser par 2 la consommation
d'énergie finale**

↳ L'énergie dans tous ses états



Représentation/décomposition d'une chaîne énergétique

Des usages aux ressources primaires - 2015



- **43 %** de la consommation totale d'énergie finale, dont :



Chaleur : 80 %



Électricité spécifique : 20 %

- Chauffage des maisons individuelles d'avant 1975
= **31 %** 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 m² de surfaces tertiaires
 - 65 millions d'acteurs concernés !

↳ Un grand programme de rénovations performantes



- Objectif : une division par 4 en moyenne de la consommation de chauffage (< 50 kWh/m².an)
- Rénover partiellement
= « tuer le gisement » d'économies
- Mettre en œuvre de solutions techniques simples
- Augmenter progressivement le rythme de rénovation jusqu'à **1,1 million équivalent-logements par an**, atteint en 2025
- Rendre la rénovation obligatoire, avec un accompagnement technique et financier
- 300 000 emplois à la clé, non délocalisables



○ Sobriété

- **Réduction des distances parcourues par an et par habitant**
 - › Aérien : division par 2 des distances parcourues
 - Dans 30 ans on retrouve le même niveau qu'il y a 20 ans
 - › Hors aérien : diminution de 6 % des distances parcourues
 - Télétravail, réaménagement de l'espace
- **Augmentation du taux moyen de remplissage des voitures : 1,6 à 1,8**



- **Baisse de la vitesse sur route et autoroute**

- **Report modal vers transports en commun, vélo et marche à pied**



↳ Mobilité des personnes : principales hypothèses



○ Efficacité énergétique

- **Consommation moyenne du parc de voitures : - 58 % entre 2015 et 2050**

○ Abandon du pétrole au profit du gaz et de l'électricité

- **Du gaz dans la majorité des véhicules routiers**
 - › Aucune rupture technologique
 - › Valorisation du gaz d'origine renouvelable
 - › Impacts positifs sur la qualité de l'air
- **Des véhicules électriques adaptés à leur environnement**
 - › Principalement en milieu urbain, en autopartage
 - › Mais aussi en péri-urbain / rural
 - › Impacts positifs sur la qualité de l'air

○ Sobriété

- Réduction de la consommation
 - Objets durables, réparables et recyclables
 - Augmentation du recyclage
- Réduction de la production industrielle



○ Efficacité

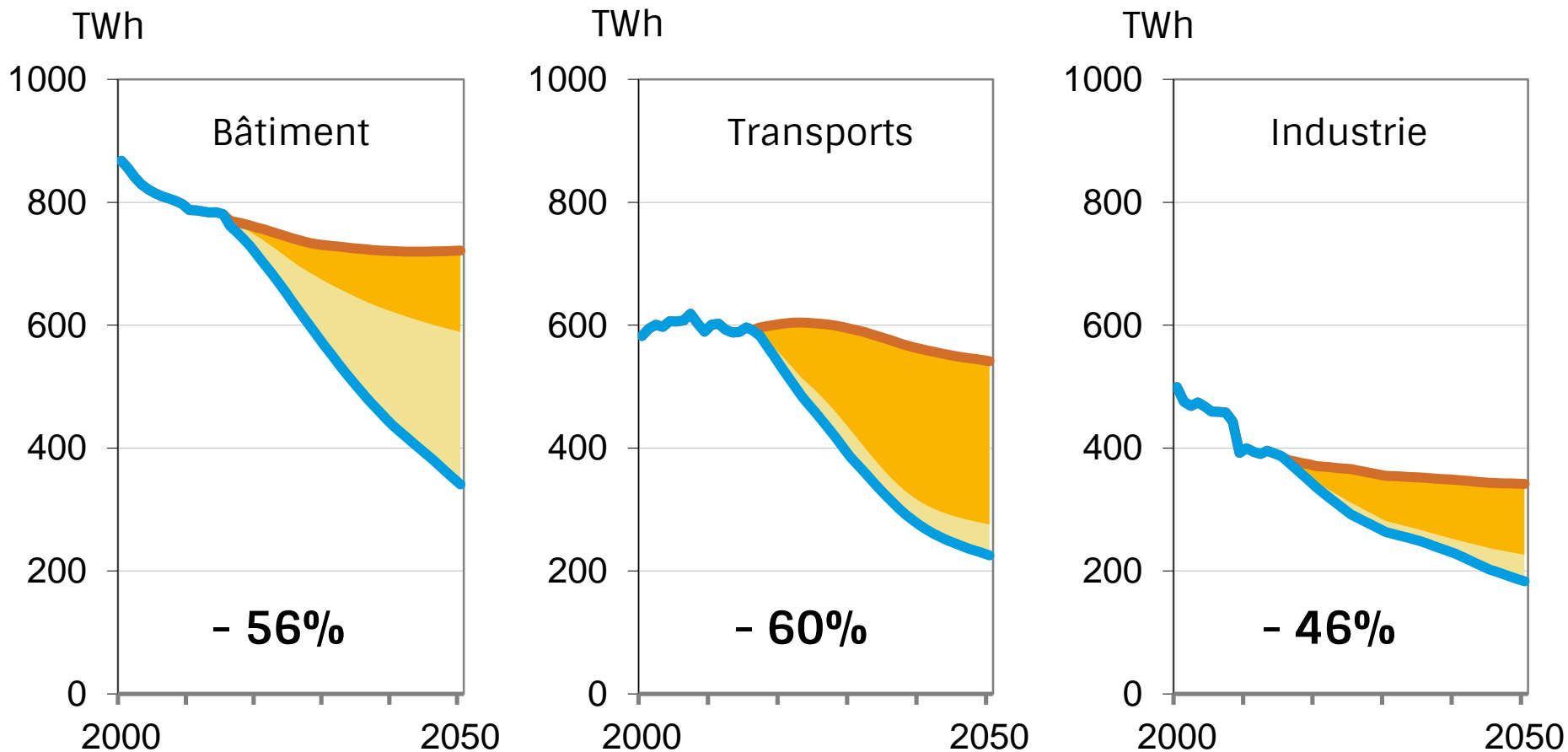
- Amélioration des process industriels



↘ Bilan - Energie finale



- Sobriété
- Efficacité
- Tendanciel
- Scénario négaWatt



Evolution de la consommation d'énergie finale dans le scénario négaWatt



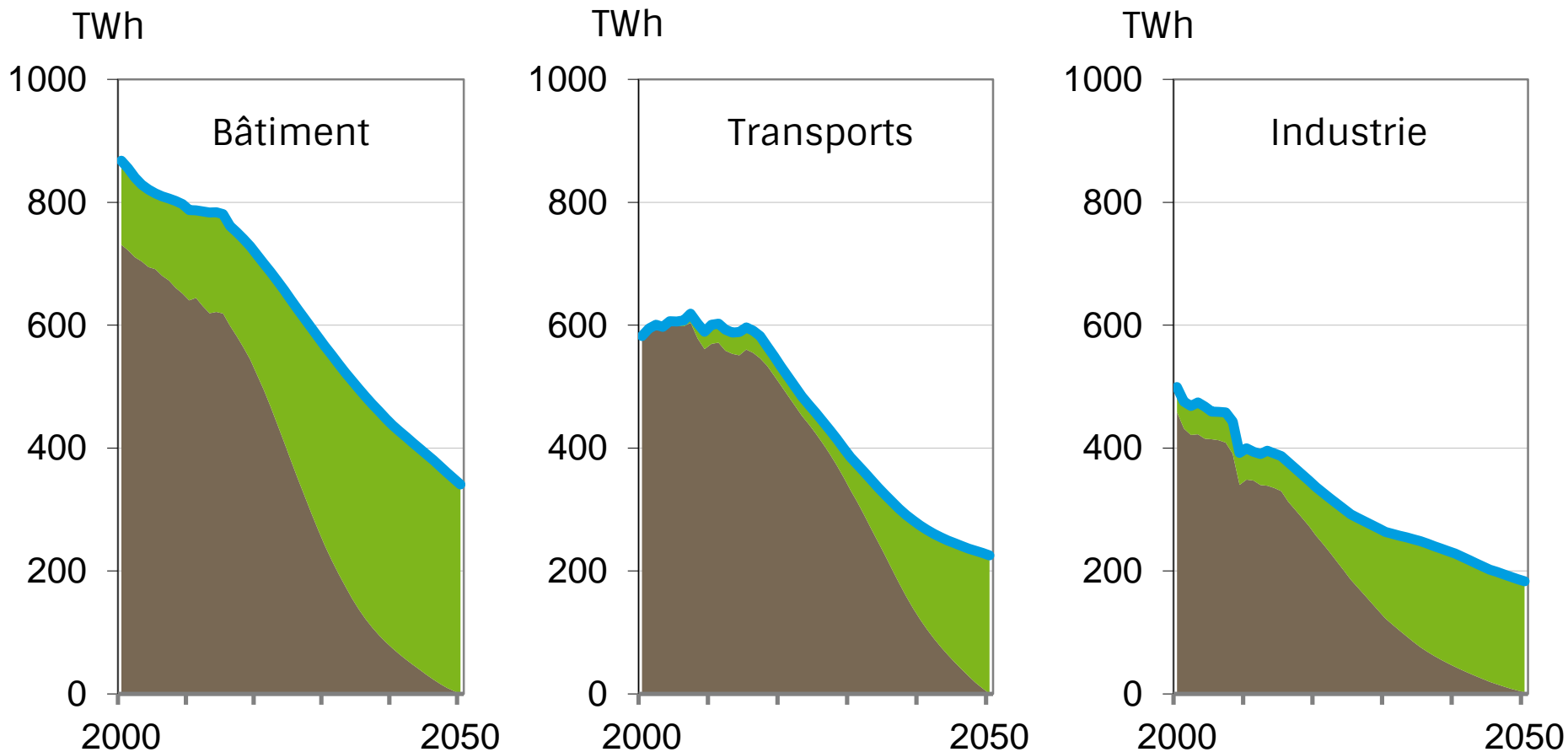
03.

**Le 100% renouvelables
est possible en 2050**

↘ Bilan - Energie finale



Renouvelables Fossiles + Fissile Scénario négaWatt

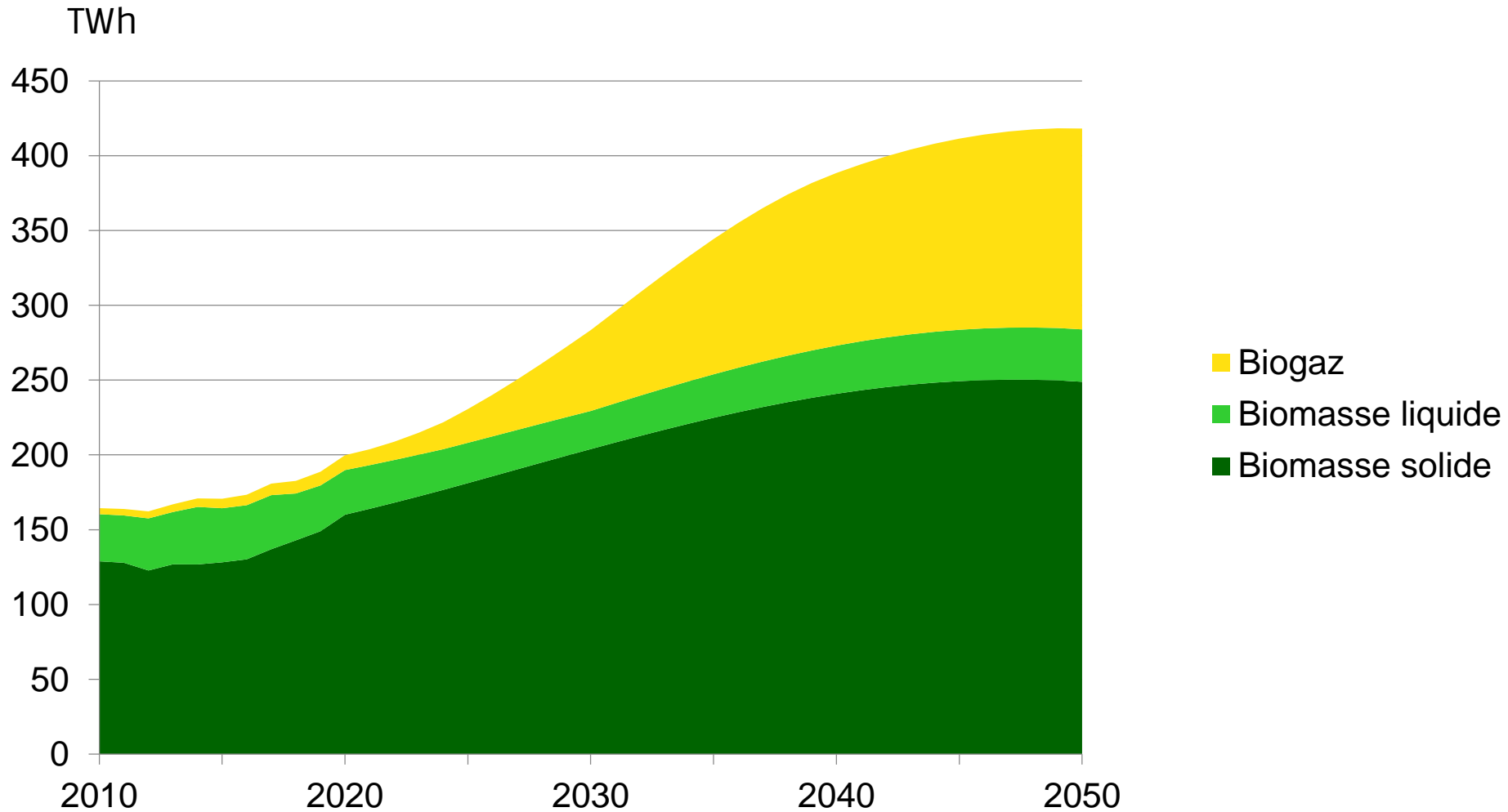


Evolution de la consommation d'énergie finale dans le scénario négaWatt

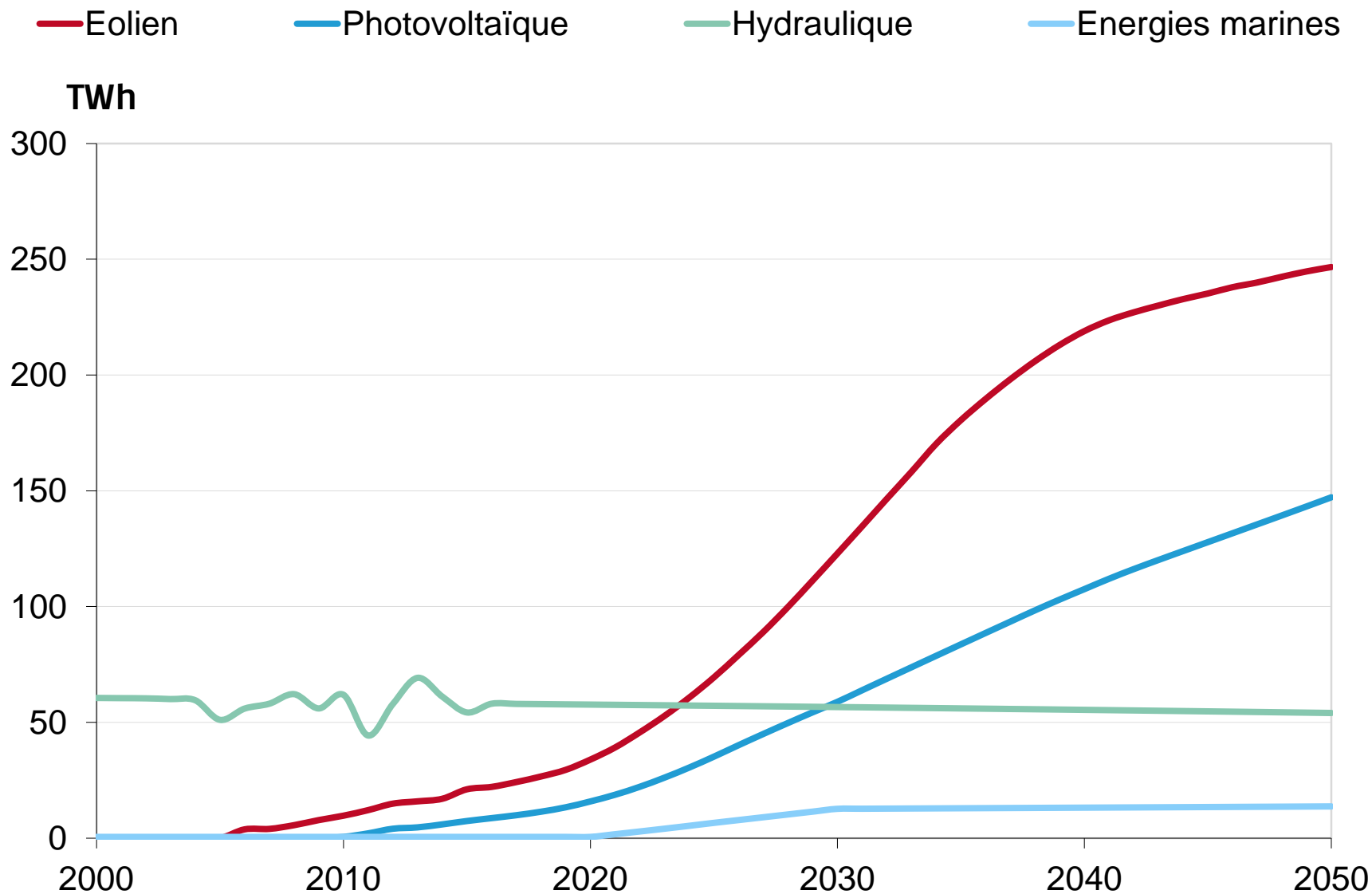
↘ 420 TWh de Bioénergies



Pas de cultures dédiées - Pas de concurrence avec d'autres usages



↘ Ensemble des renouvelables électriques

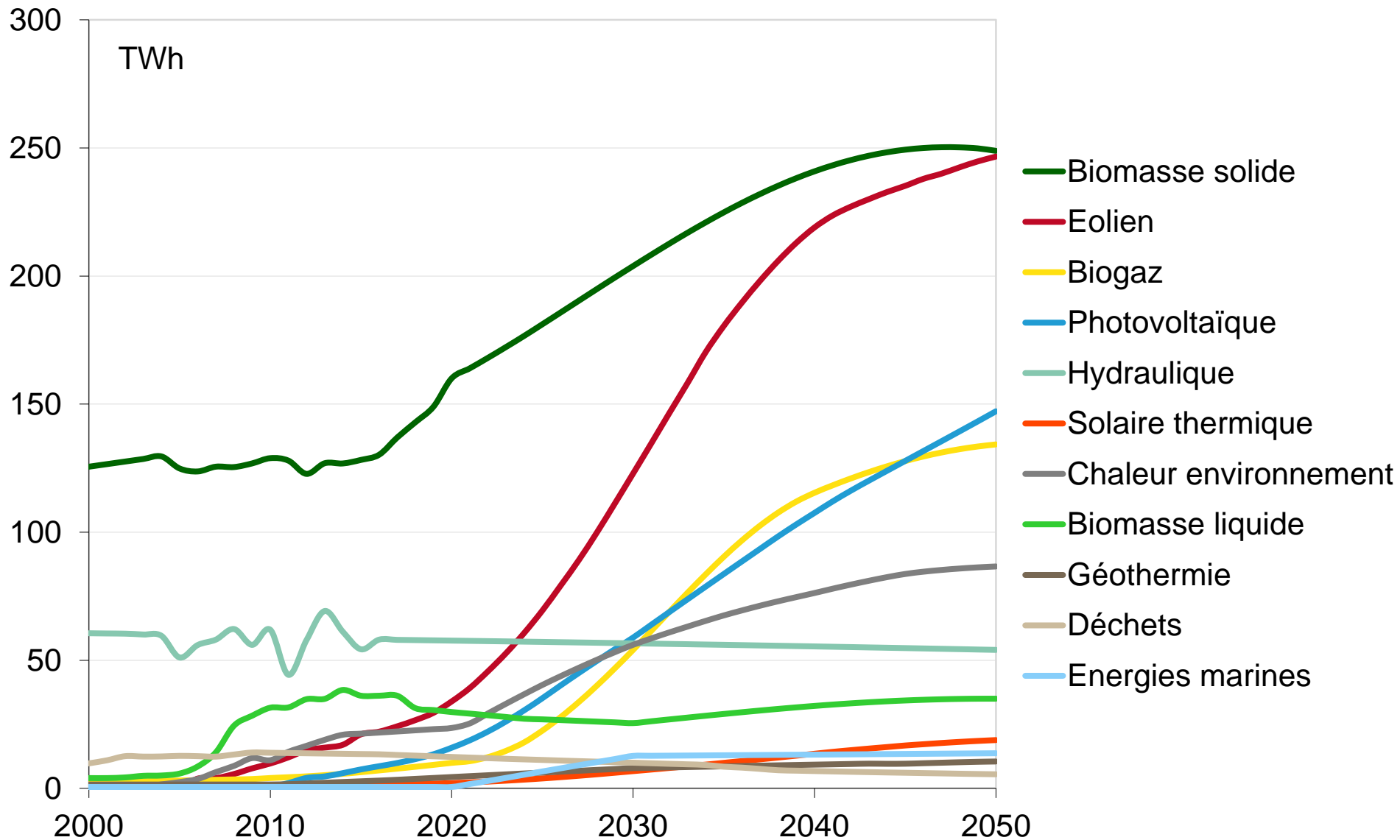


↘ Développement de la production d'électricité renouvelable



| | 2015 (64,5 M habitants) | 2050 (72,3 M d'habitants) |
|----------------------------|--------------------------------------|--|
| Eolien terrestre | 5 400 éoliennes 1 pour 12 000 hab | 18 000 éoliennes 1 pour 4 000 habitants |
| Eolien en mer | | 3 200 éoliennes |
| Photovoltaïque | 6,2 GWc 0,1 kWc par habitant | 136 GWc 1,9 kWc par habitant |
| Autre - Electricité | | Hydraulique en légère diminution, énergies marines |

↘ Ensemble des renouvelables



↘ Situation du parc nucléaire



- La prolongation de fonctionnement :
 - un enjeu inédit et une faisabilité incertaine sur les exigences de sûreté
 - un chantier industriel qui dépasse les capacités actuelles de la filière
 - un investissement massif qui dépasse la capacité de financement de l'opérateur
 - un risque important sur la compétitivité des réacteurs
 - toute prolongation retarde la mise en œuvre de la transition
- Dans le scénario négaWatt, l'arrêt avant 40 ans est la règle
 - Fermeture du dernier réacteur en 2035

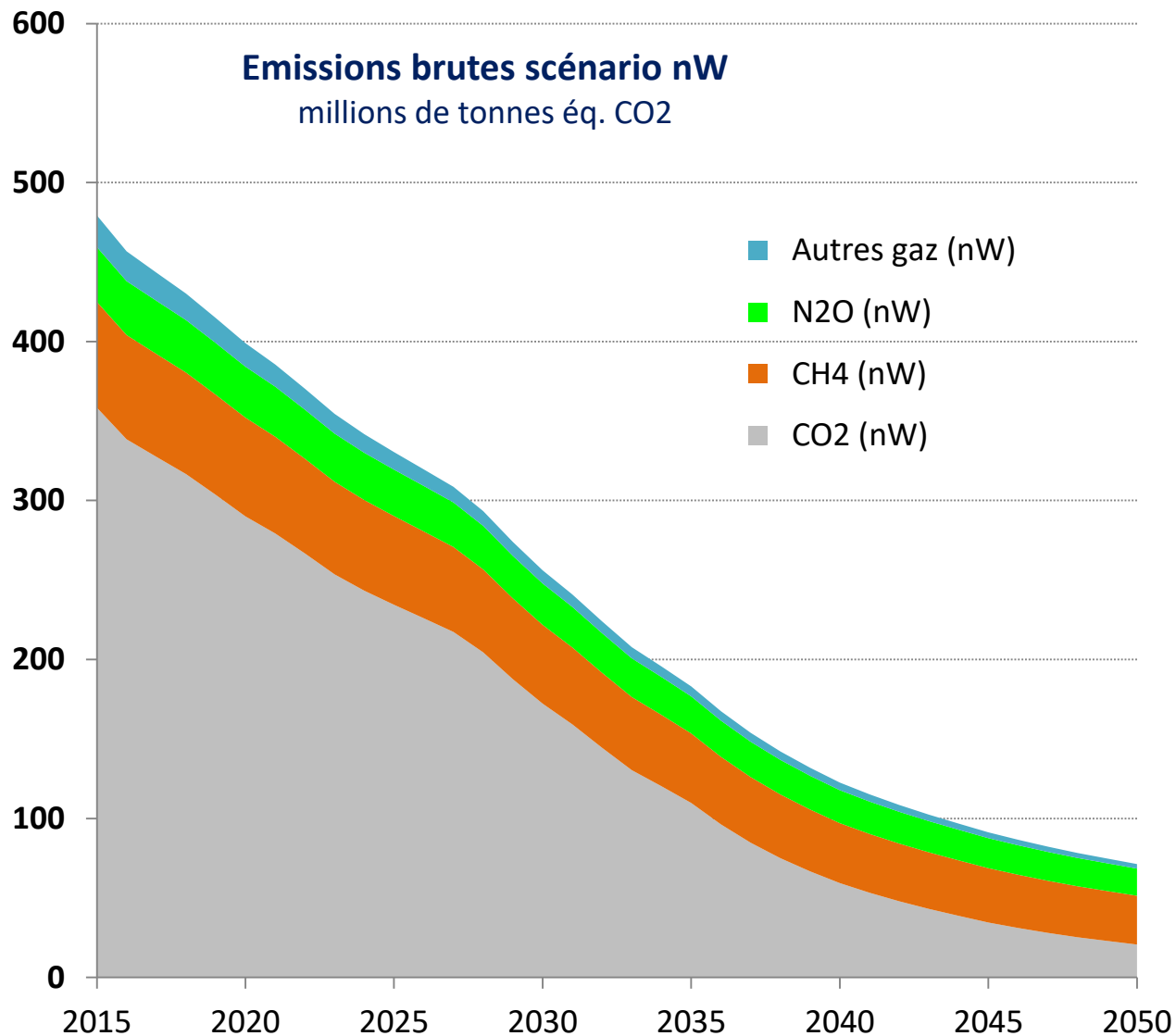




04.

**La France peut devenir
neutre en carbone en 2050**

Scénario négaWatt : décroissance des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050





05.

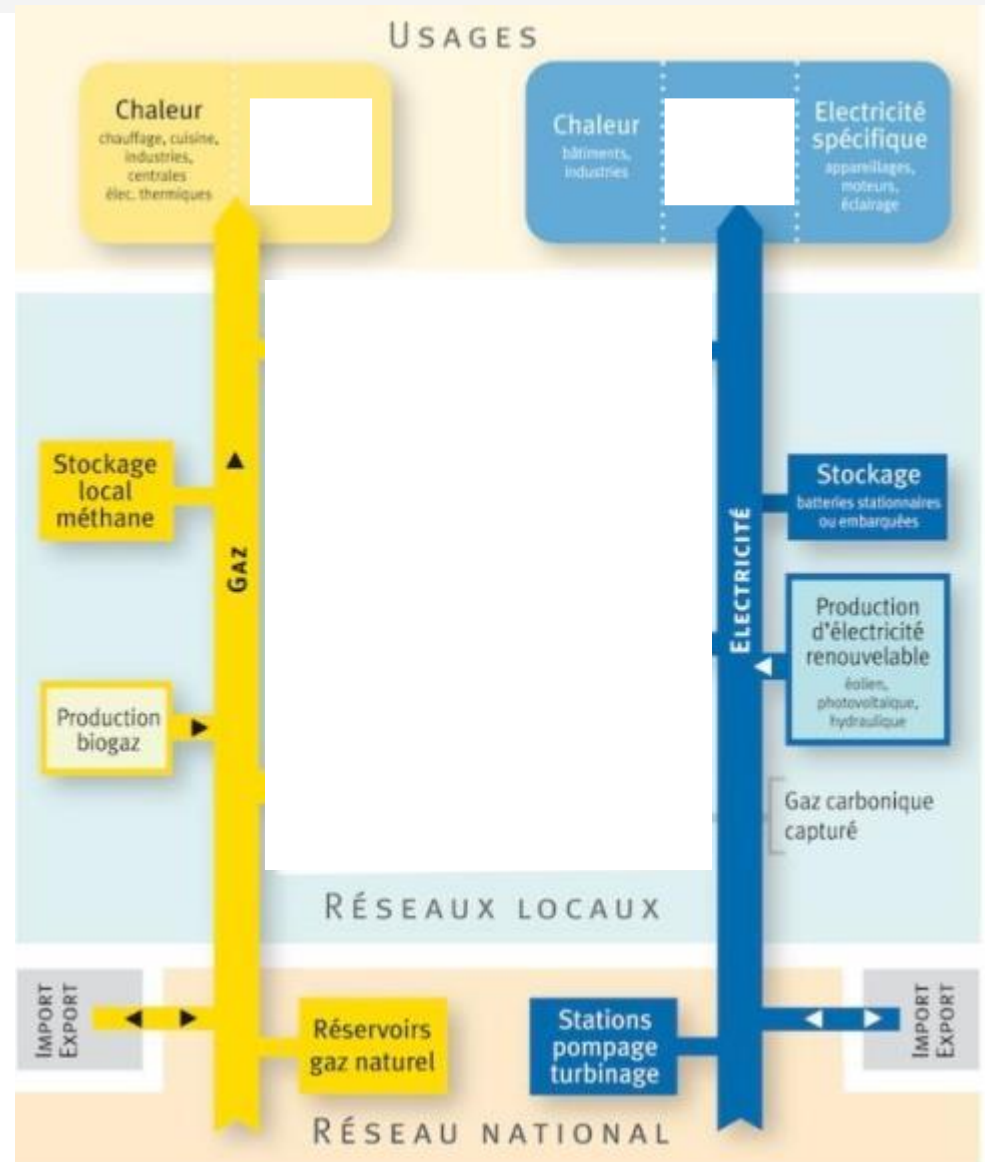
La complémentarité entre les vecteurs électriques et gaz est incontournable



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



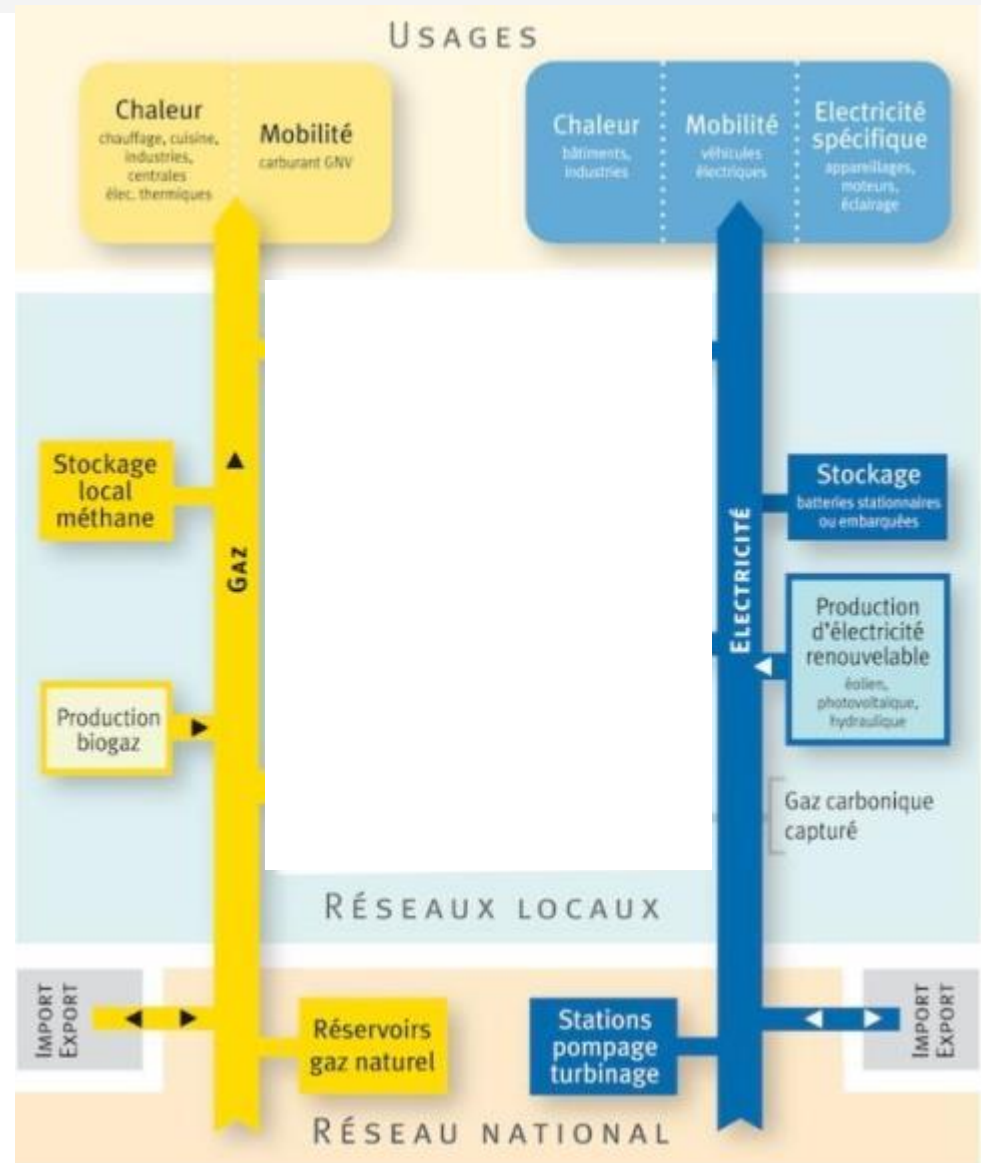
○ Aujourd'hui



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

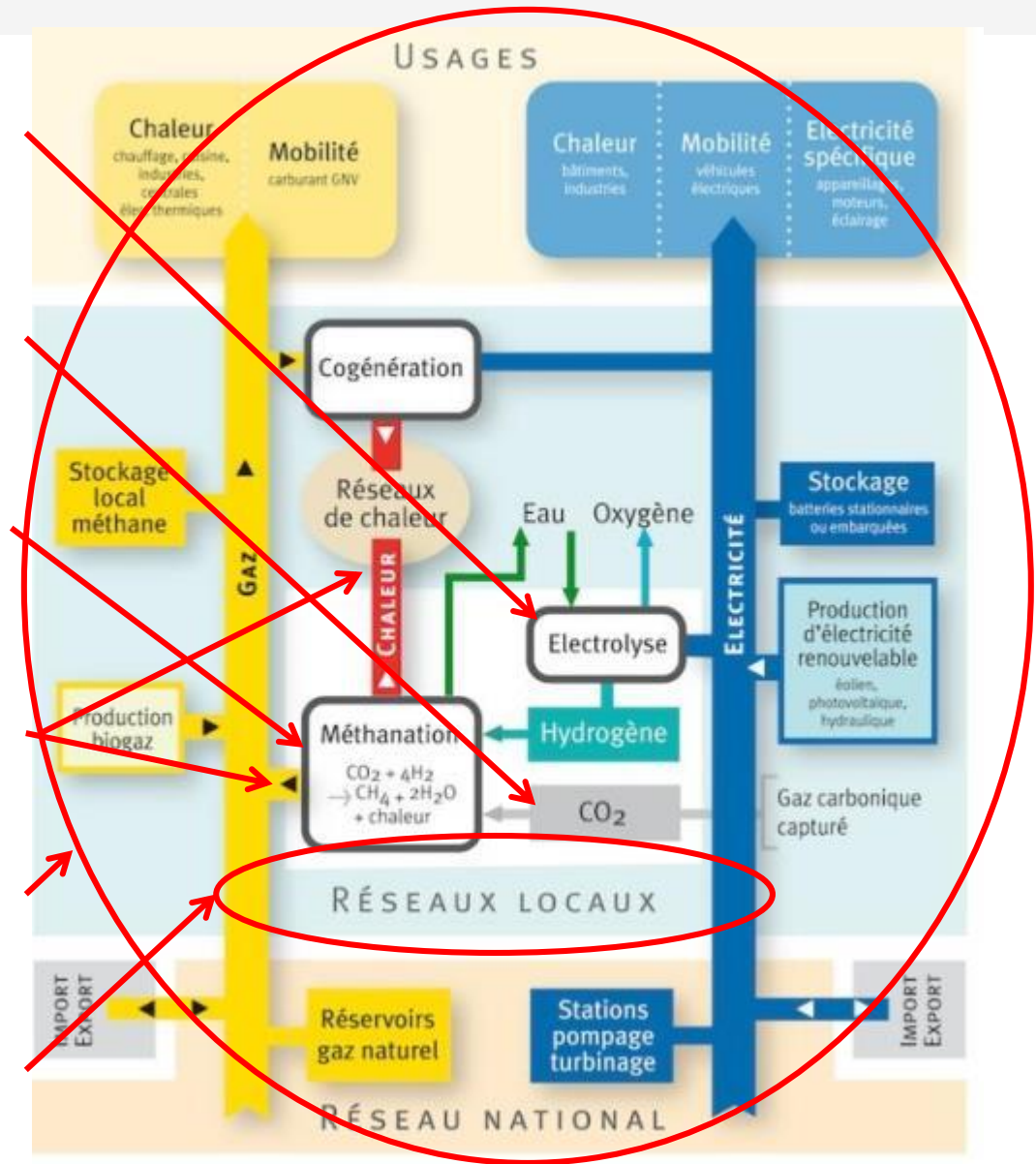
○ Demain

- Des usages diversifiés
- Des réseaux connectés



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

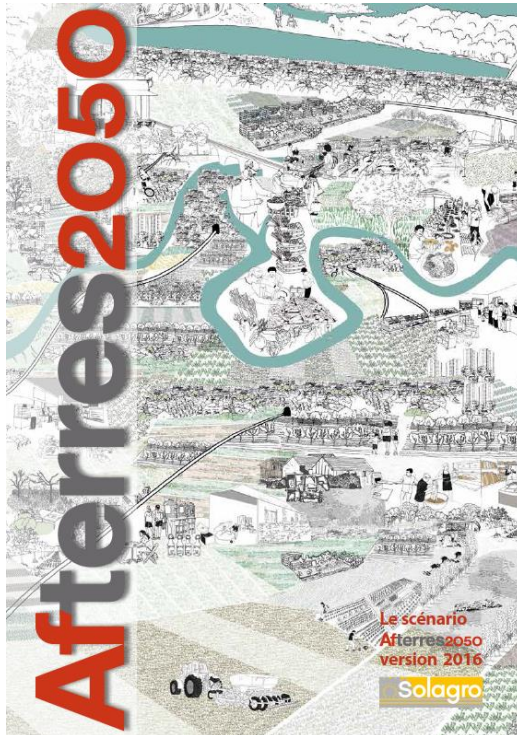
- Production d'hydrogène (H_2) grâce aux excédents d'électricité
- Capture du dioxyde de carbone (CO_2) : épuration du biogaz, industrie, ...
- Production de méthane (CH_4) par réaction de Sabatier (*méthanation*)
- Injection et stockage du CH_4 dans le réseau de gaz, production de chaleur
- **Interopérabilité**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





06.

**L'agriculture et la forêt
sont au cœur des solutions
énergétiques et climatiques**



- Hiérarchisation des usages :
 1. Alimentation
 2. Matériaux
 3. Production d'énergie
- Evolution de l'assiette alimentaire : plus de protéines végétales et moins d'origine animale

Rapport complet disponible
en ligne sur
<http://afterres2050.solagro.org>

➤ Evolutions des pratiques agricoles



CULTURES ASSOCIÉES

LUTTE BIOLOGIQUE

AGRO FORESTERIE

AUTONOMIE PROTÉIQUE

PÂTURAGE TOURNANT

COUVERTS VÉGÉTAUX

ROTATION INTÉGRANT DES LÉGUMINEUSES

TECHNIQUES CULTURALES SIMPLIFIÉES

SEMIS DIRECT SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE

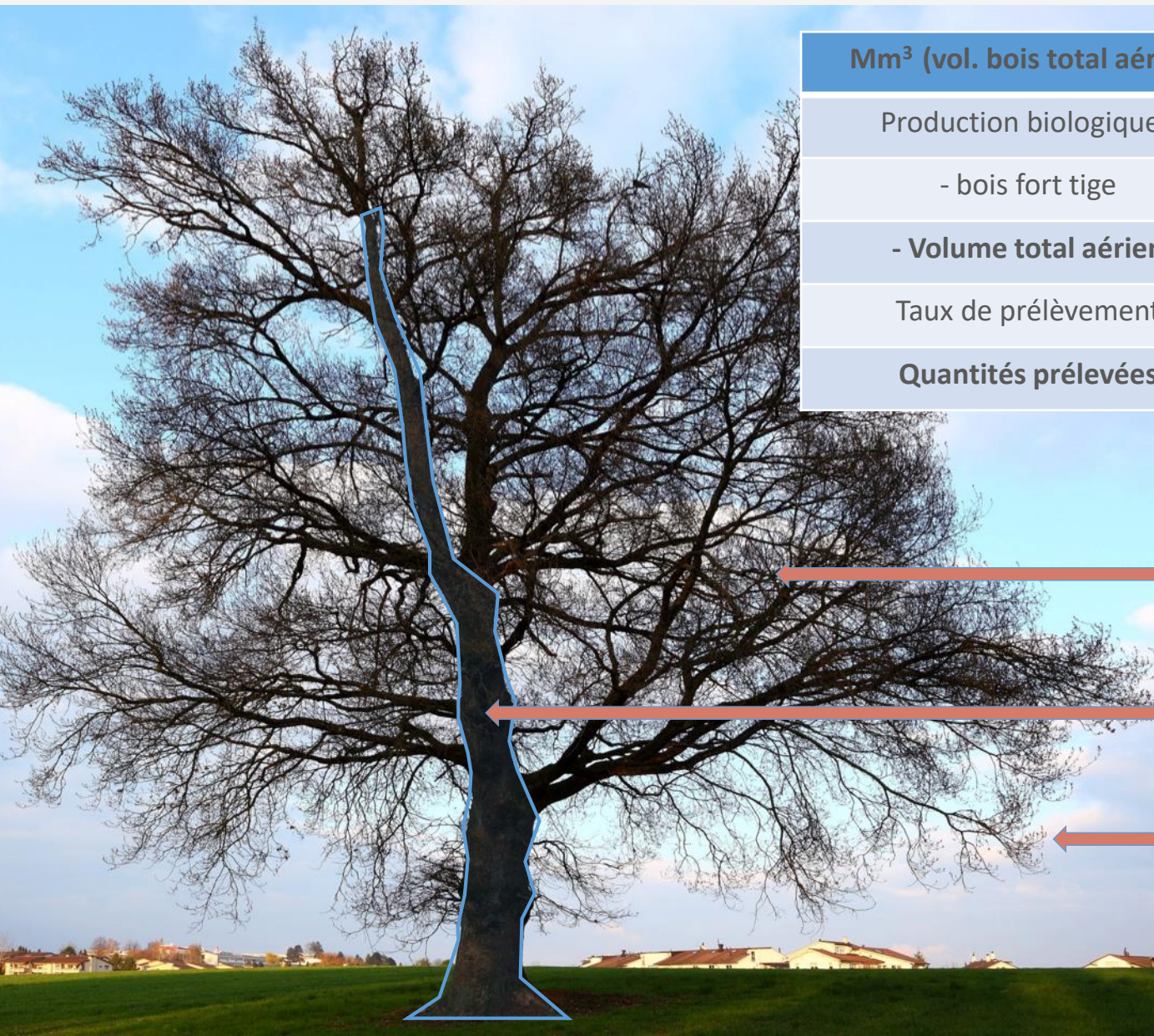
PRÉS-VERGER

SEMENCE PAYSANNE

osaé
orez l'agroécologie

Solagro

Une sylviculture « dynamique » mais non « intensive »



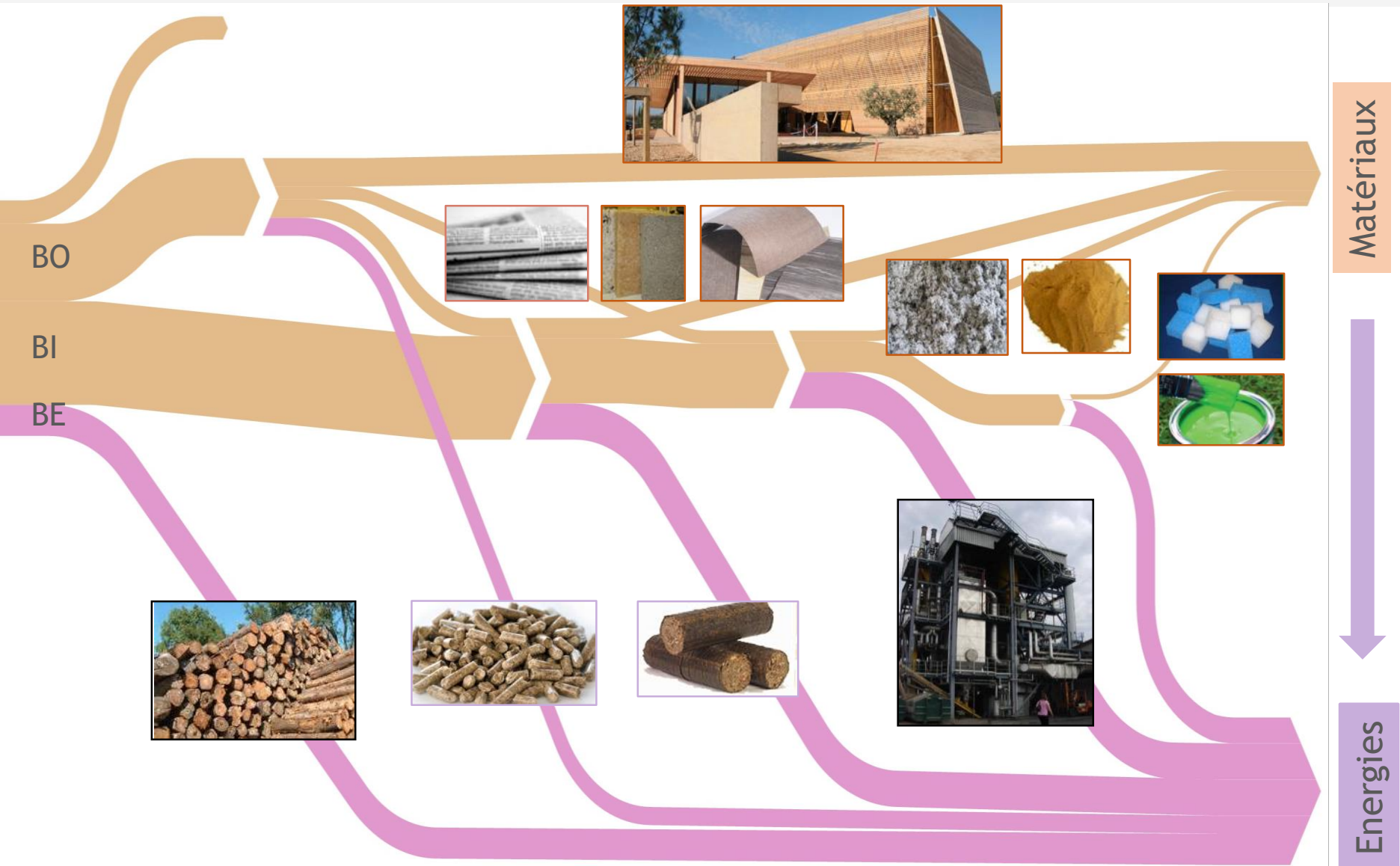
| Mm ³ (vol. bois total aérien) | 2010 | 2030 | 2050 |
|--|------------|------------|------------|
| Production biologique : | | | |
| - bois fort tige | 88 | 94 | 93 |
| - Volume total aérien | 132 | 141 | 140 |
| Taux de prélèvement | 46% | 58% | 65% |
| Quantités prélevées | 58 | 84 | 91 |

Bois fort branche

Bois fort tige

Menu bois

↘ Filière bois : nouveaux matériaux, nouvelles énergies



Matériaux



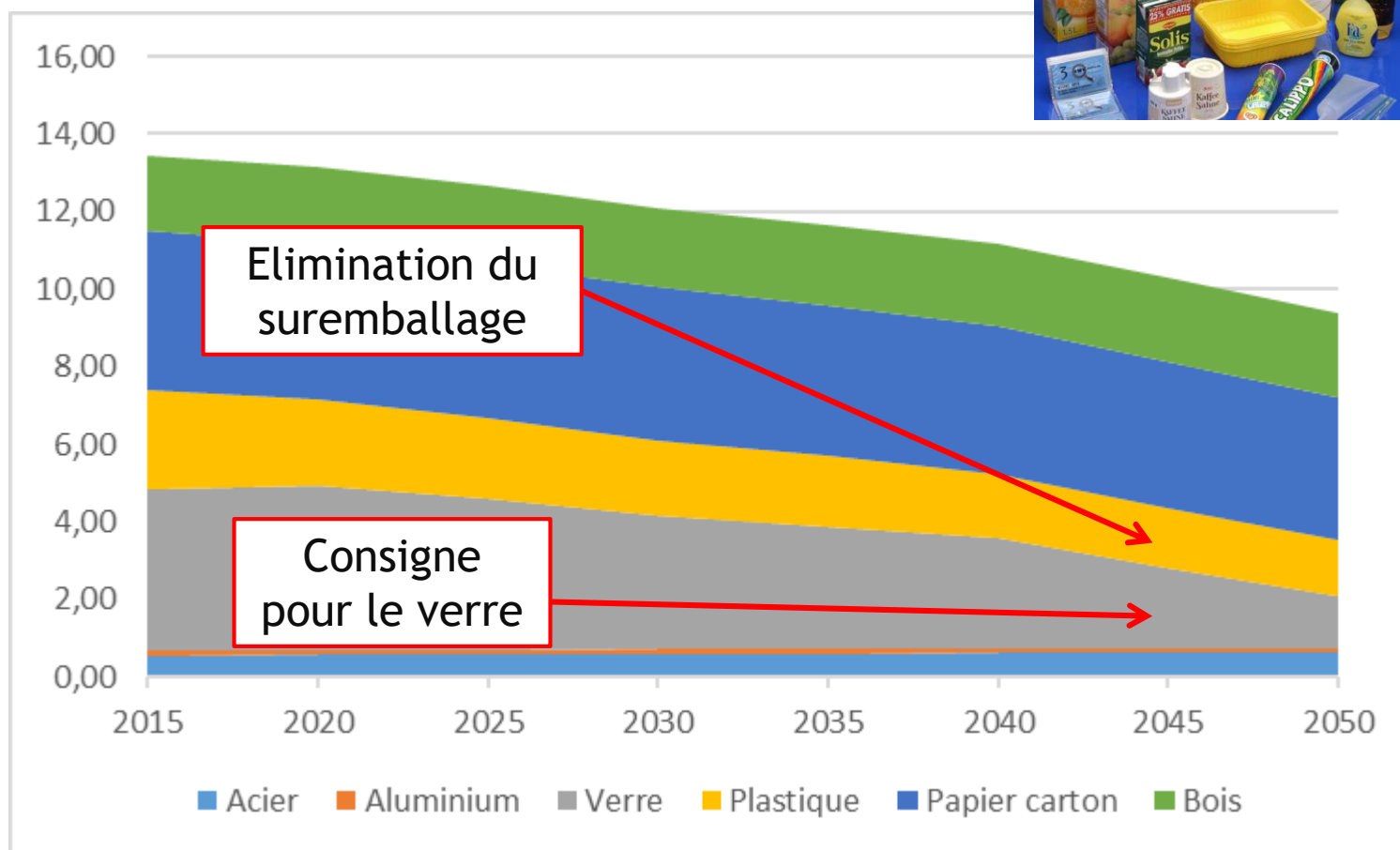
Energies



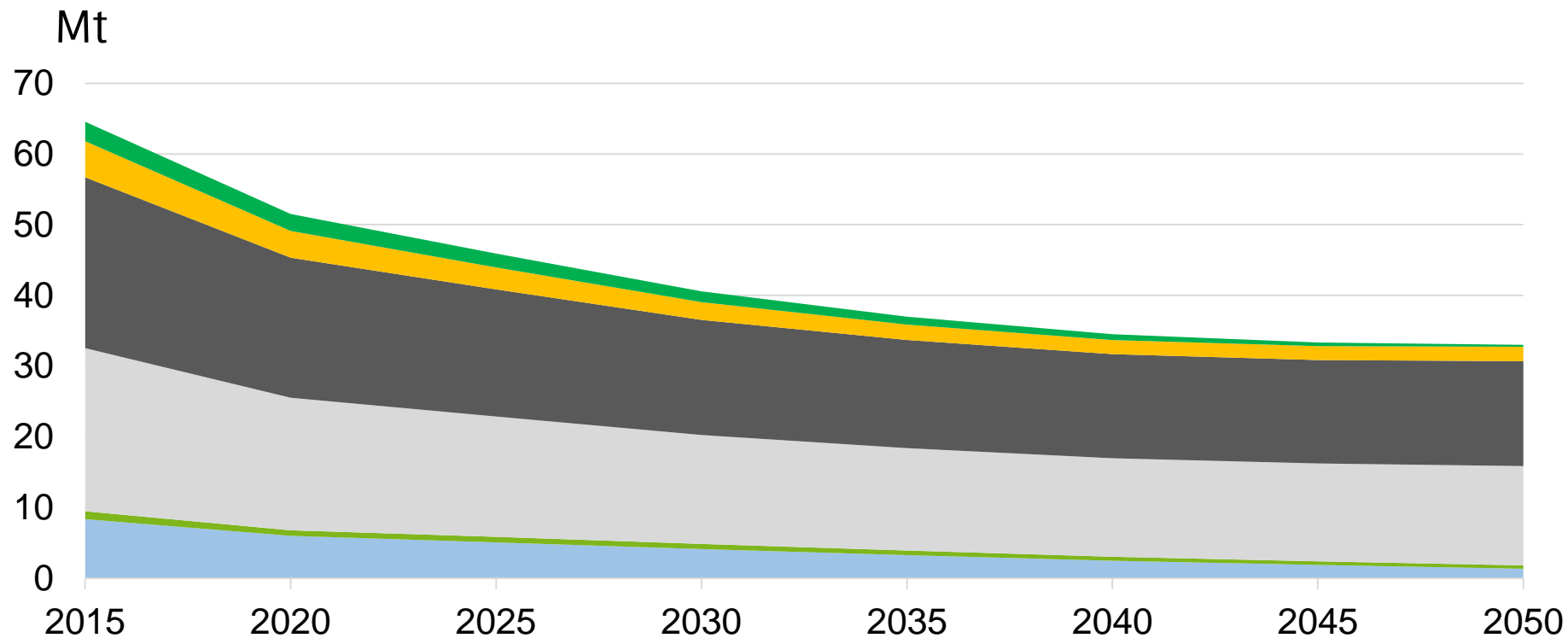
07.

**L'économie circulaire
est le moteur du
renouveau industriel**

Evolution des quantités en Mt



↘ - 50 % de matériaux utilisés



■ Acier primaire

■ Minéraux (pierre)

■ Céramique et terre cuite

■ Aluminium et autres métaux non ferreux

■ Plâtres, chaux et ciments

■ Verre primaire

Matériaux utilisés dans le scénario négaWatt

↳ Réduction des matériaux dans le bâtiment



- Diminution des surfaces neuves construites
- Hausse de la rénovation
- Substitution :
 - béton armé → ossature bois
 - PVC → bois
 - isolants chimiques
→ ouate de cellulose, laine de bois
- Bilan : comparatif 2050/2015
 - Métaux : - 61 %
 - Béton : - 71 %
 - Plastiques : - 77 %



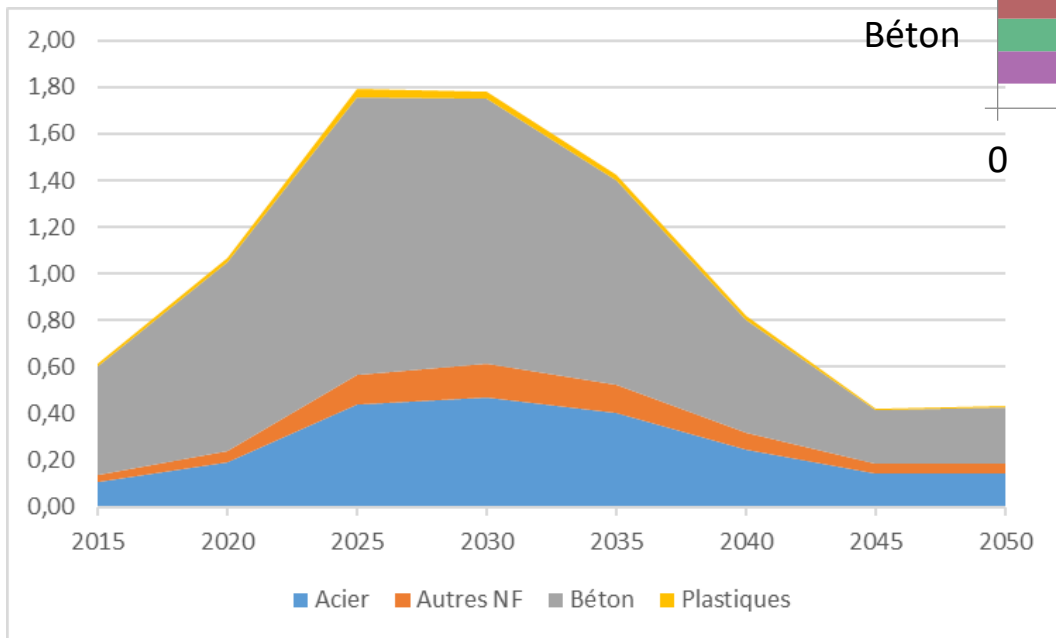
Crédit photo : Menuiserie Bishop (26)



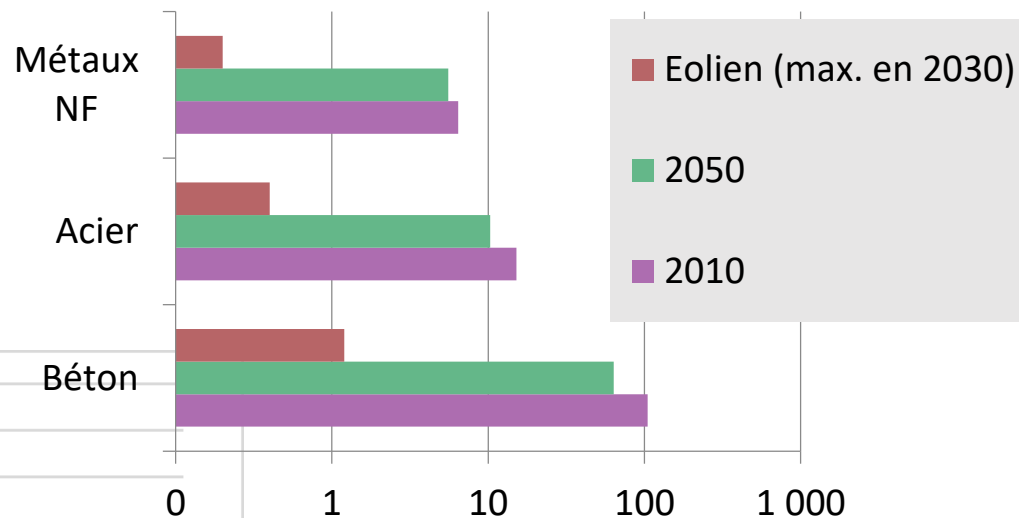
Impact du développement des renouvelables sur la consommation de matériaux



Exemple : quantité de matériaux pour l'éolien en Mt



Comparaison avec la consommation nationale en Mt (échelle logarithmique)



Consommation induite par éolien (1,2 Mt) = 3% des économies de béton dues à la sobriété (40 Mt)

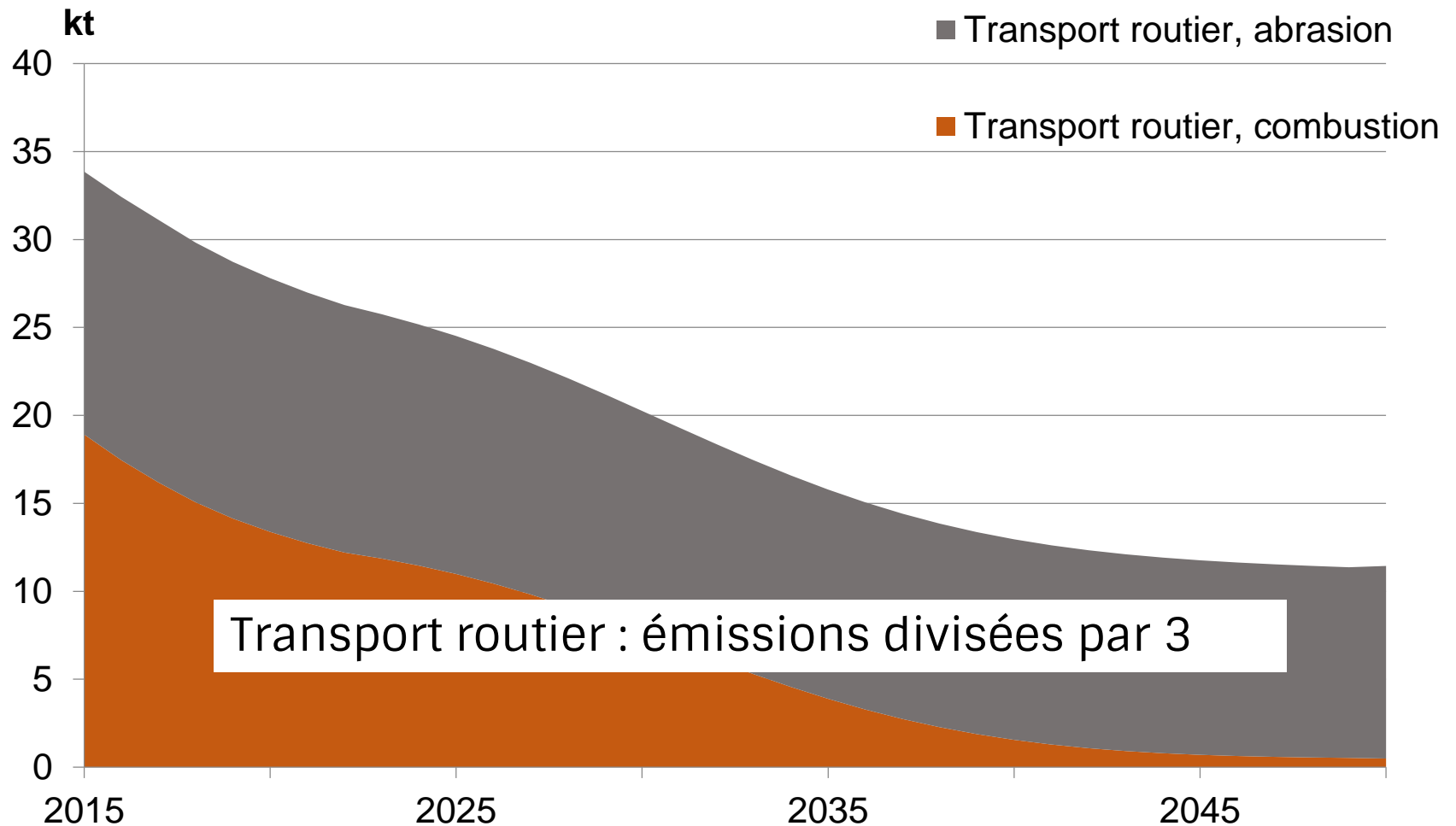
NOUVEAUTE 2017



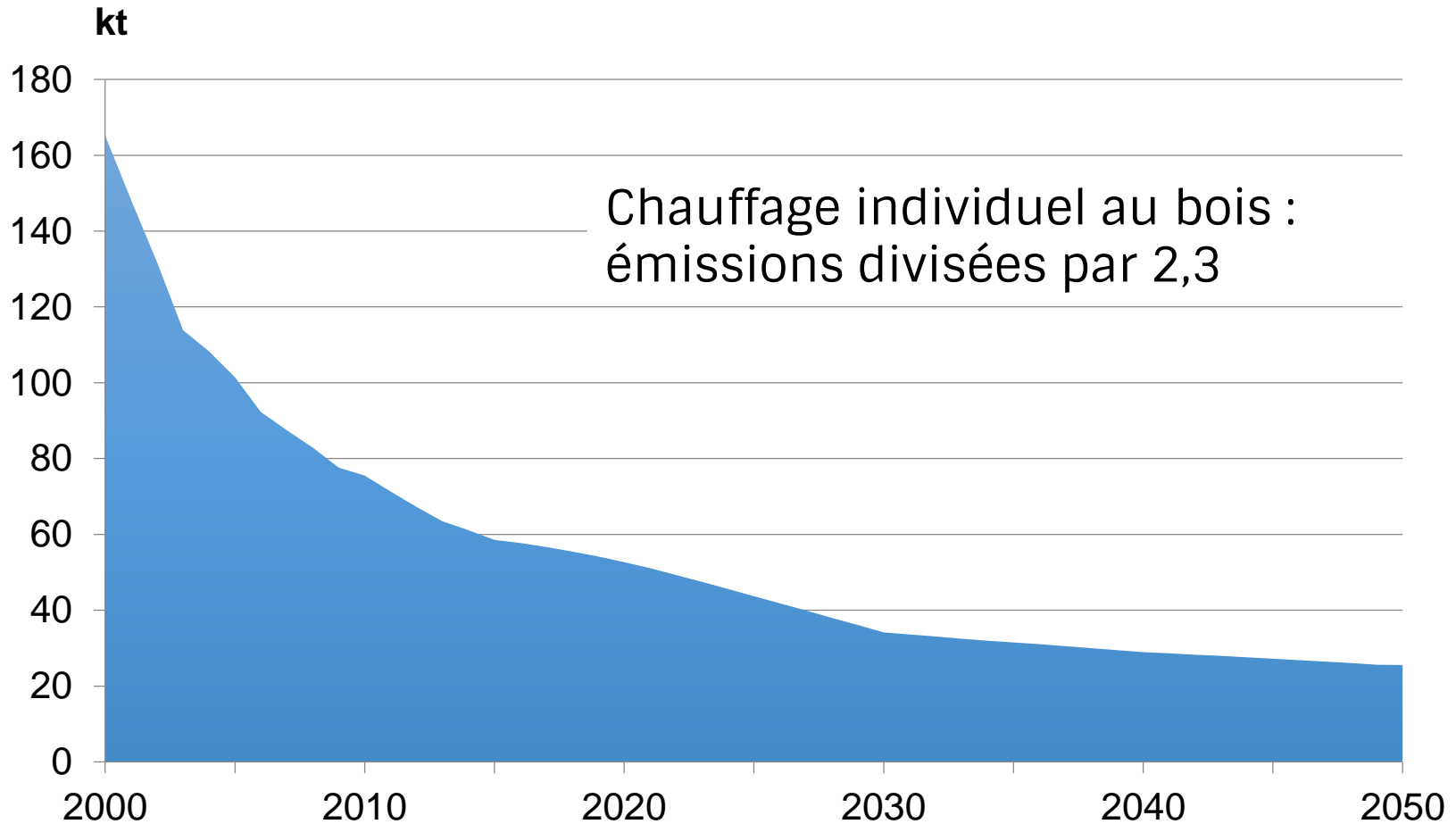
08.

**La transition énergétique
génère des dividendes
sanitaires et écologiques**

↳ Émissions de PM10 du secteur des transports



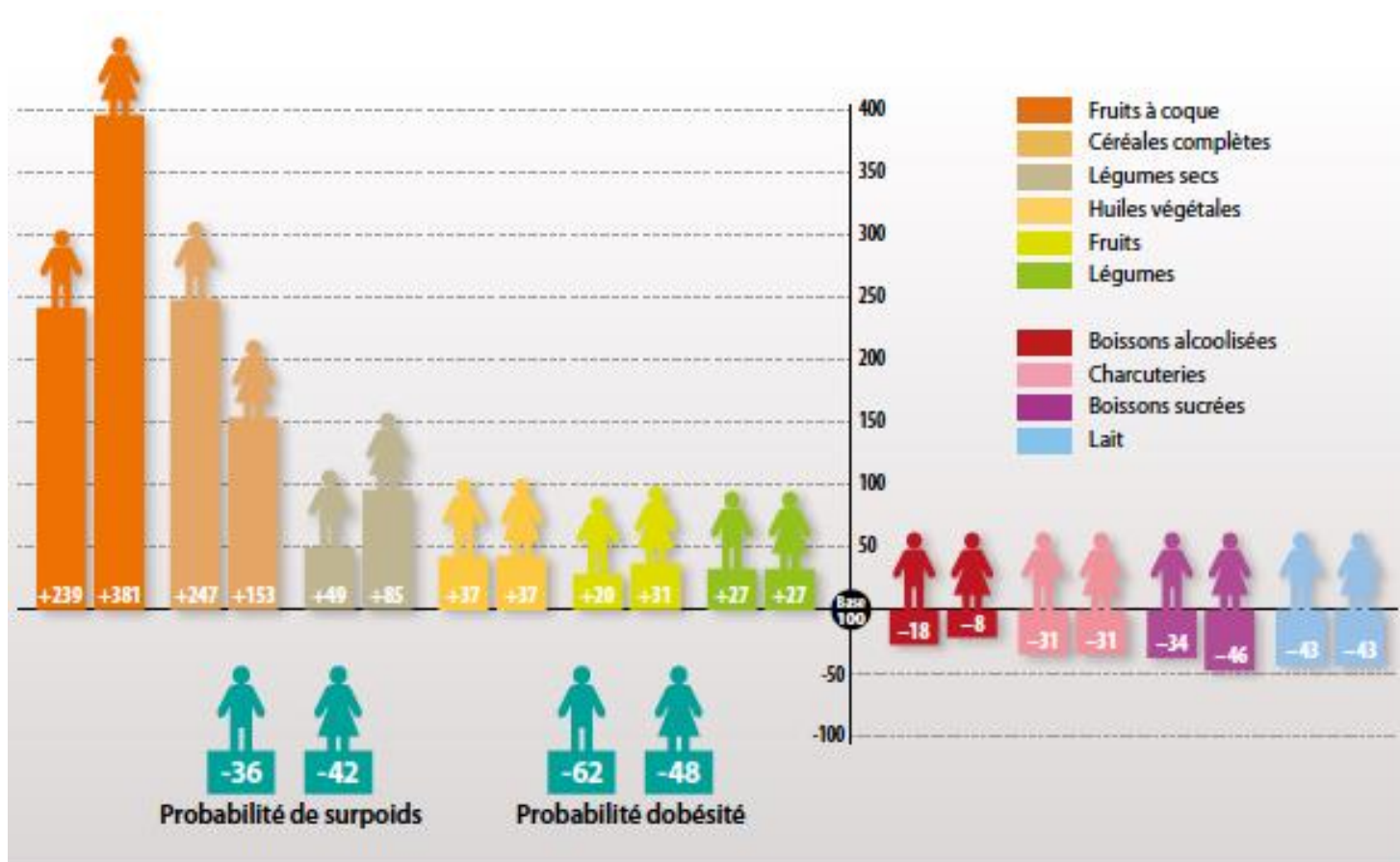
↘ Émissions de PM10 dues au chauffage au bois



Un régime alimentaire en phase avec les attentes de notre société



- Modification du régime alimentaire : plus de produits complets, céréales, fruits, légumes ; moins de produits raffinés, viande, lait
- Diminution des pertes et gaspillages



↘ 2 à 5 fois moins d'impact dans l'agriculture

2015

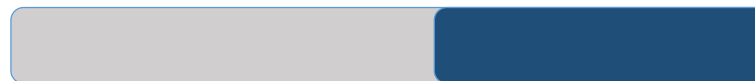


2050

Afterres2050

Méthane et N₂O

-56%



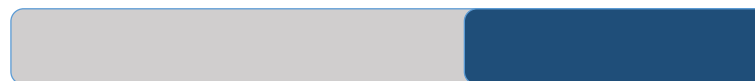
Consommation d'énergie

-40%



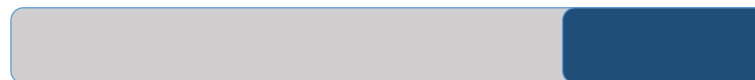
Consommation d'engrais azotés

-60%



Consommation de phytosanitaires

-70%



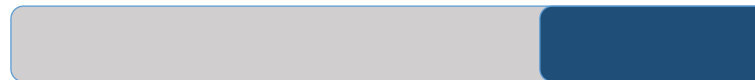
Irrigation en été

-80%



Émissions d'ammoniac

-70%



Artificialisation des terres

-50%





09.

**La transition crée des emplois
et mobilise de nouvelles
compétences**



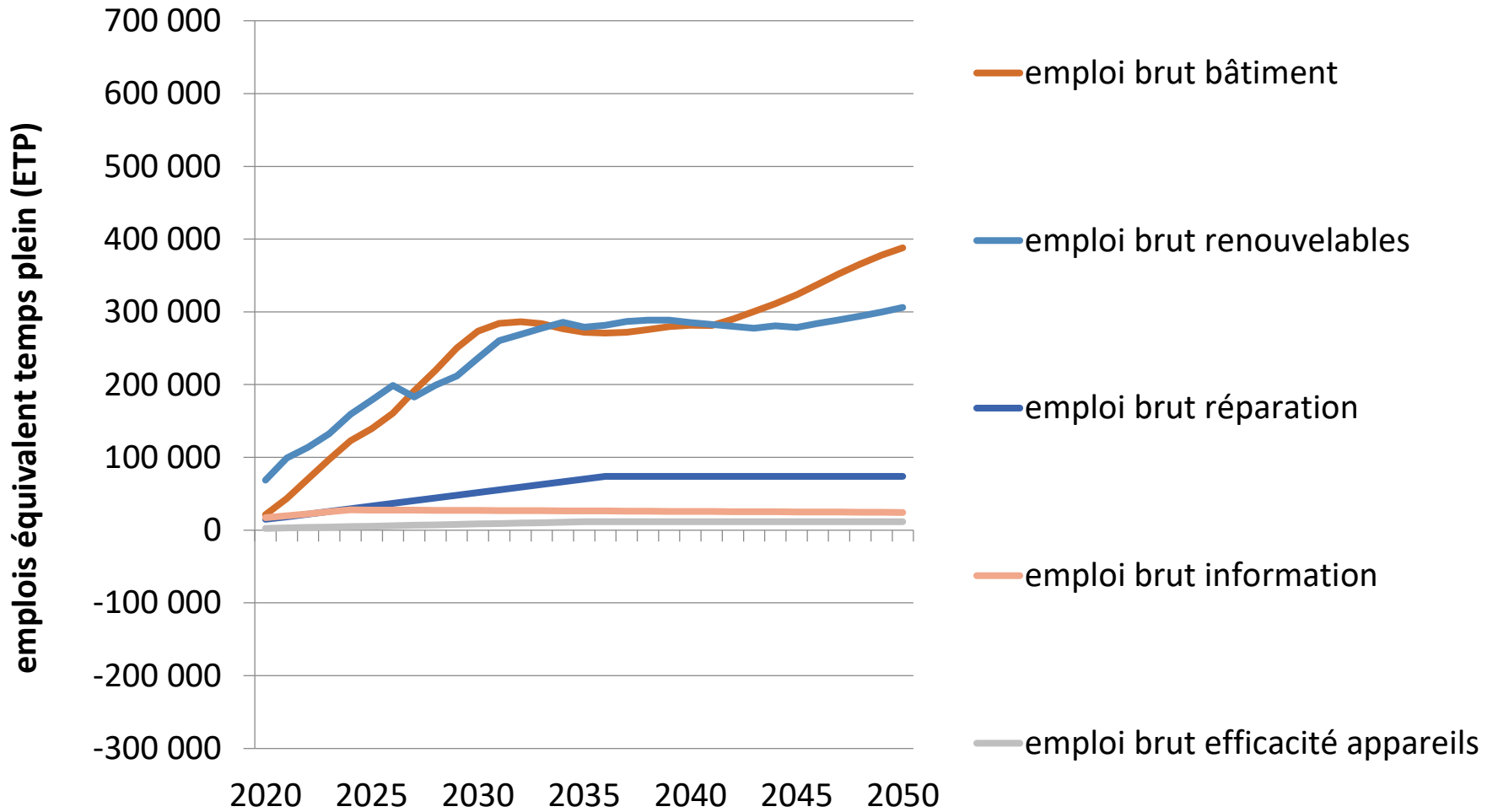
↳ Etude « contenu en emploi » - CNRS-CIRED



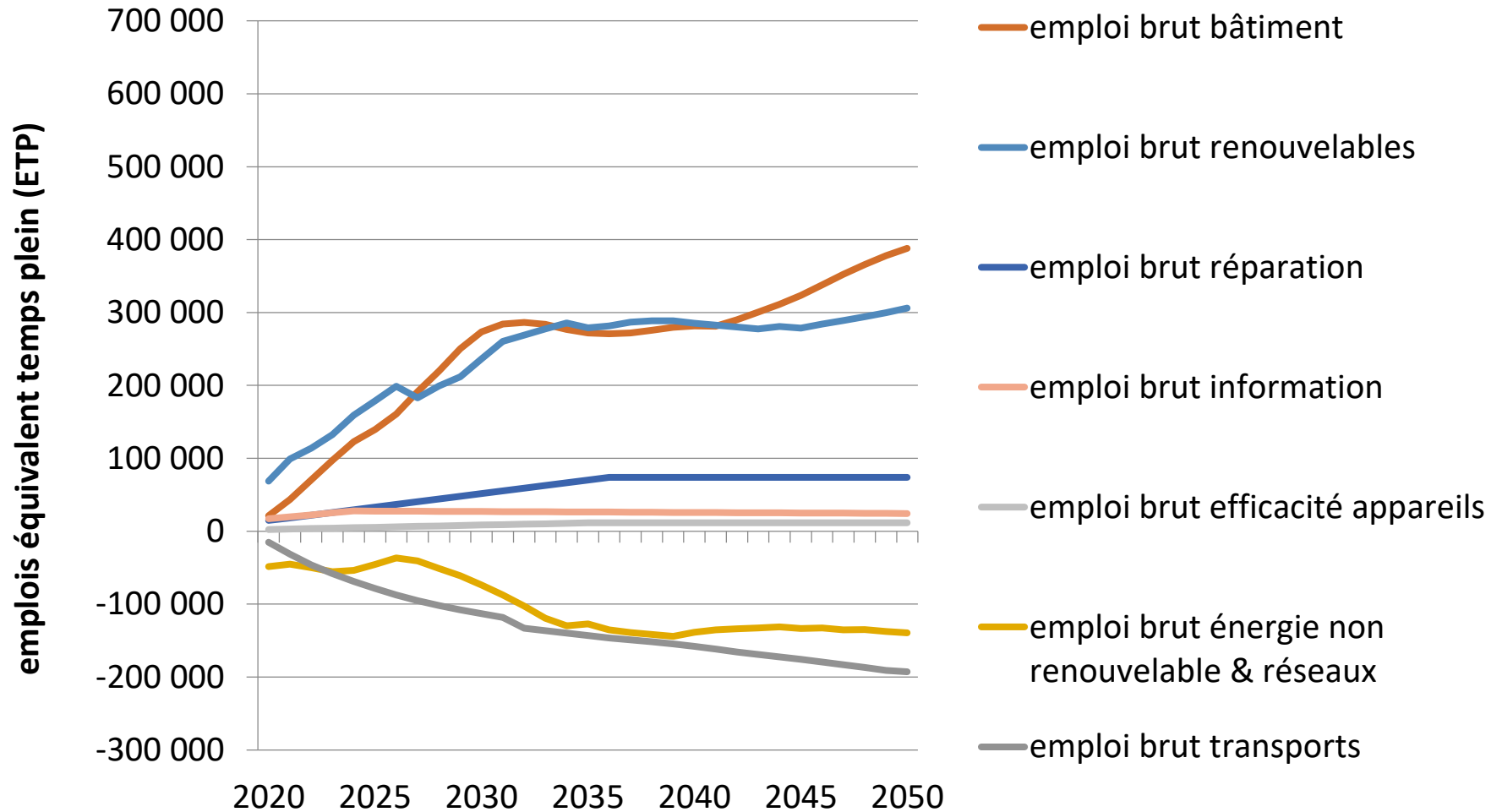
- Comparaison entre scénario négaWatt et scénario tendanciel
- Dans chaque branche d'activité étudiée, évaluation des dépenses (investissement + fonctionnement)
- Calcul des emplois détruits et des emplois créés
- Calcul de l'effet induit sur l'emploi



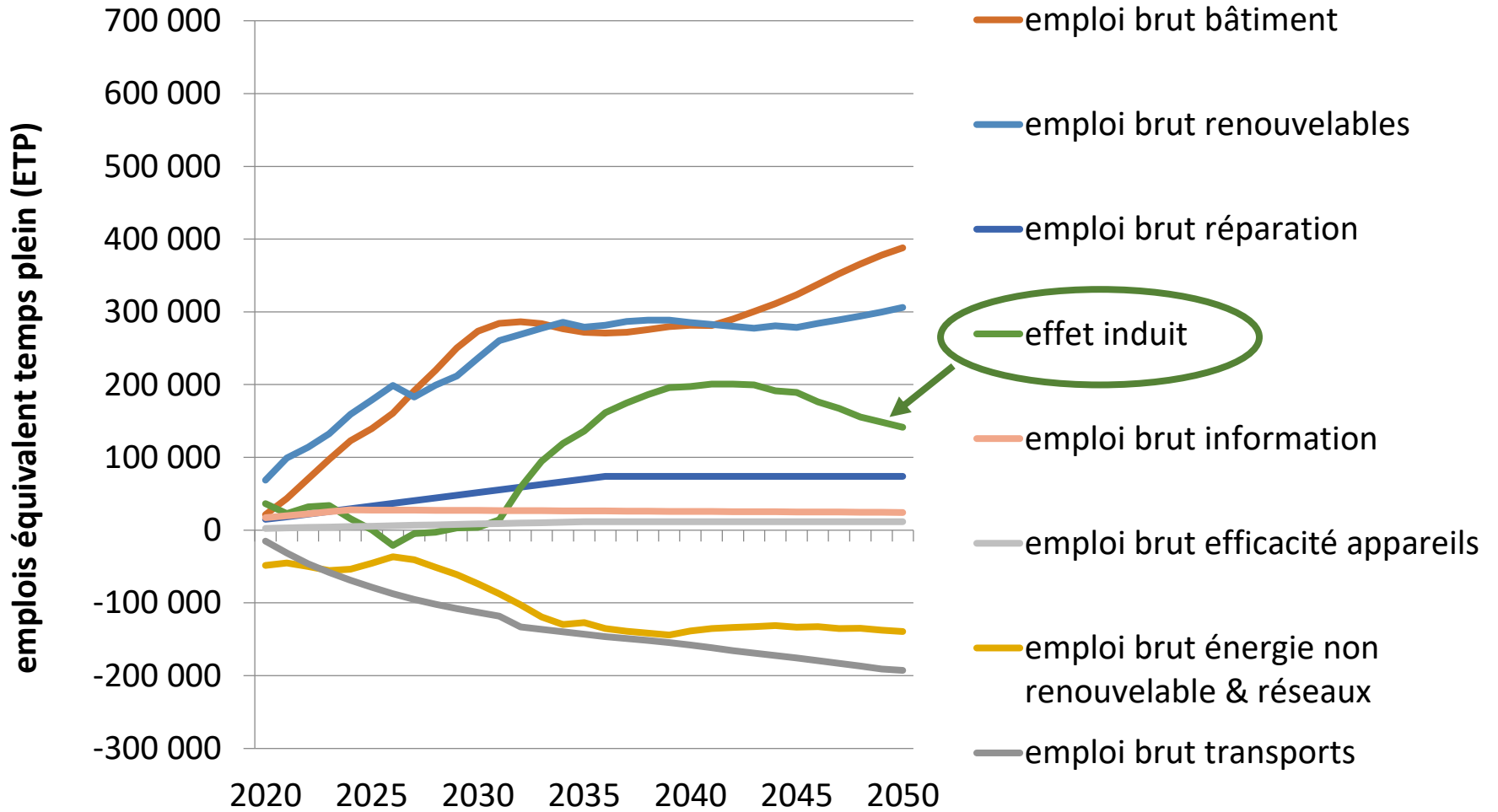
↙ Un effet net très positif sur l'emploi



Un effet net très positif sur l'emploi

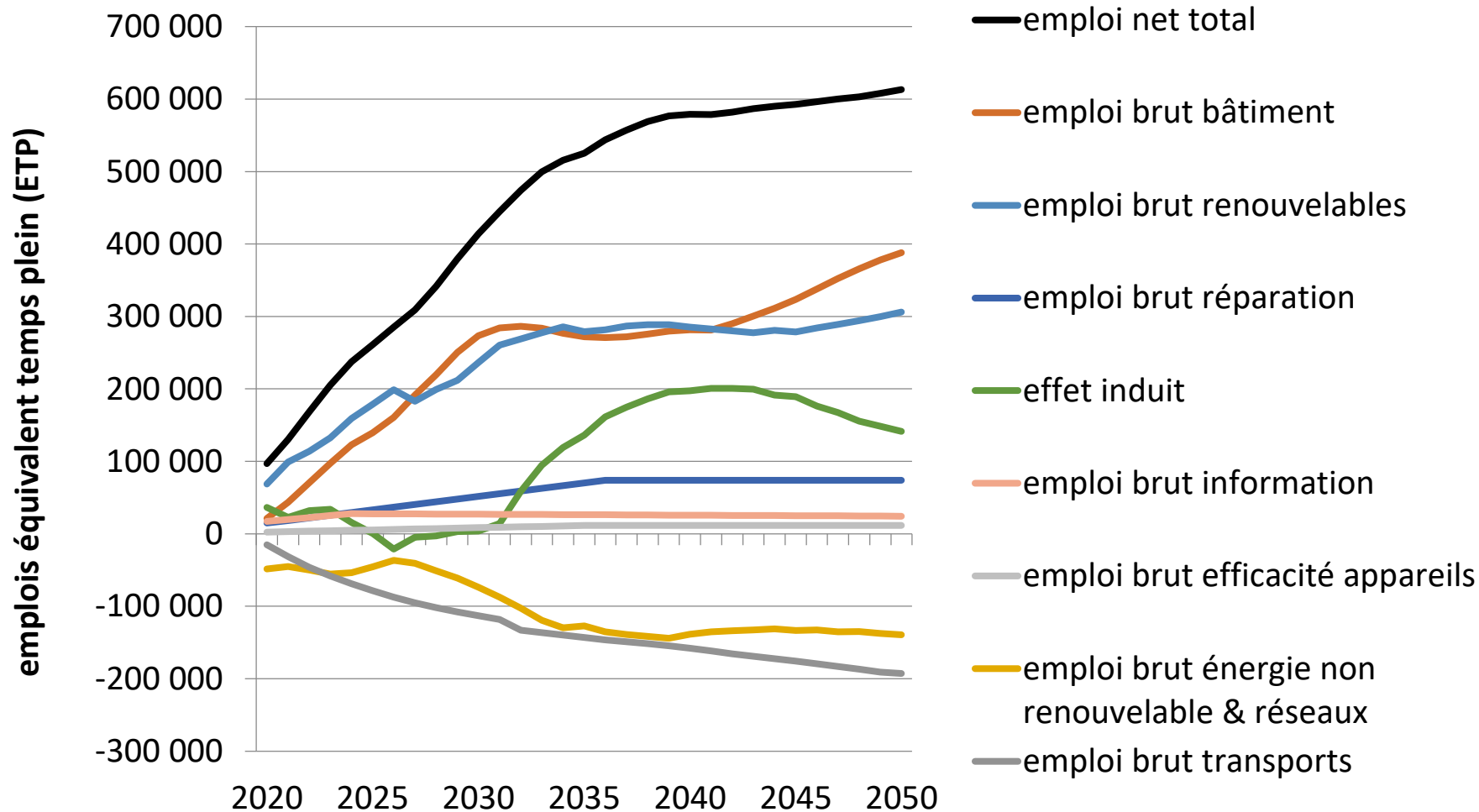


Un effet net très positif sur l'emploi



+ 100 000 ETP en 2020, 400 000 en 2030, 600 000 en 2050

Un effet net très positif sur l'emploi



+ 100 000 ETP en 2020, 400 000 en 2030, 600 000 en 2050



10.

**La France joue son rôle
à l'échelle mondiale,
solidaire et responsable**

○ Des remèdes connus

- Le chèque énergie = une solution à court terme
- À long terme, nécessité de rénover le parc de logements anciens

○ La transition énergétique au service de la lutte contre la précarité énergétique

- 90 % des ménages concernés peuvent sortir de la précarité grâce à la rénovation de l'ensemble du parc
- Des politiques publiques peuvent être mises en place pour cibler en priorité la rénovation des logements habités par les précaires

↘ Etre un pays en pointe à l'international



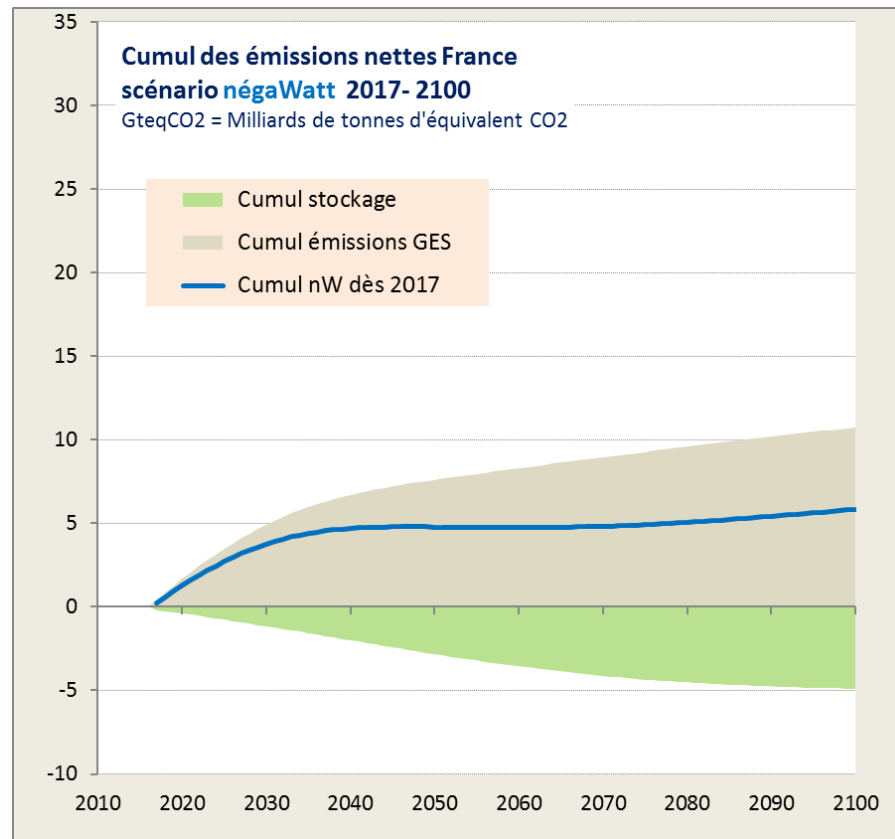
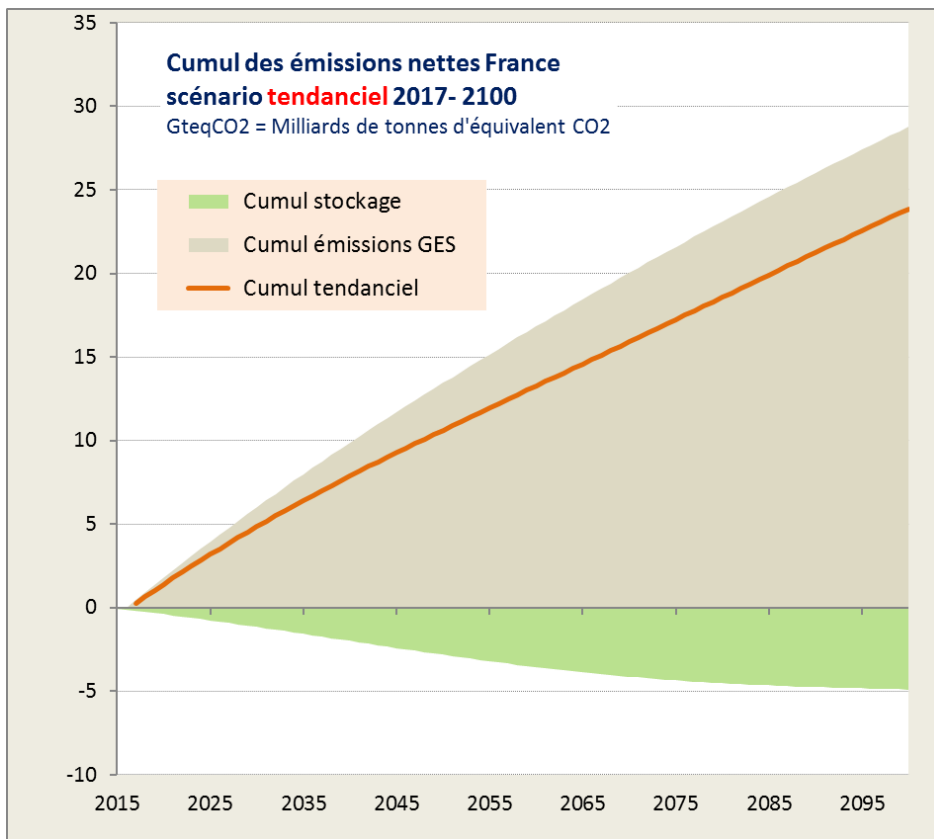
- Responsabilité
 - La France prend sa part de l'effort climatique
- Exemplarité
 - La France contribue à l'émergence d'un nouveau modèle
- Solidarité
 - Nos efforts permettent à des pays d'avoir une hausse de leur consommation là où c'est encore une nécessité



11.

**Il n'y a plus de temps à perdre.
Poursuivre et accélérer
les efforts engagés**

➤ Cumul des émissions nettes 2017- 2100 (GteqCO2)



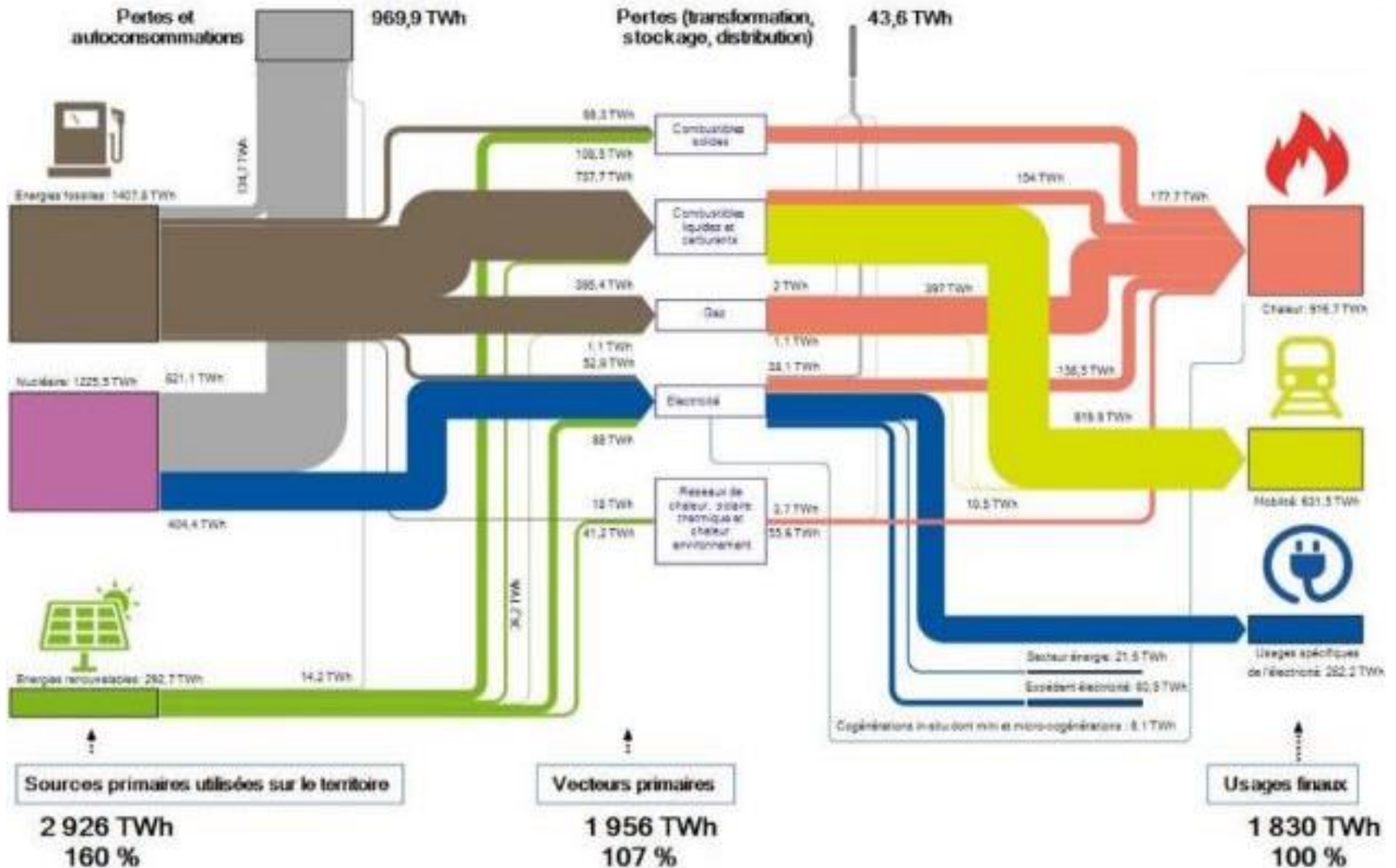


12.

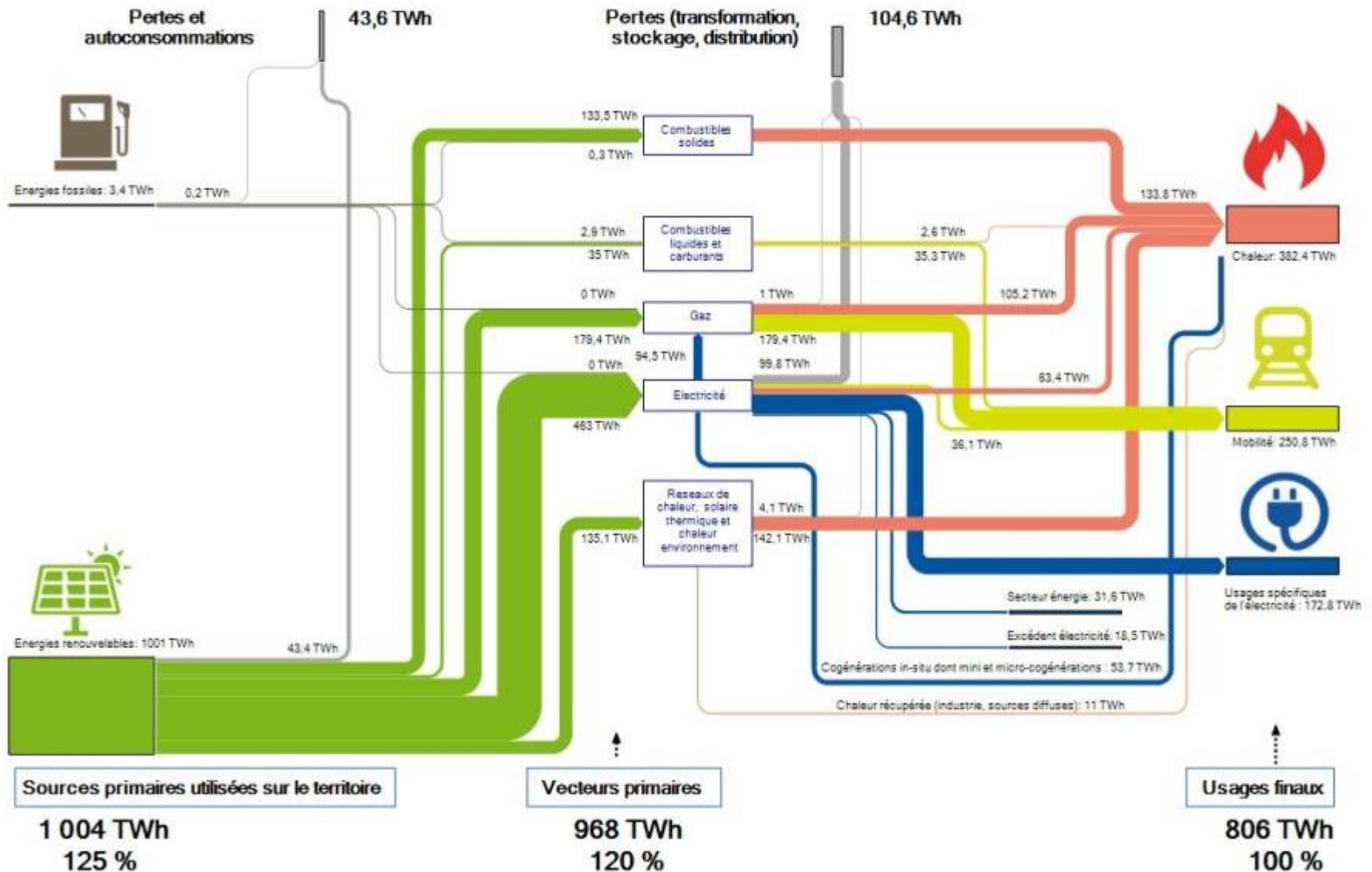
**Le scénario négaWatt
donne l'horizon
et le tempo pour l'action**



↳ Bilan énergétique : année de référence 2015



➤ Bilan énergétique : scénario négaWatt, année 2050



↘ Une nécessaire synergie entre tous les acteurs

Citoyens

- Logement : sobriété, efficacité, renouvelables (Espaces Info-Énergie)
- Achats, déplacements : consommation responsable

Collectivités

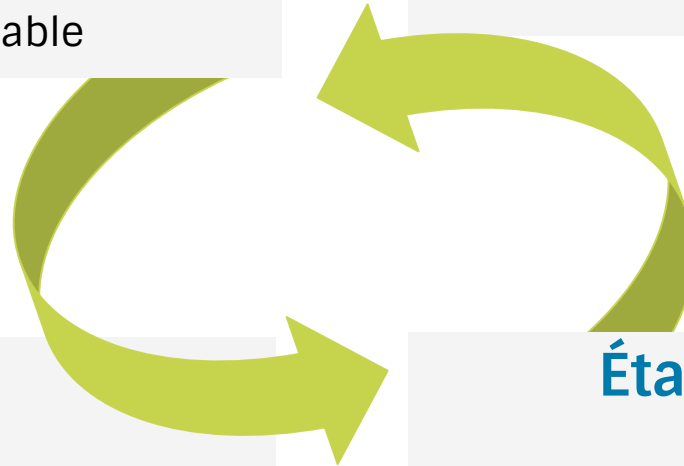
- Politiques locales
- Information/sensibilisation
- Commande publique

Entreprises

- Conception durable des produits
- Économie circulaire
- Innovation, recherche

État / Europe

- Réglementations FR et UE
- Fiscalité incitative
- Soutien à la R&D

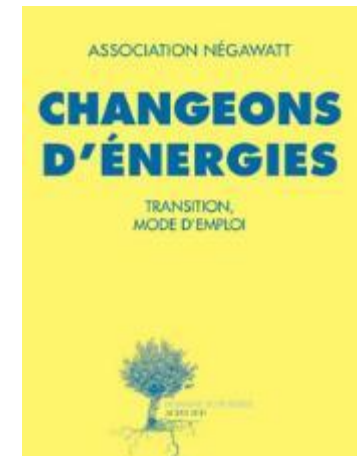


➤ Pour aller plus loin



- Rapport de synthèse du scénario
- Graphiques dynamiques
- Vidéos
- Revue de presse
- Recevoir nos actualités

- Deux ouvrages



www.negawatt.org

- Les réponses aux idées reçues sur la transition énergétique



www.decrypterlenergie.org

↳ Soutenir l'Association négaWatt



**Pour une véritable transition énergétique,
l'Association négaWatt a besoin de vous !**

- Comment nous soutenir ?
 - **Devenez acteur de la transition énergétique** : adoptez et relayez la démarche négaWatt dans votre entourage
 - **Découvrez et diffusez les publications de l'association**
 - **Adhérez, faites un don ou... les deux !**

→ Adhésion et don sur negawatt.org

- Le soutien des personnes morales (mécénat) est aussi possible : nous contacter.

↘ Merci de votre attention !



Rendre possible ce qui est souhaitable ...

@nWassociation



Décrypter
l'énergie

www.negawatt.org

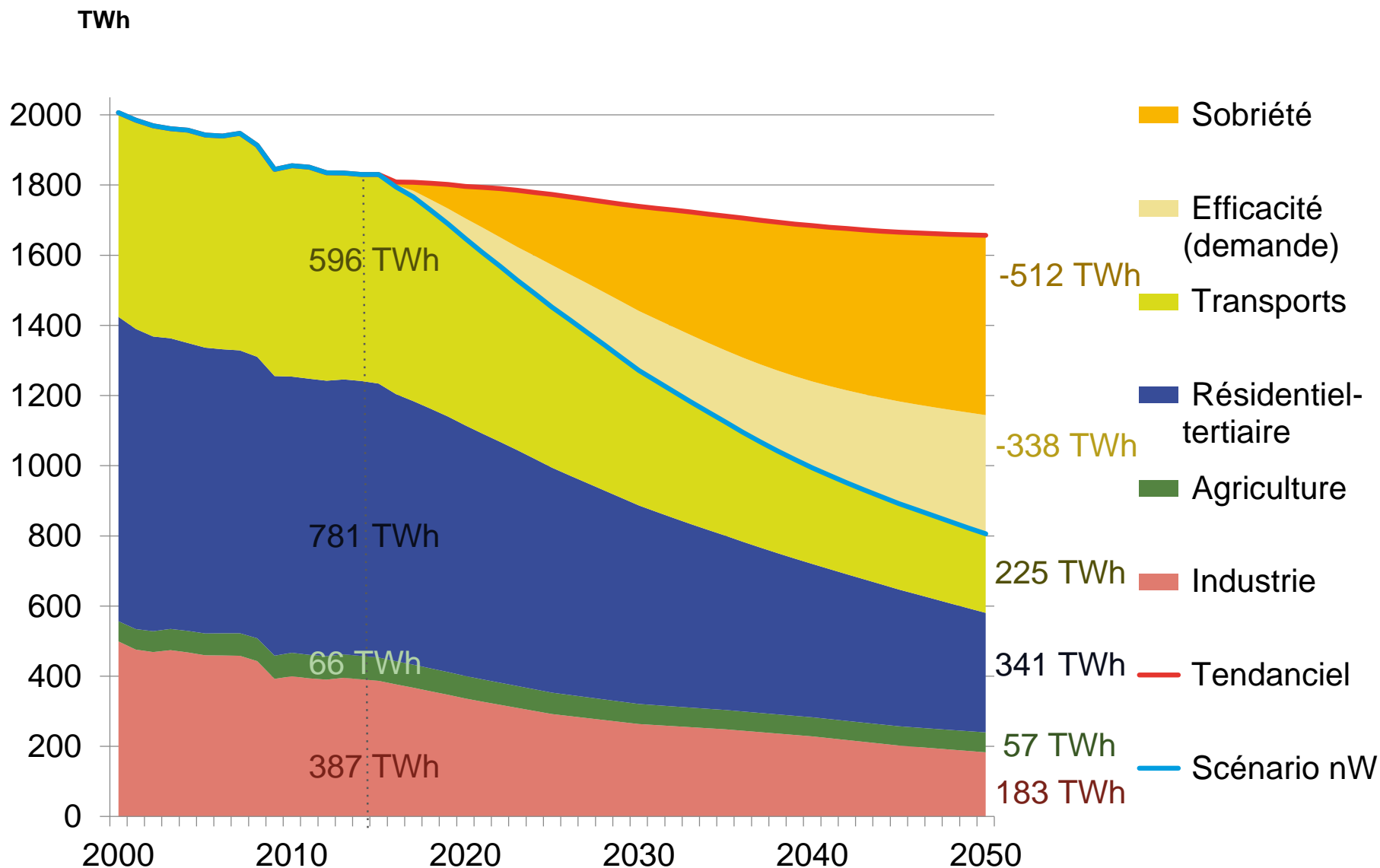
www.decrypterlenergie.org



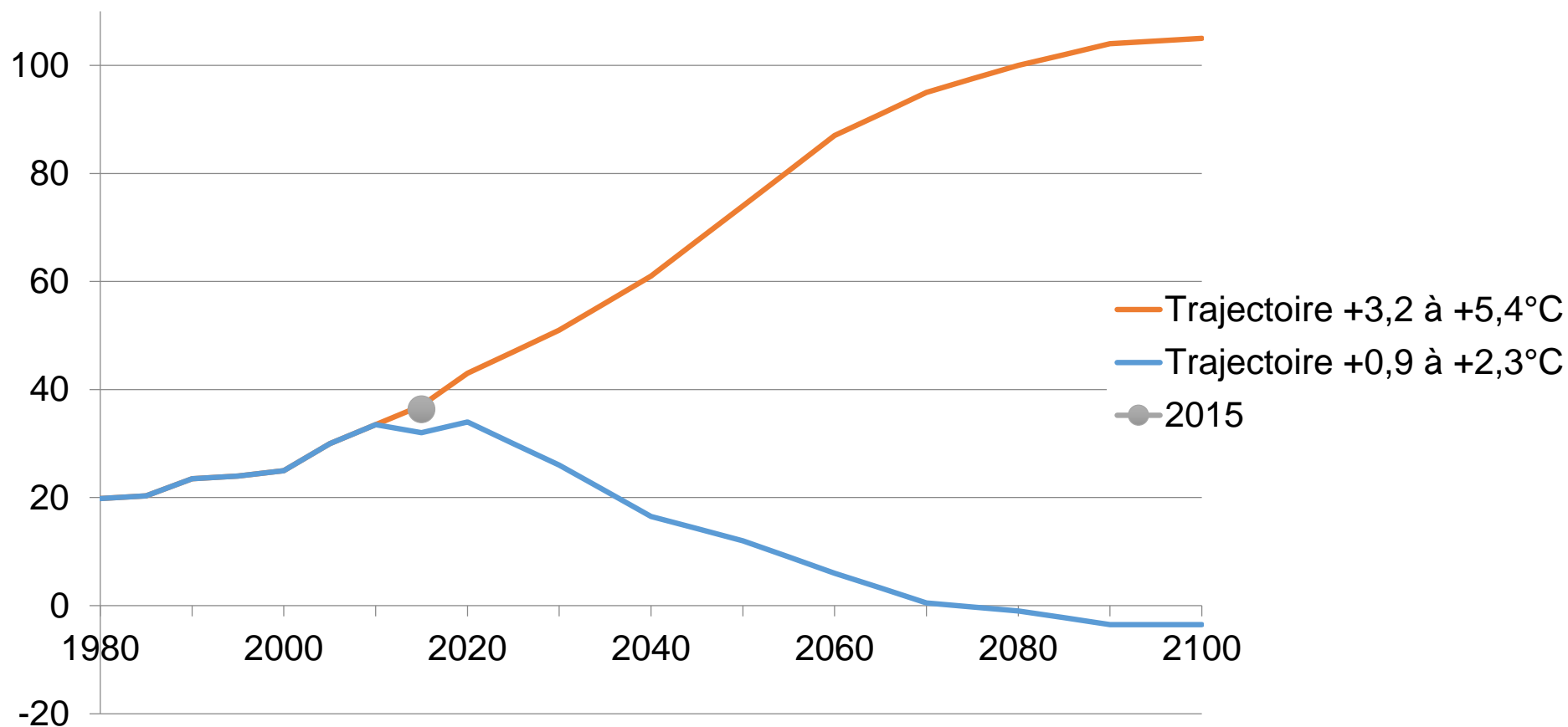
Annexes



↘ Evolution de la consommation énergétique finale



Mds t CO₂ / an

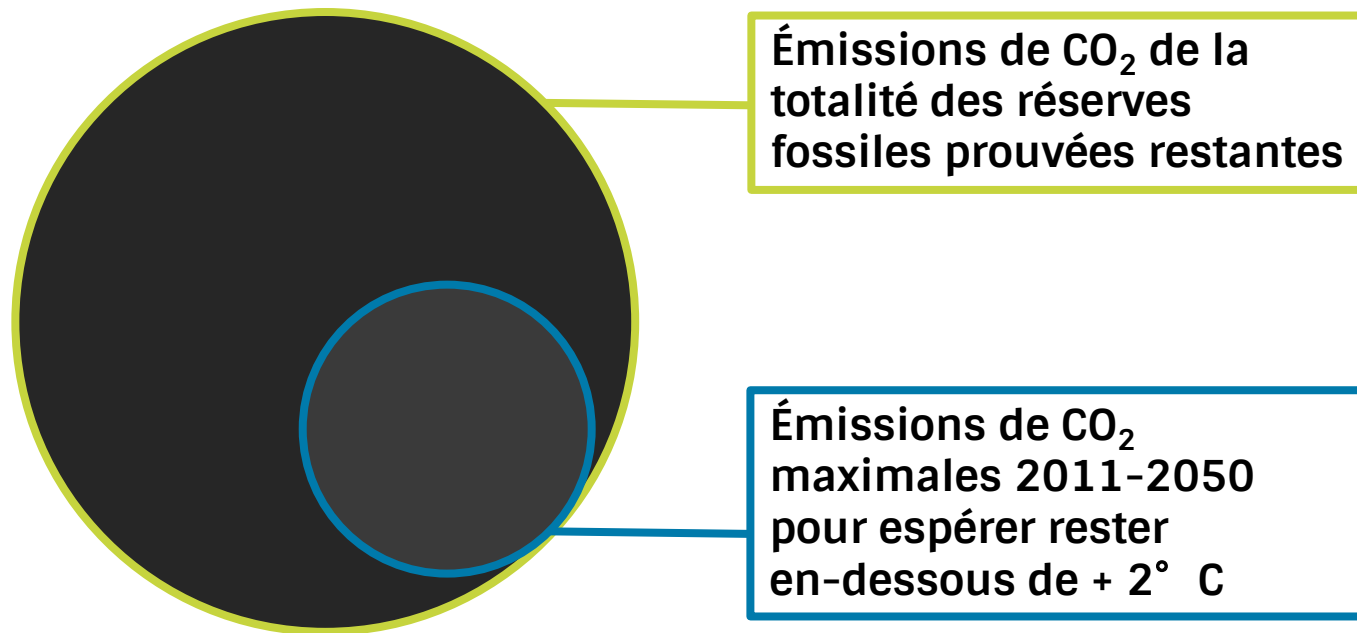


Scénarios du GIEC

↘ Fin des fossiles et dérèglement climatique

- Pour rester en dessous des 2° C de réchauffement

› Laisser 80 % des ressources fossiles dans le sol.

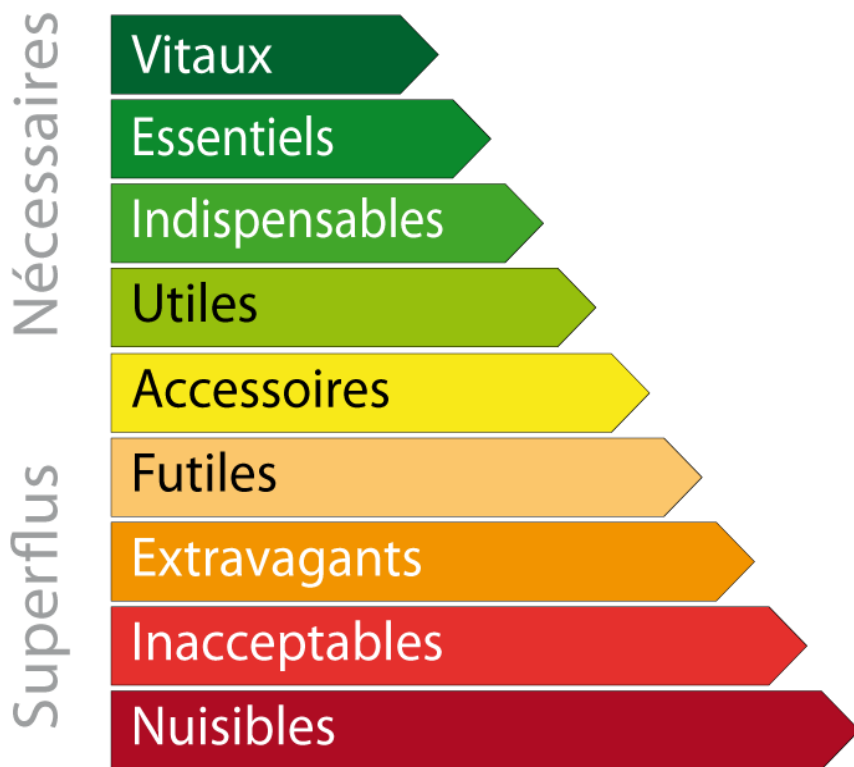


Source : CarbonTracker, 2011

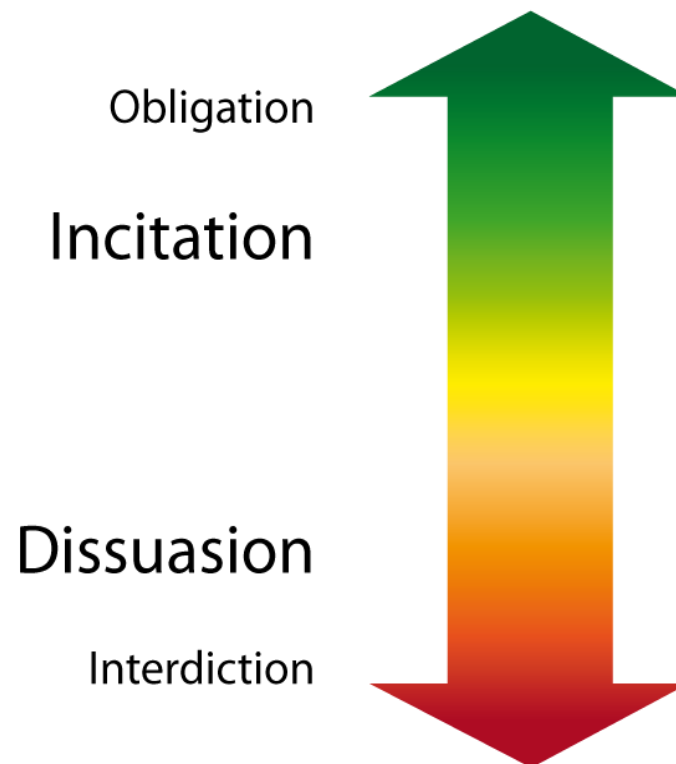
Un nouveau regard sur nos besoins



BESOINS



RÉGULATIONS



↳ Sobriété ou ébriété énergétique ?



1

Sobriété dimensionnelle

Taille, juste dimensionnement

2

Sobriété d'usage

Niveau et durée d'utilisation et d'exploitation

3

Sobriété coopérative

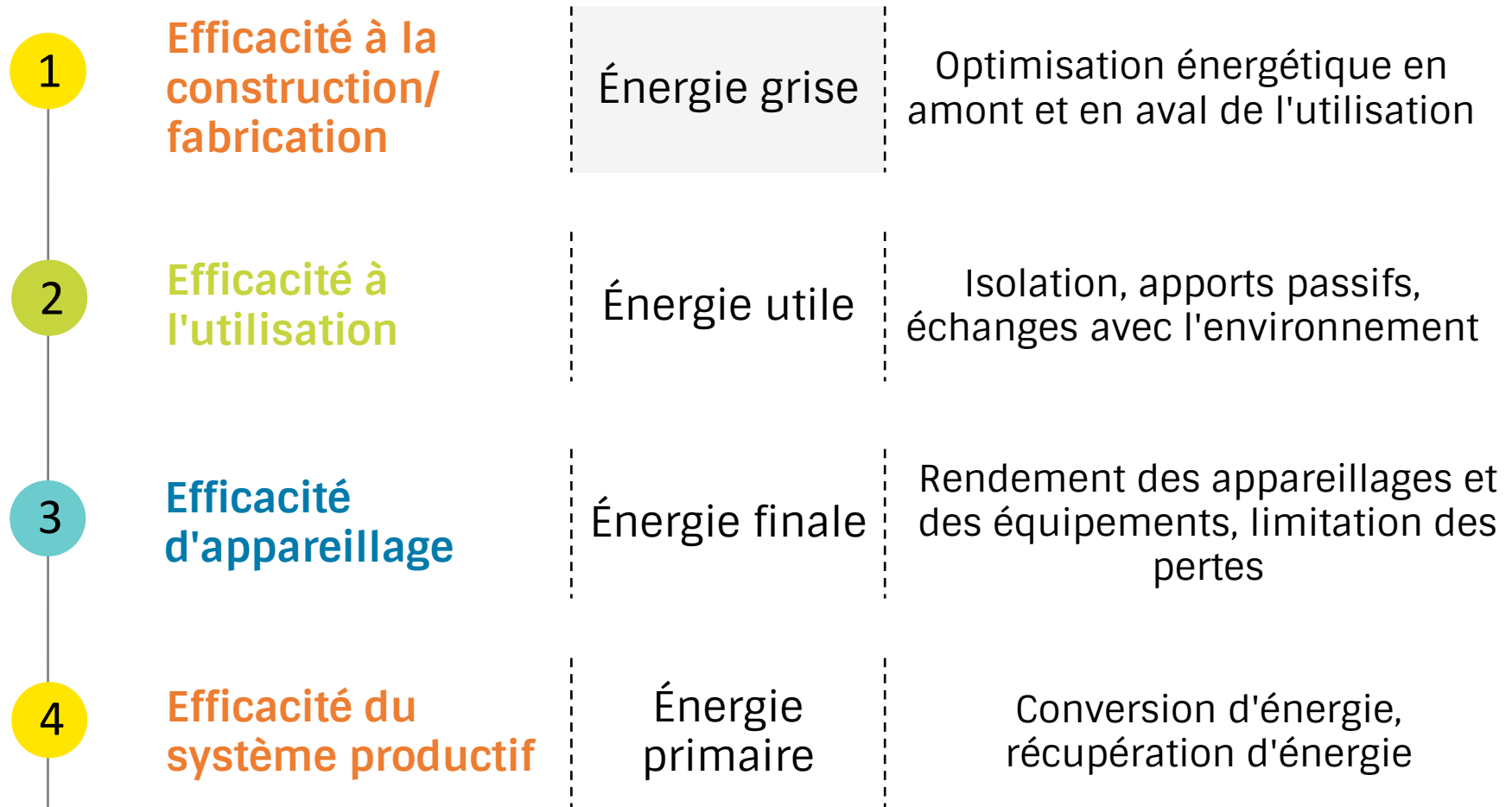
Organisation collective du territoire et de l'urbanisme, mutualisation



Exemples :

- Habitat collectif
- Transports en commun

↘ Les quatre efficacités



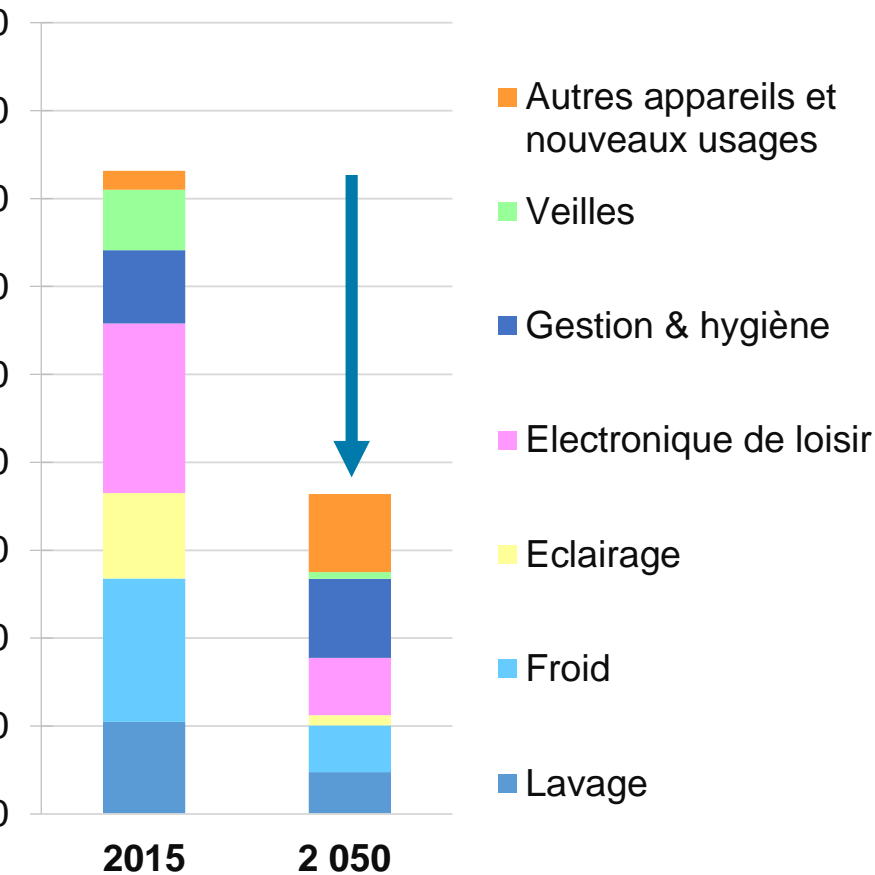
- Exemple : développement de la cogénération (utilisation combinée de l'électricité et de la chaleur)

Une division par 2 des consommations d'électricité



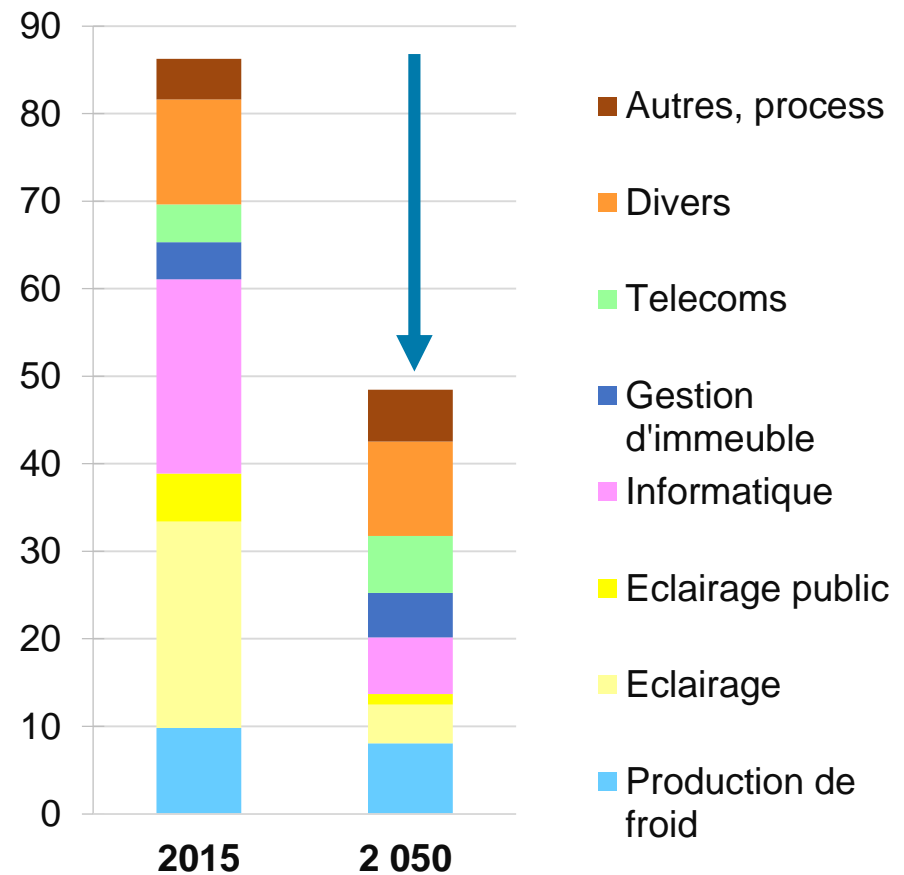
Résidentiel

TWh



Tertiaire

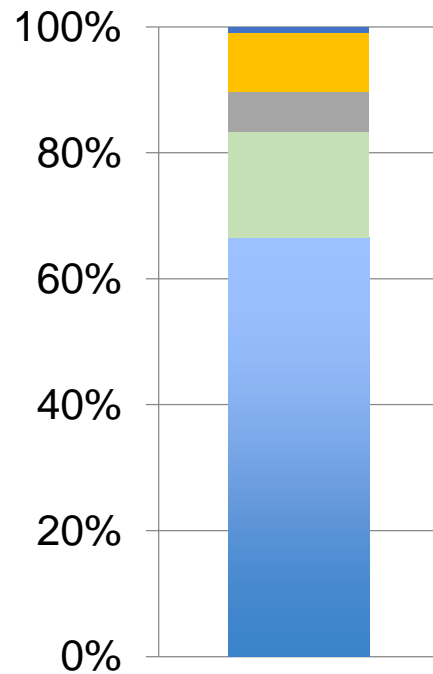
TWh



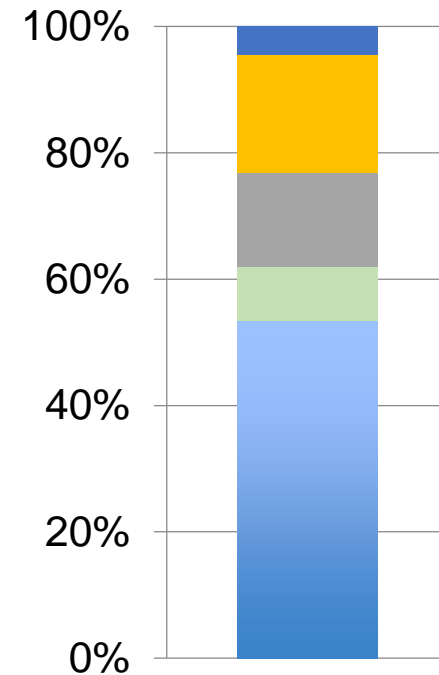
↘ Mobilité des personnes : principales hypothèses



2015 - 17 200 km / hab / an



2050 - 14 600 km / hab / an



■ Voiture ■ Avion ■ TC - route ■ TC - fer ■ Vélo + marche

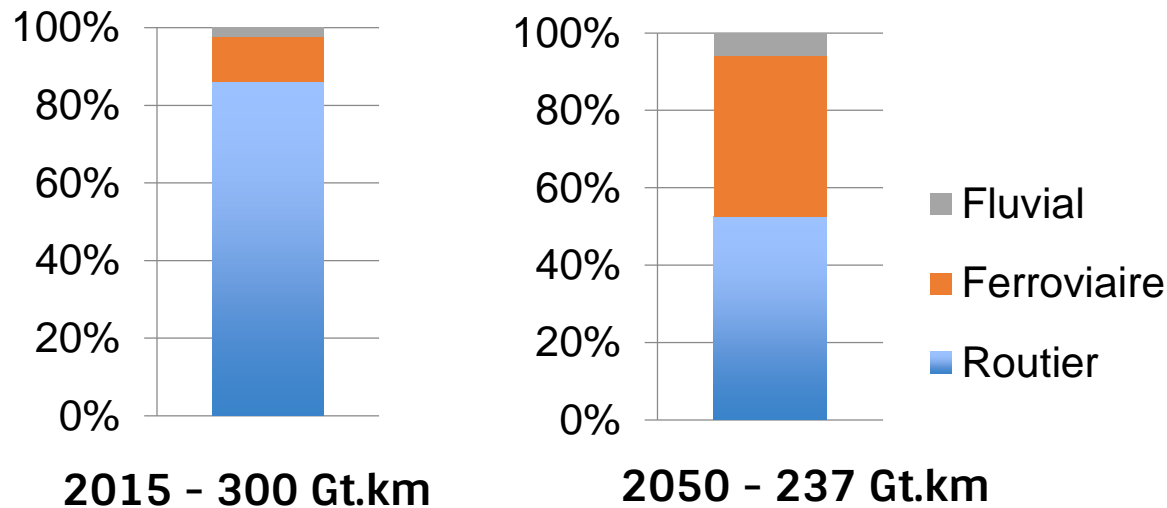


Transport de marchandises : principales hypothèses



○ Sobriété

- Réduction des tonnages transportés
- Report modal vers le ferroviaire et le fluvial



○ Efficacité énergétique

- Consommation moyenne du parc de PL : -43 % d'ici 2050

○ Fret routier : basculement du pétrole vers le gaz

○ Partir des besoins de consommation (produits finis) :

- Alimentation
- Bâtiment
- Ouvrages d'art et industriels
- Voirie
- Engrais, insecticides
- Parachimie, détergents, solvants
- Construction mécanique
- Appareillages électriques
- Transports terrestres
- Bateau et Avion
- Papiers graphique et sanitaire
- Divers, produits en bois
- Emballages

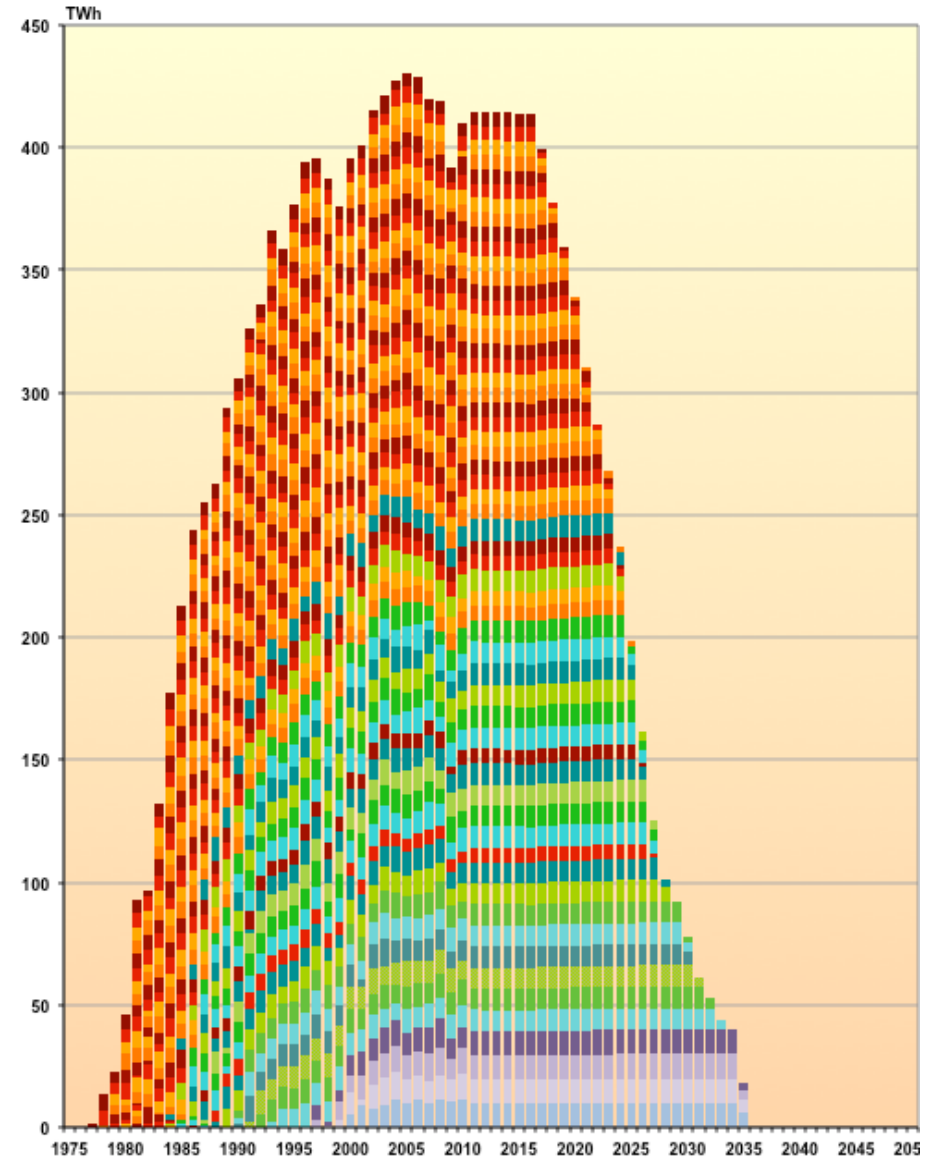


○ En déduire les quantités de matériaux nécessaires :

- Biomasse, bois,
- Acier, métaux non ferreux,
- Ciment, terre, pierre et sable, verre
- Plastiques, chimie minérale et organique
- Papiers et cartons
- Silicium

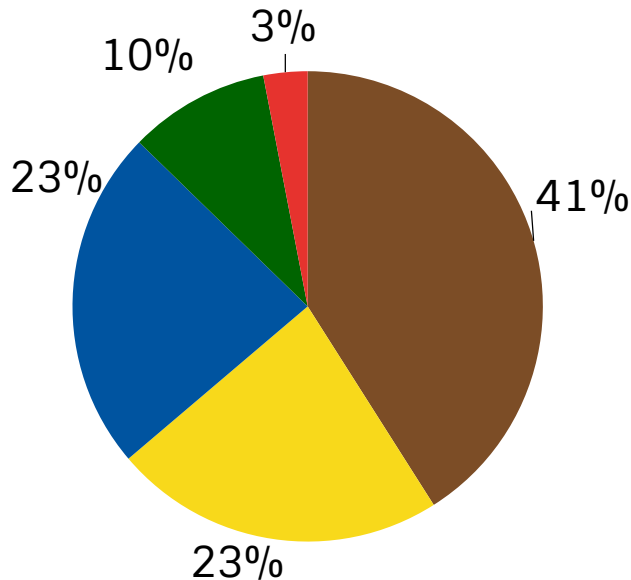
➤ Situation du parc nucléaire

- Un parc construit en peu de temps (80 % en 10 ans)
 - effet falaise sur l'échéance des 40 ans de durée de vie
- Un besoin de planifier, un arbitrage à anticiper :
 - arrêt au plus tard au bout de 40 ans
 - ou investissement dans la prolongation de fonctionnement pour 10 ou 20 ans

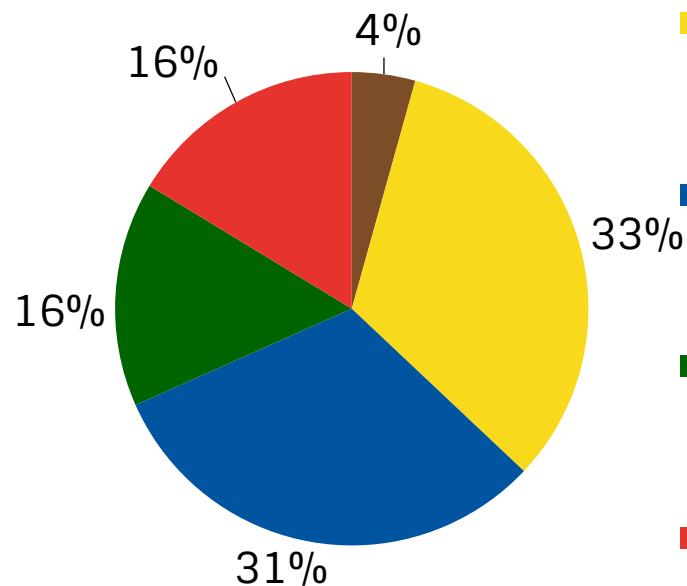


↘ Un équilibre entre gaz et électricité

2015



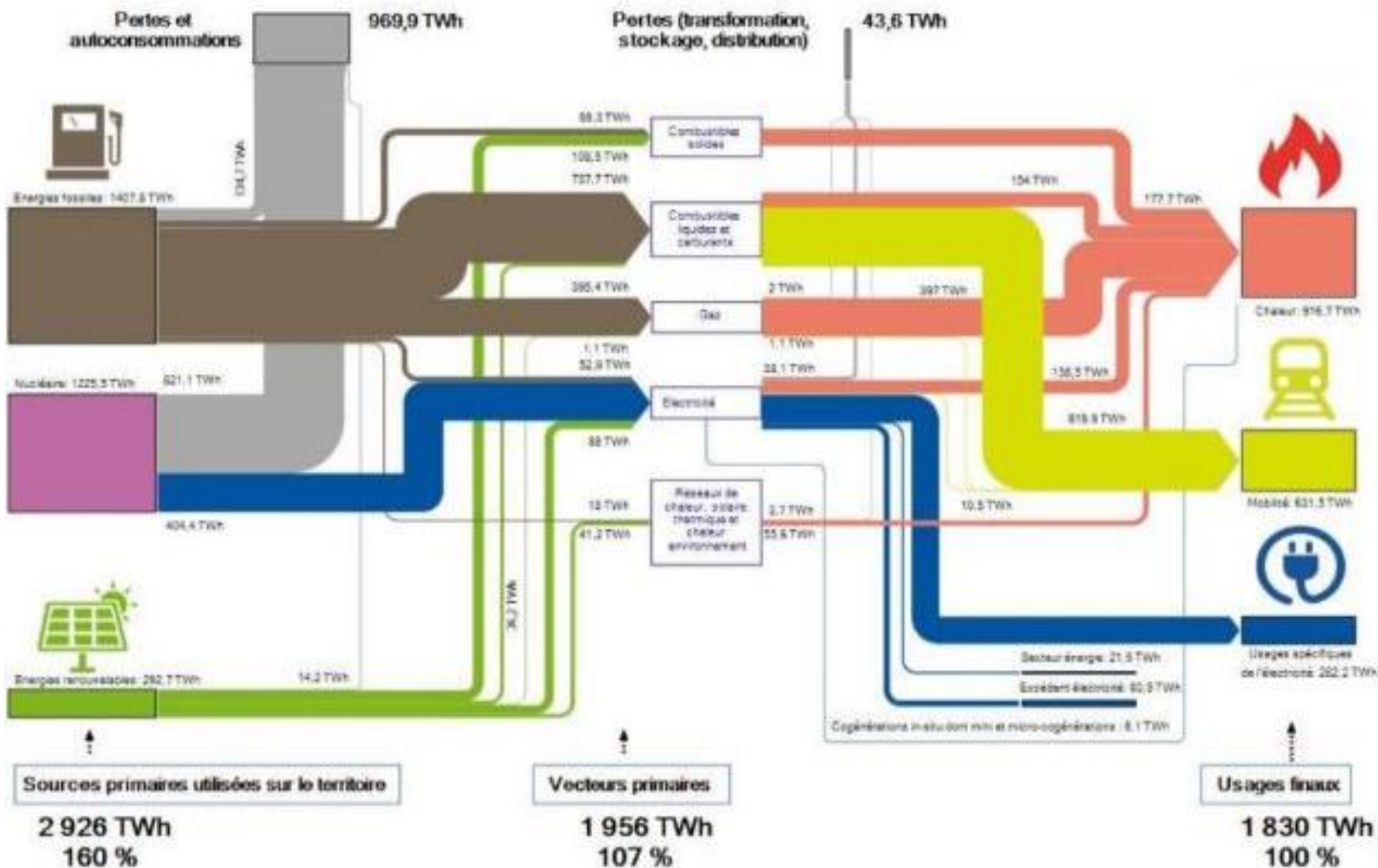
2050



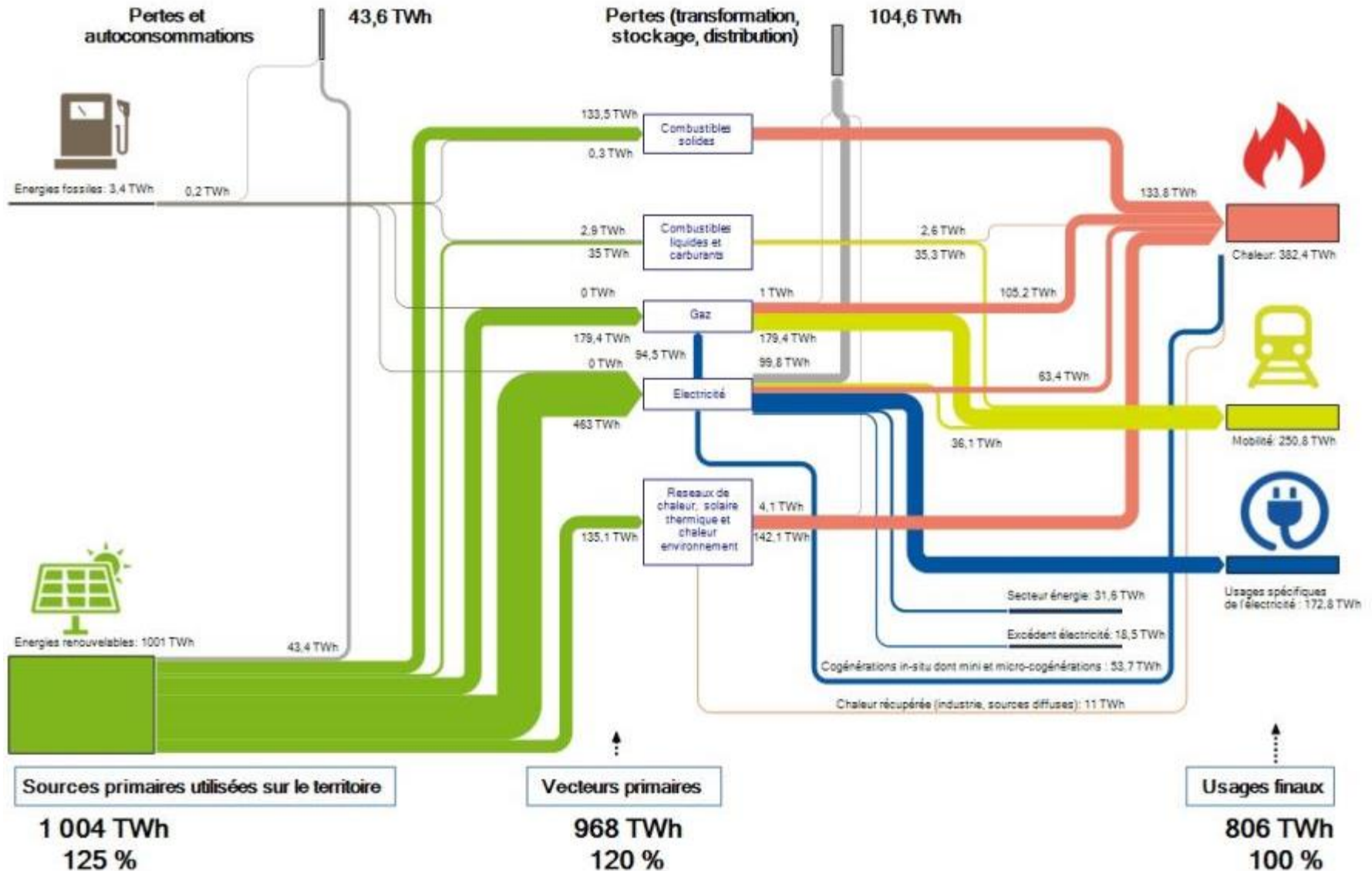
- Carburants et combustibles liquides
- Carburants et combustibles gazeux
- Électricité
- Combustibles solides
- Réseaux de chaleur, solaire thermique, chaleur environnement

Répartition des vecteurs finaux

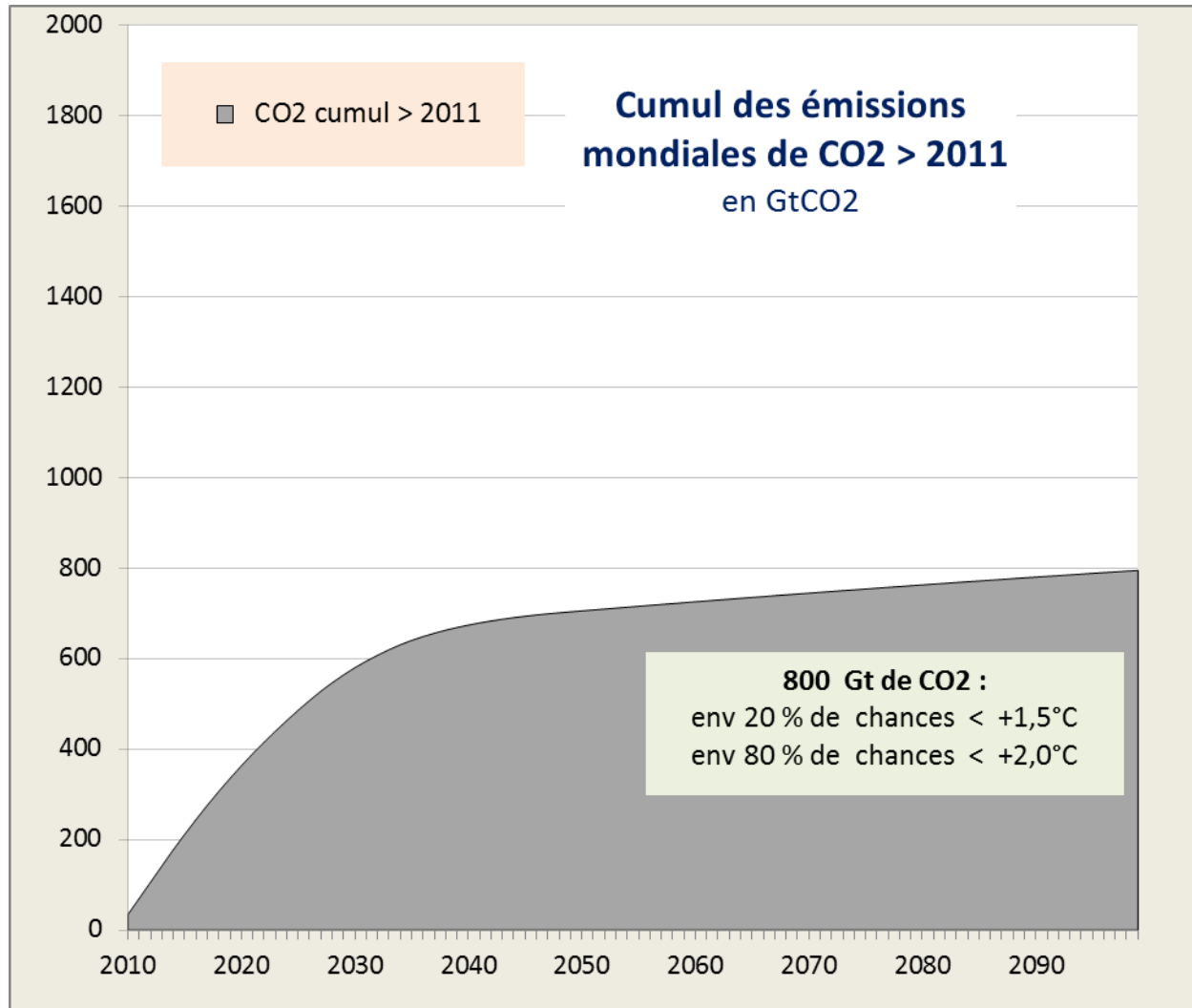
↳ Bilan énergétique : année de référence 2015



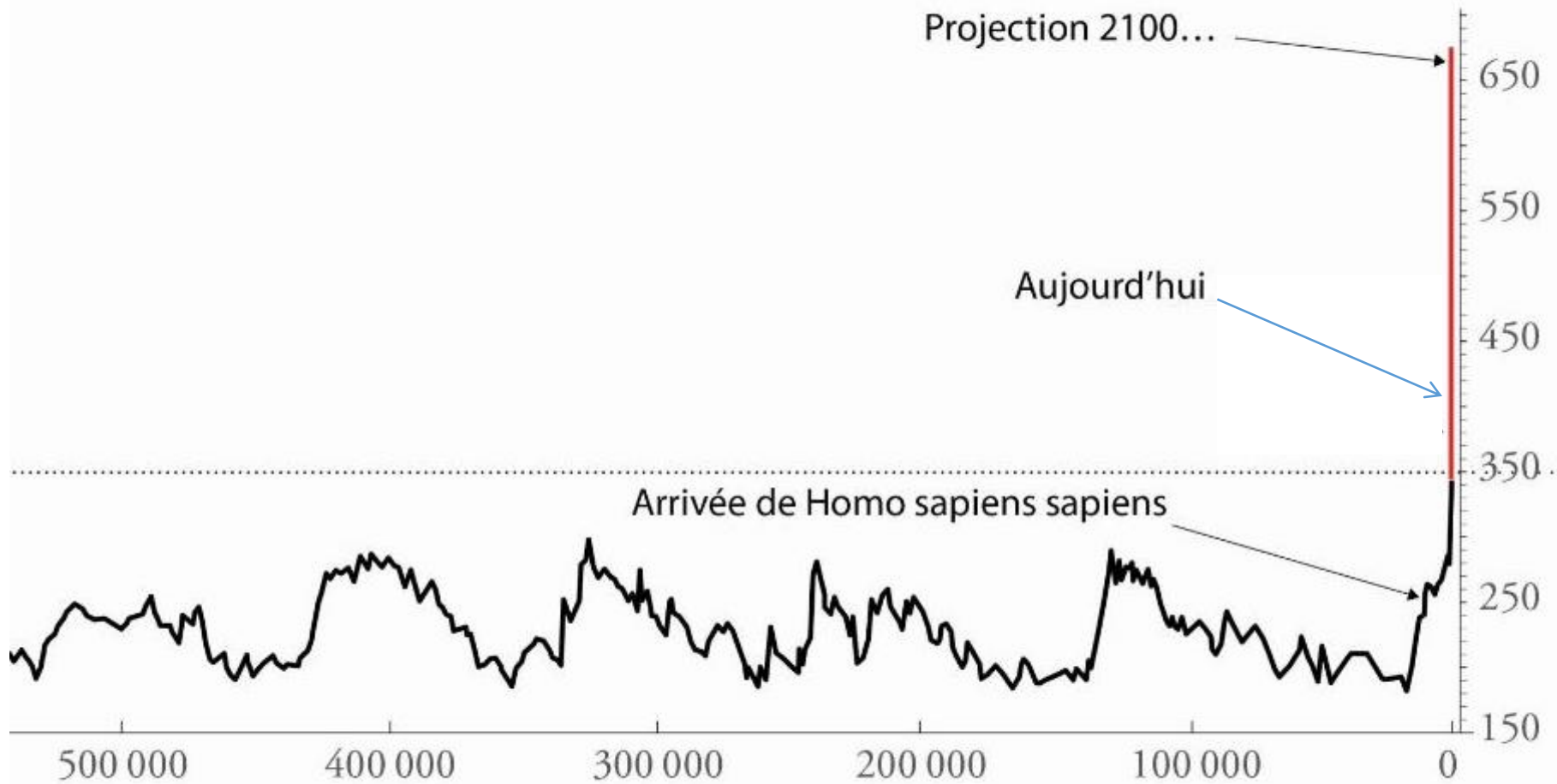
➤ Bilan énergétique : scénario négaWatt, année 2050



➤ Et si le monde adoptait une trajectoire négaWatt ?



↘ Urgence climatique



↳ Pourquoi un scénario négaWatt nouveau ?



Un scénario négaWatt 2011 robuste, mais un besoin d'actualiser et d'approfondir

- Actualiser les données
 - Recalage de l'année de référence : 2010 > 2015

- Réviser les hypothèses et les choix
 - Évolutions sur le potentiel d'action sur la demande et de production (nucléaire, renouvelables...)
 - Options disponibles, choix technologiques
 - Intégration du changement climatique (hydraucité, agriculture, forêts...)

- Approfondir et élargir l'analyse (au-delà de l'énergie)
 - Meilleur couplage urbanisme <> transport <> bâtiment
 - Bilan matières, réflexions sur l'empreinte
 - Synergie étroite avec Afterres 2050
 - Évaluation tous GES, tous secteurs
 - Intégration d'autres impacts (pollution de l'air...)

- Mettre à jour l'évaluation économique
 - Coûts et investissements
 - Contenu en emplois

- Réévaluer la trajectoire
 - Possibilité ou non de rattrapage du retard
 - Réalisme du rythme et du niveau d'action
 - Suffisance des résultats sur l'enjeu climatique

↳ Un exemple concret : DORéMI



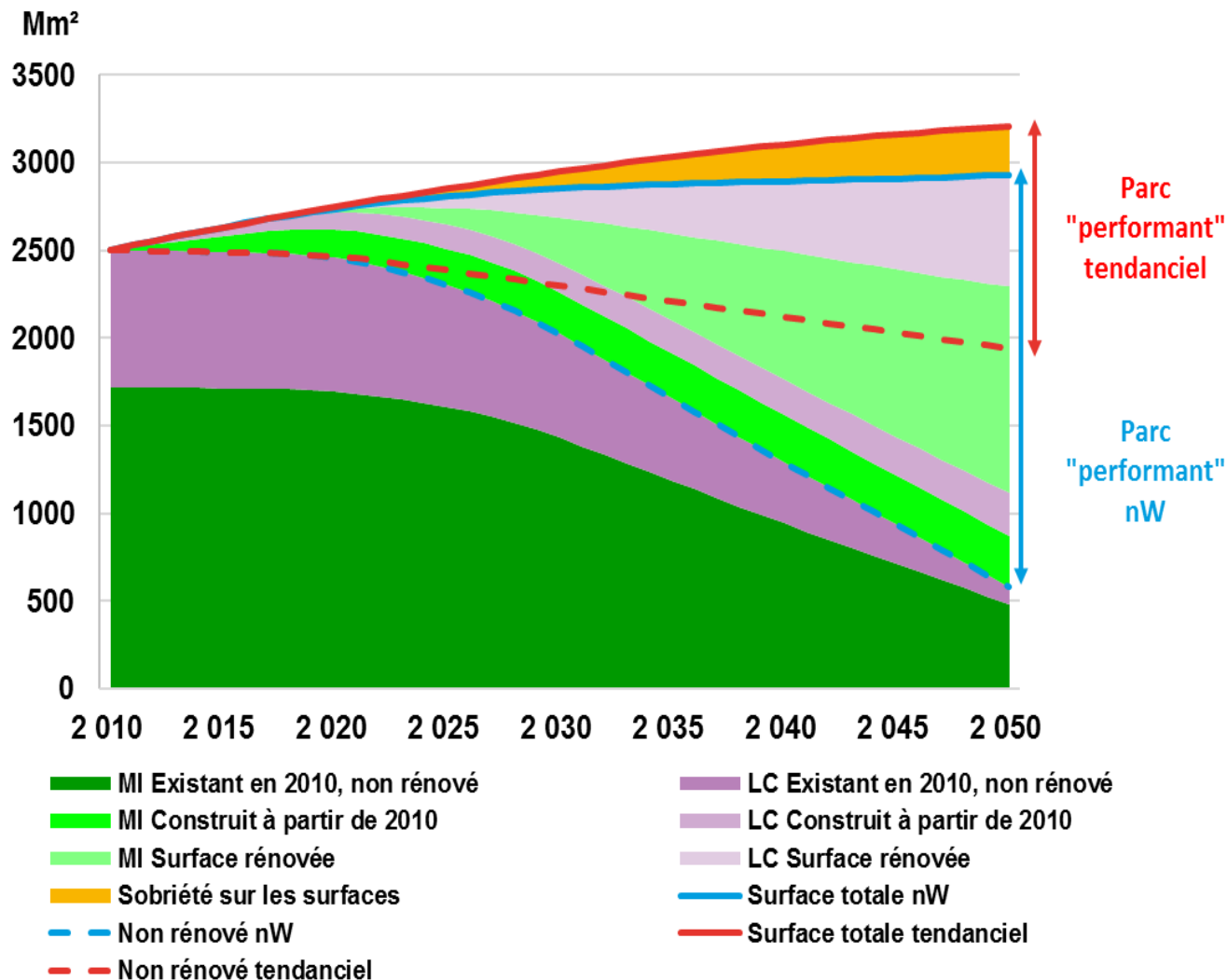
- Expérimenté depuis 2012 par l'Institut négaWatt
- Objectif : former et accompagner des groupements d'artisans afin qu'ils puissent proposer aux propriétaires de maisons une offre de rénovation performante, cohérente et à prix maîtrisé.
- Dispositif actuellement déployé sur 25 territoires en France
- 600 artisans formés, 65 groupements constitués
- En savoir plus : www.institut-negawatt.com



Un chantier ambitieux pour la rénovation

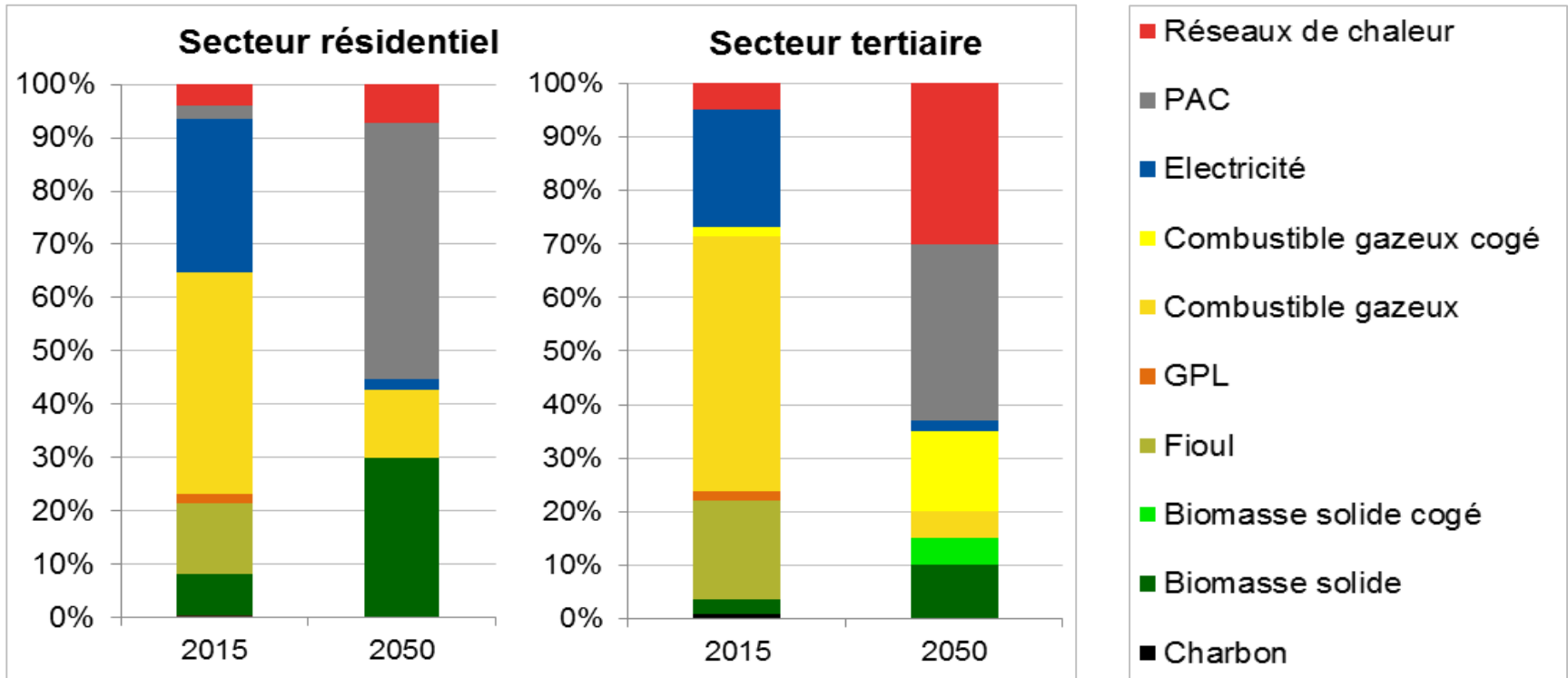


Evolution des surfaces résidentielles



- Rénovations complètes et performantes :
 - jusqu'à 780 000 logements et 27 Mm² tertiaire rénovés par an
- Pour les maisons individuelles
 - Utilisation de Solutions Techniques
 - Formation théorique et sur chantier de groupements d'artisans → maîtrise des coûts
- Un gisement d'emplois considérable
- Evolutions analogues pour le tertiaire

Une évolution des modes de chauffage vers plus d'électricité



- **Modification des parts modales des énergies de chauffage**
 - Fort développement des PAC, quasi-disparition de l'électrique direct
 - Développement marqué de la biomasse
 - Disparition du fioul, diminution du gaz réseau (dont la part ENR augmente)
 - Introduction de cogénération dans le tertiaire (bois, gaz)
- **Evolutions similaires pour l'eau chaude sanitaire**

PRODUCTION

Mt

**INTENSITE
ÉNERGÉTIQUE**

X MWh/t =

ÉNERGIE

TWh

SOBRIÉTÉ

- Réduction de la consommation
- Objets durables et réparables
- Augmentation du recyclage

EFFICACITÉ

Amélioration des process :

- Cogénération
- Moteurs
- Récupération
- CMV*, PAC
- Fours à induction
- Process
- Meilleures techniques disponibles

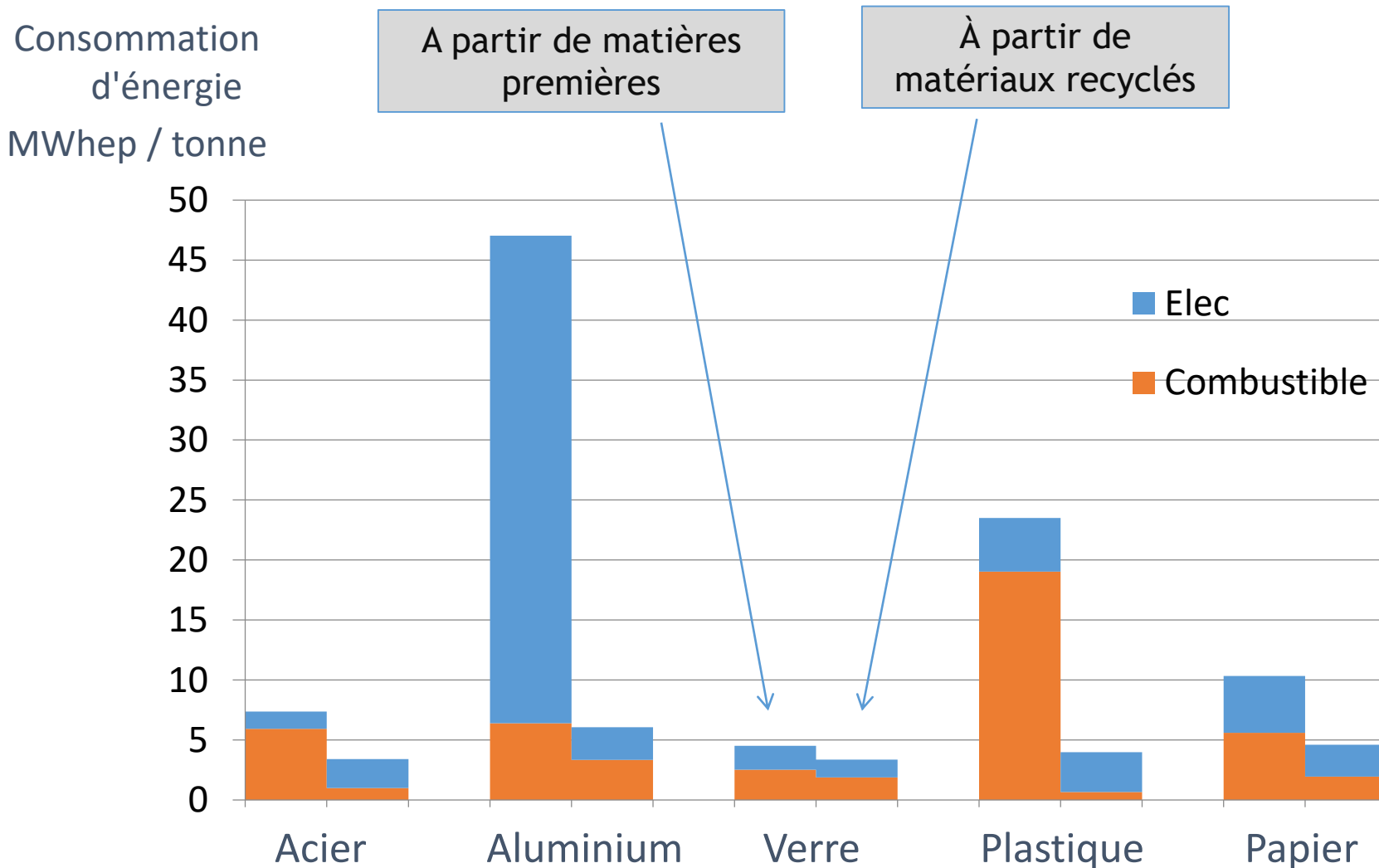
**Compression Mécanique de Vapeur*

RENOUVELABLE

- Biomasse
- Solaire thermique
- Electricité ER

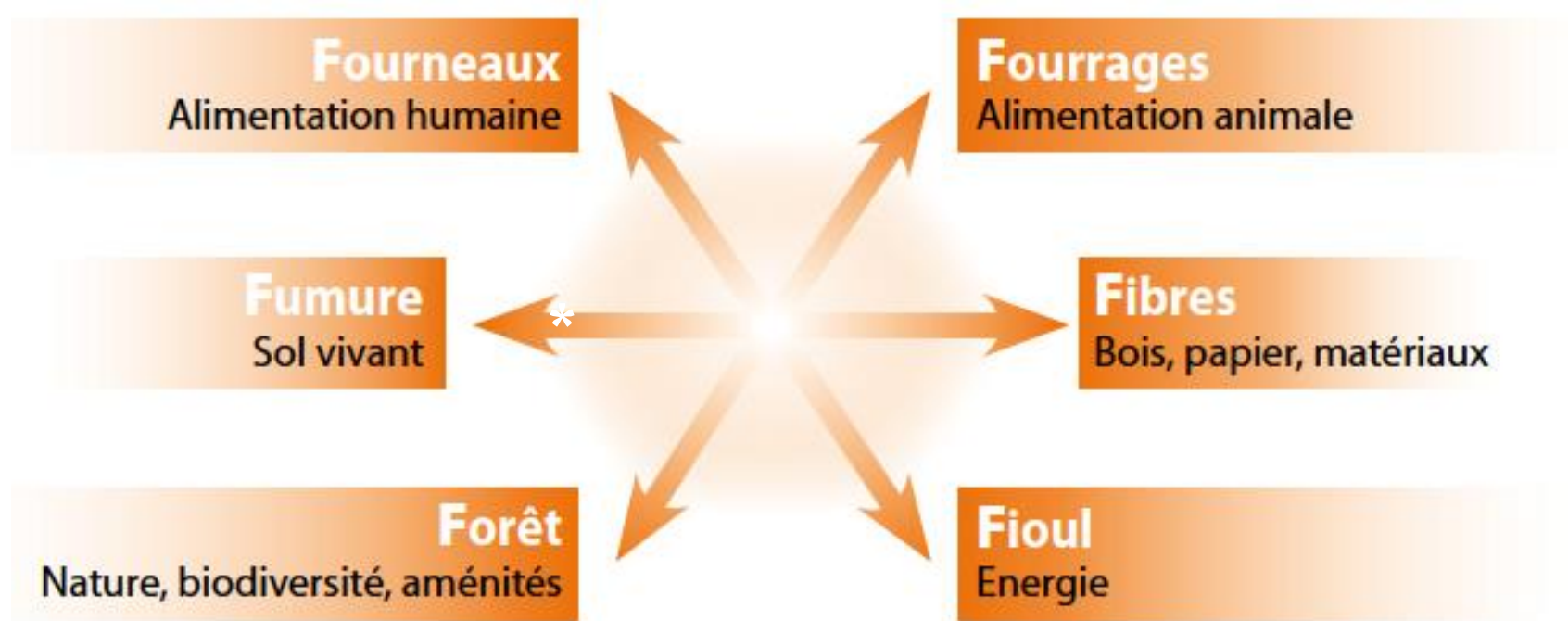


D'importantes économies avec le recyclage



Concurrences ou synergies : « l'hexalemme » des usages des sols et de la biomasse

- Un nouvel équilibre entre les principaux usages des sols et de la biomasse



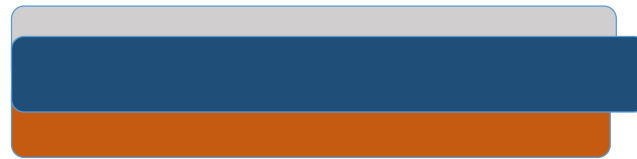
* *Foresta* (VII^e Siècle) : « territoire soustrait à l'usage général » ;
« terrain sur lequel on a prononcé un ban, une proscription de culture, d'habitation »

↘ Une production réorientée



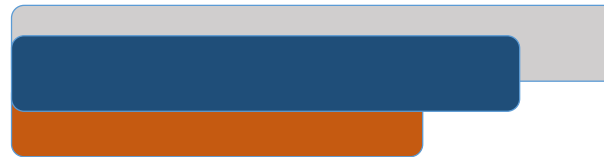
Productions végétales

+5 %



Solde exportateur net

- 16 %



Productions non alimentaires

+300%



Infrastructures agroécologiques

+ 100 %



Une forêt productive, mais un puits de carbone qui diminue dans tous les cas



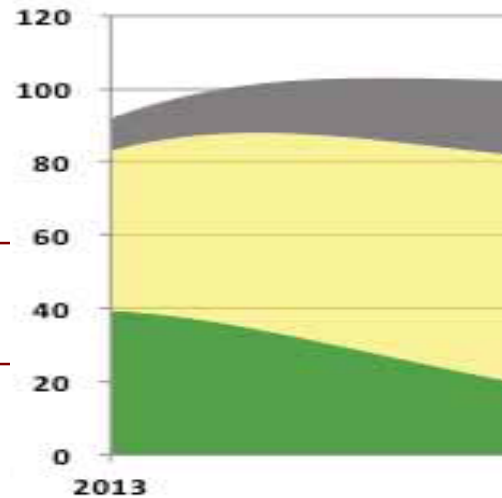
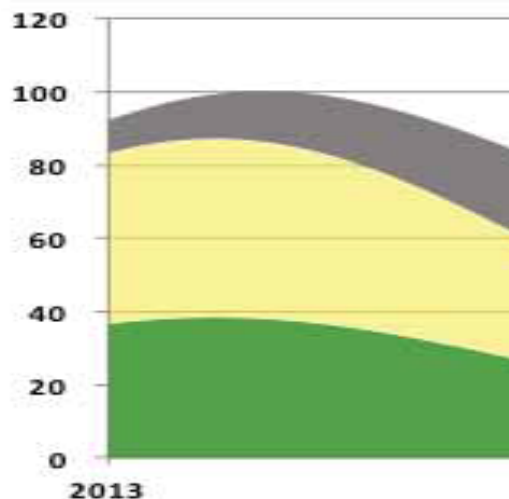
Scénario sylviculture constante

Scénario sylviculture dynamique

➔ **Afterres2050**

Mm³

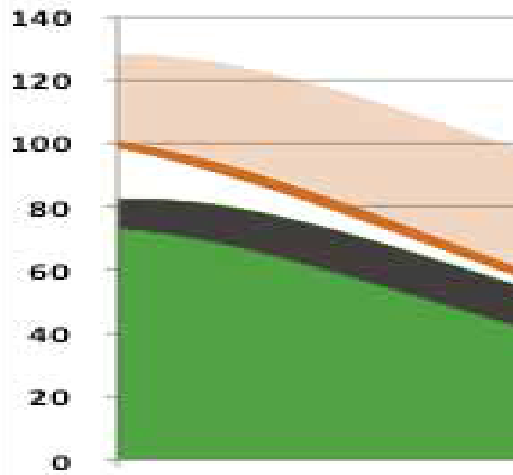
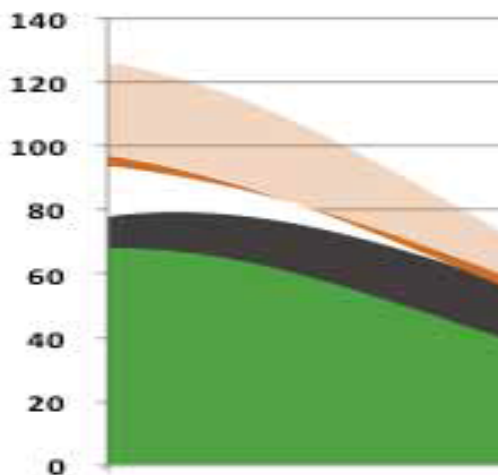
- Mortalité
- Prélèvements
- Accumulation



Production

MtCO₂

- substitution
- produits
- sols
- bois mort
- croissance



Puits de carbone

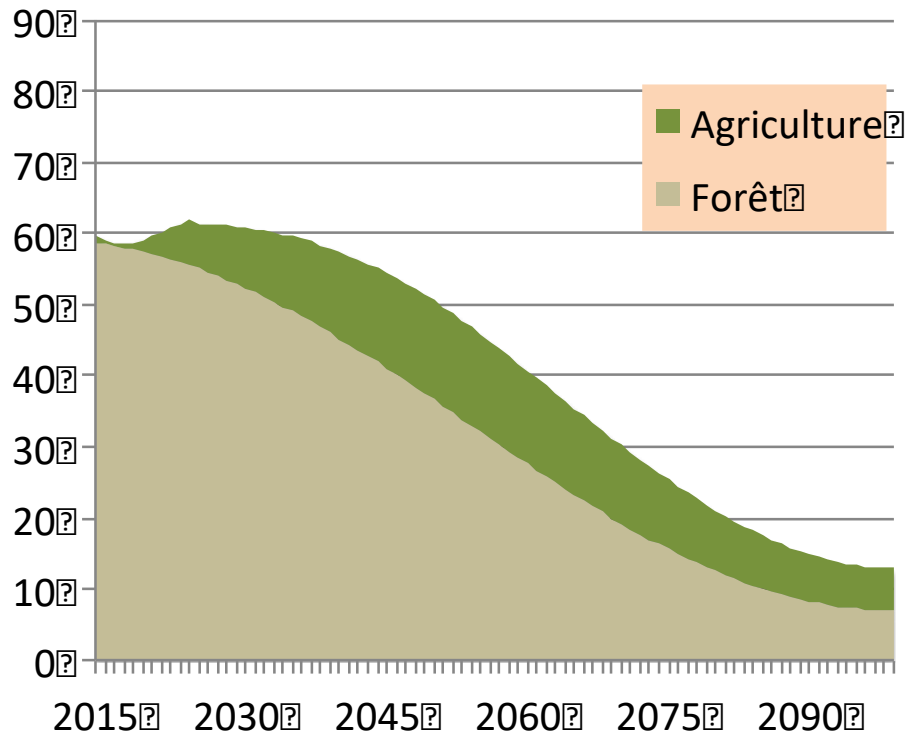
Source : *travaux exploratoires* de J-L. Peyron, ECOFOR, in « Climat, Forêt, Société – Livre Vert », Y. Caulet, Nov. 2015

↘ Puits de carbone

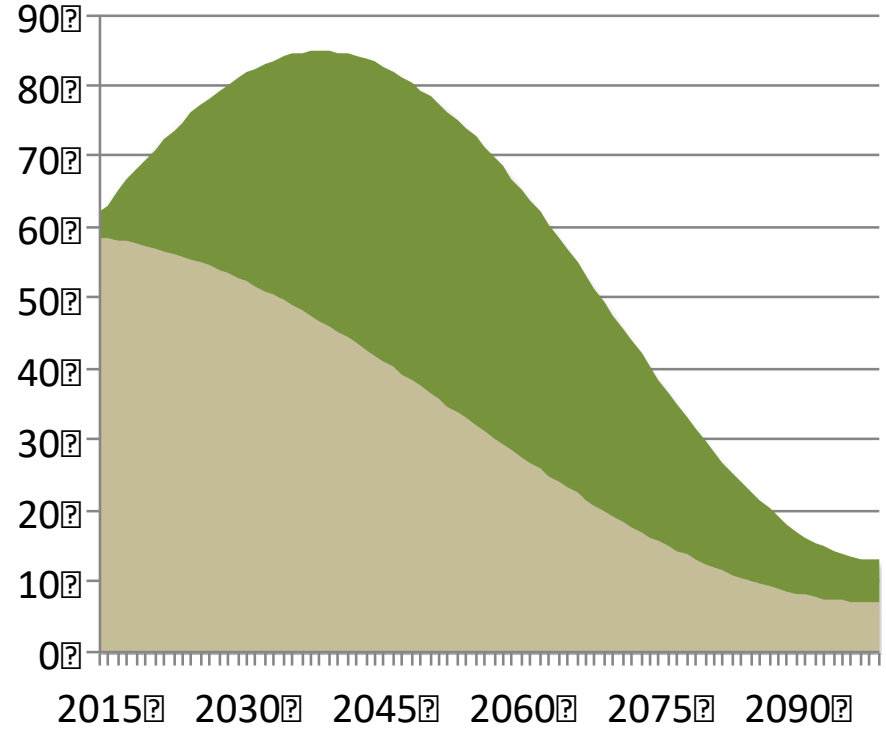


MtCO₂

Tendanciel



Afterres / négaWatt



↘ 4 fonctions majeures de la méthanisation



Produire de l'énergie

Biométhane

Carburant

Fournir du CO2

Méthanation

Favoriser la transition agroécologique

Recyclage
nutriments (**NPK**)

Optimisation
matière organique

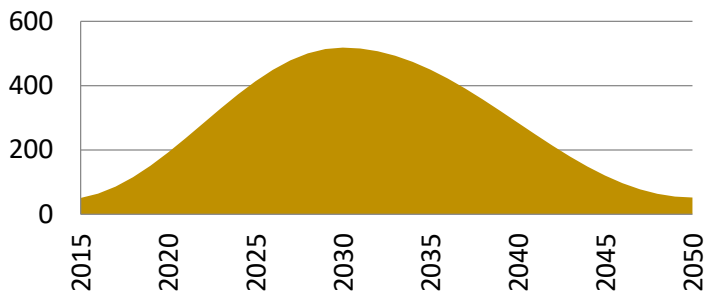
Créer un outil socio-économique

Bioéconomie rurale,
territoriale,
circulaire,
Multi-fonctions, co-
productions

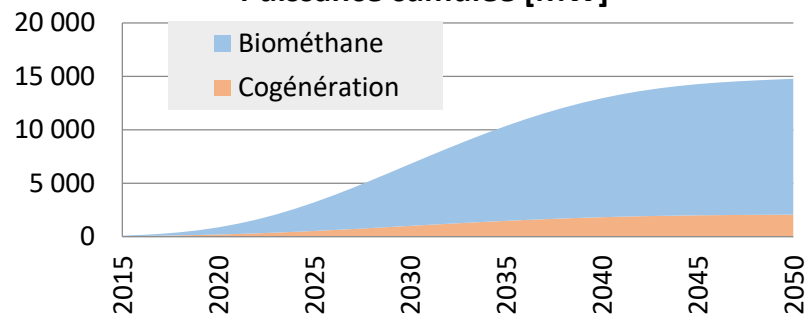
10.000 méthaniseurs, 13 GW_g + 2 GW_e



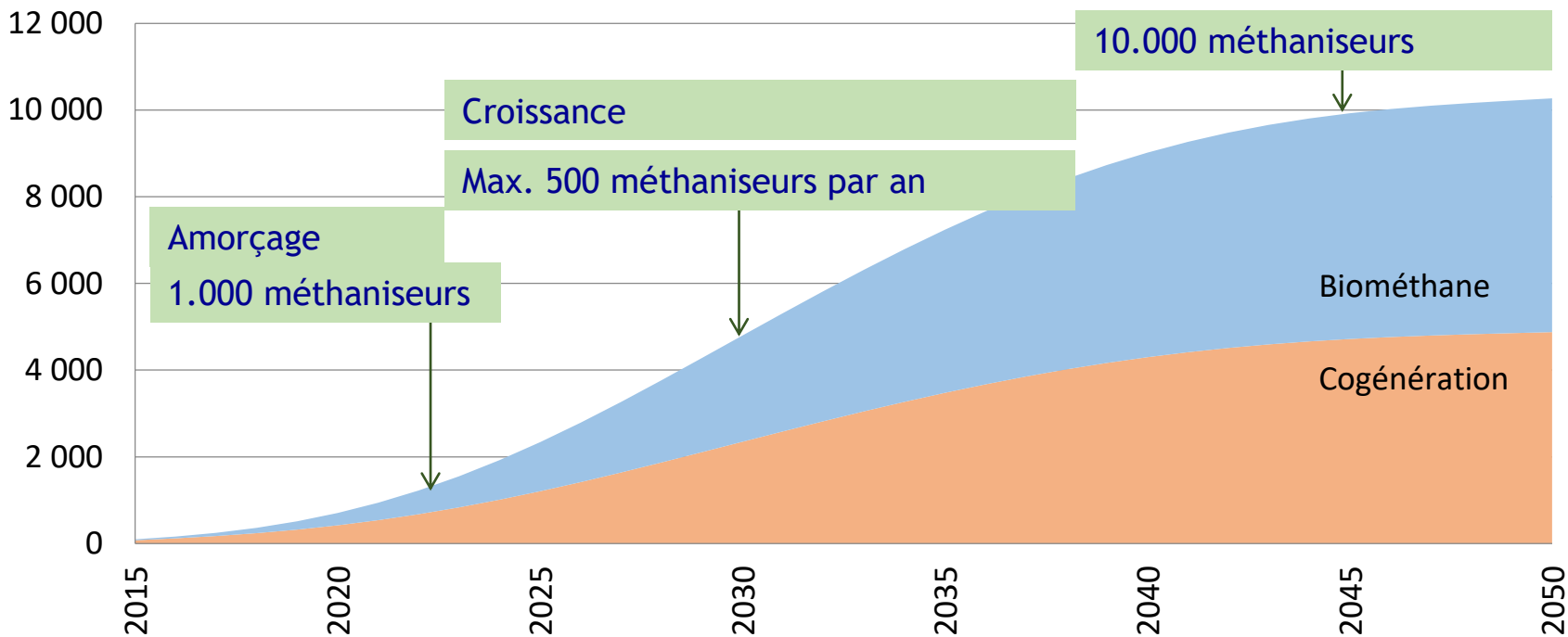
Nombre de nouvelles unités par an



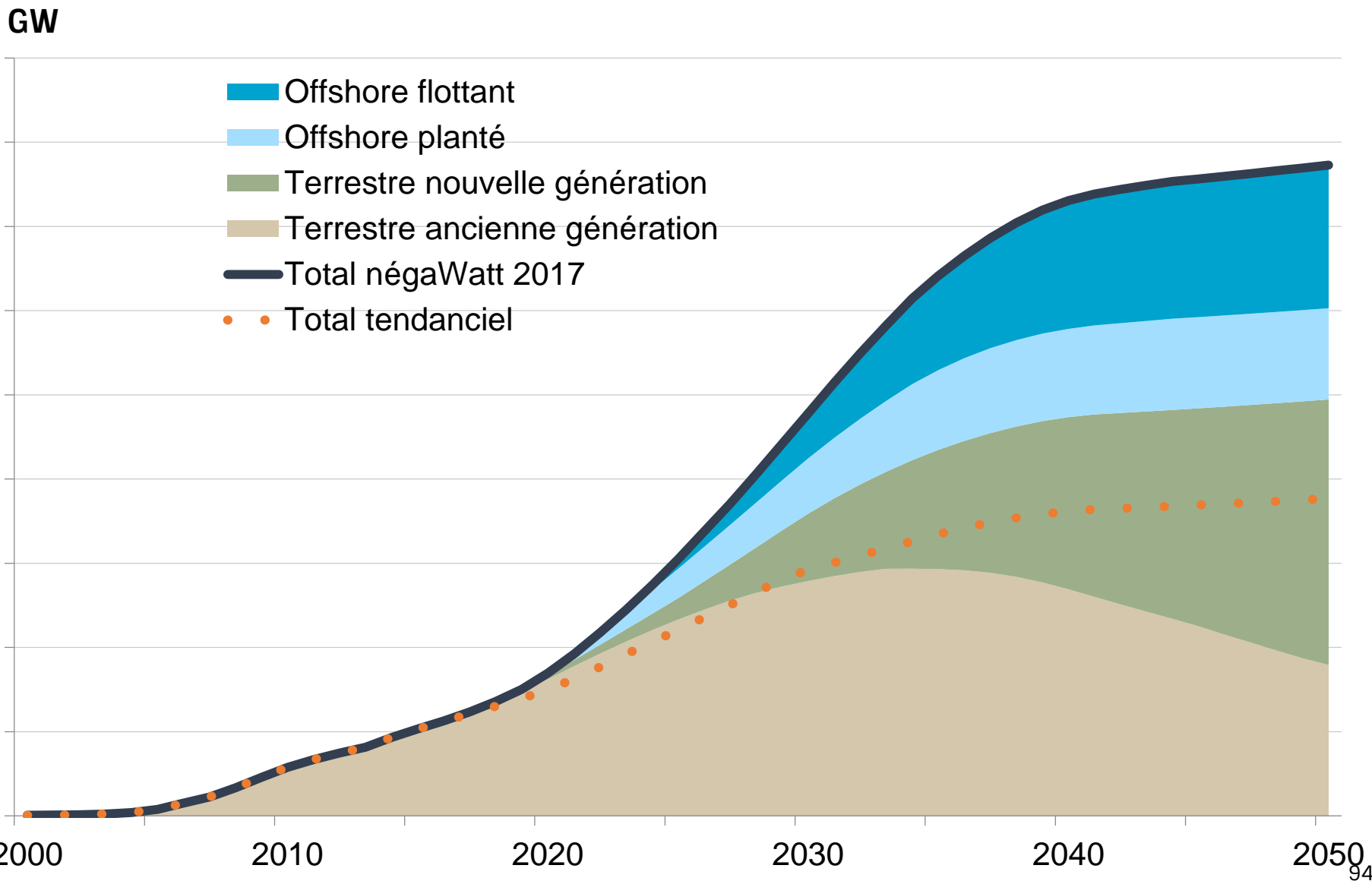
Puissance cumulée [MW]



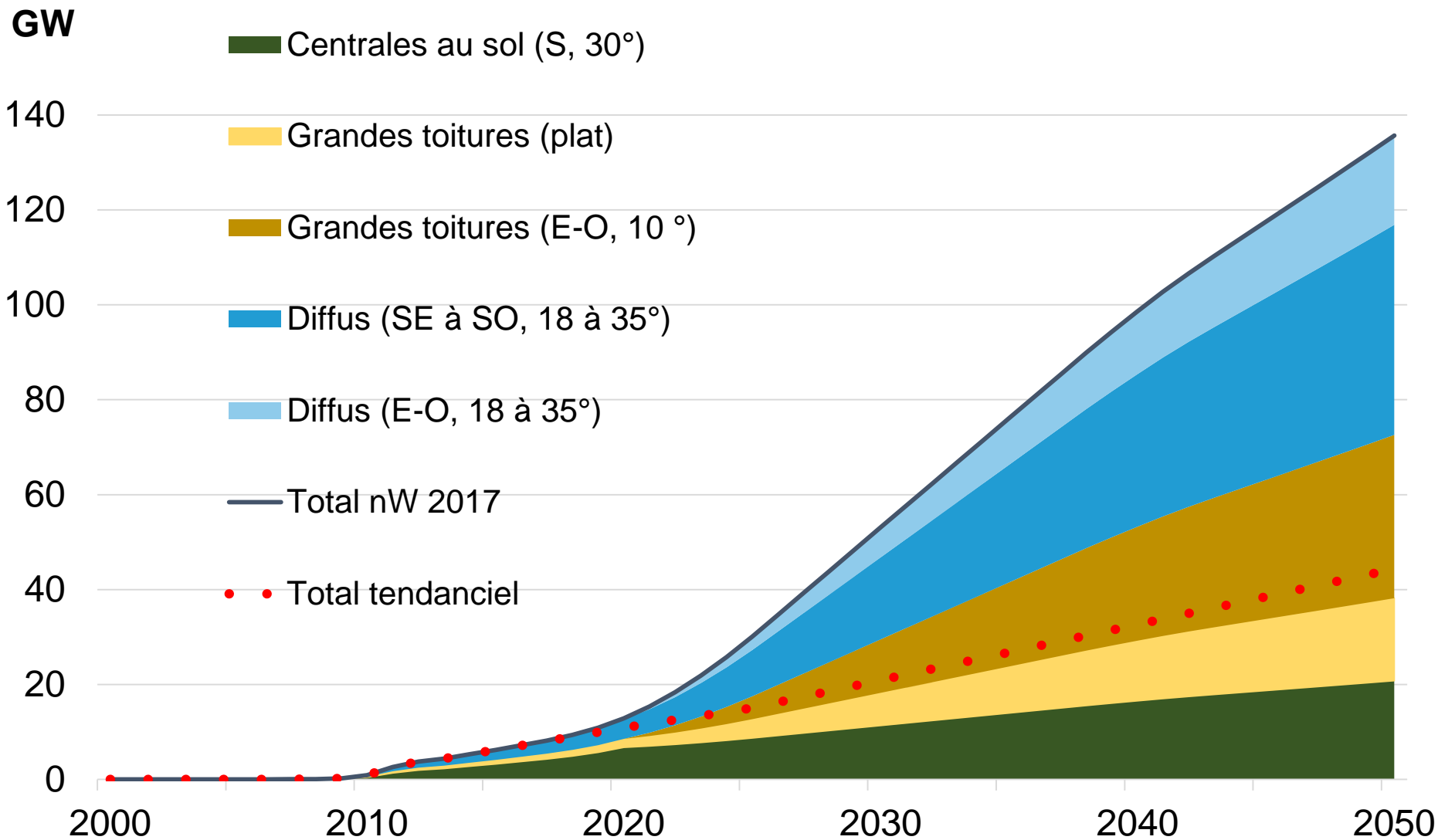
Parc cumulé [Nombre]



Éolien : 80 GW, 250 TWh en 2050

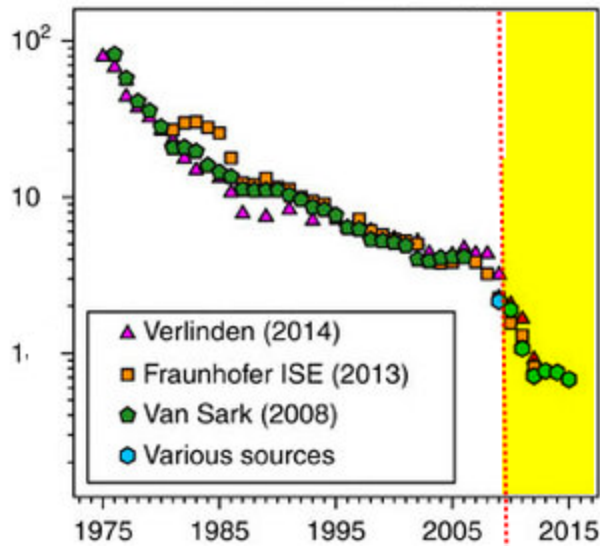


Photovoltaïque : 140 GW, 150 TWh

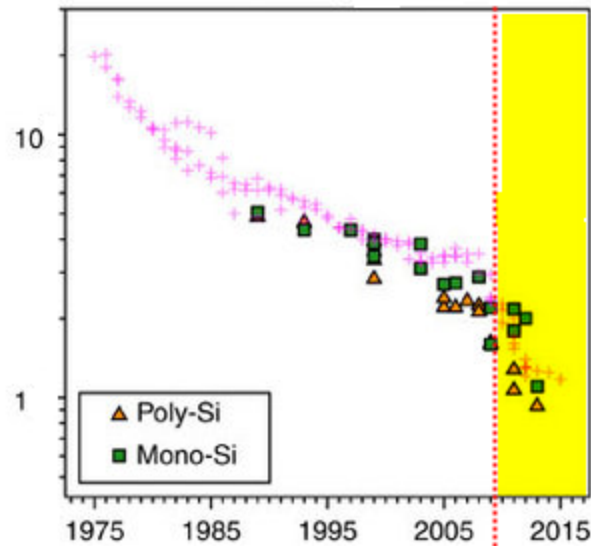


↘ Electricité : la révolution PV

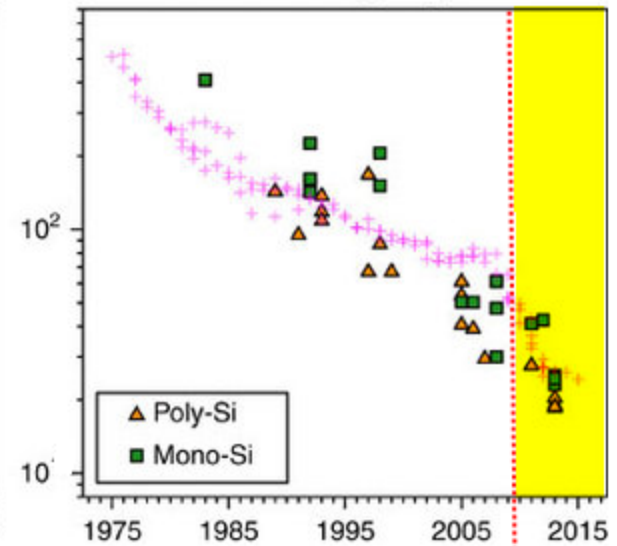
De 2011 à 2016, une rupture radicale par rapport à la courbe d'apprentissage 1975-2010: la limite du PV est celle du stockage



Coût
en \$ 2015 par Wc



Temps de retour énergie
en années



Effet de serre
en gCO₂ par kWh

↘ Situation du parc nucléaire



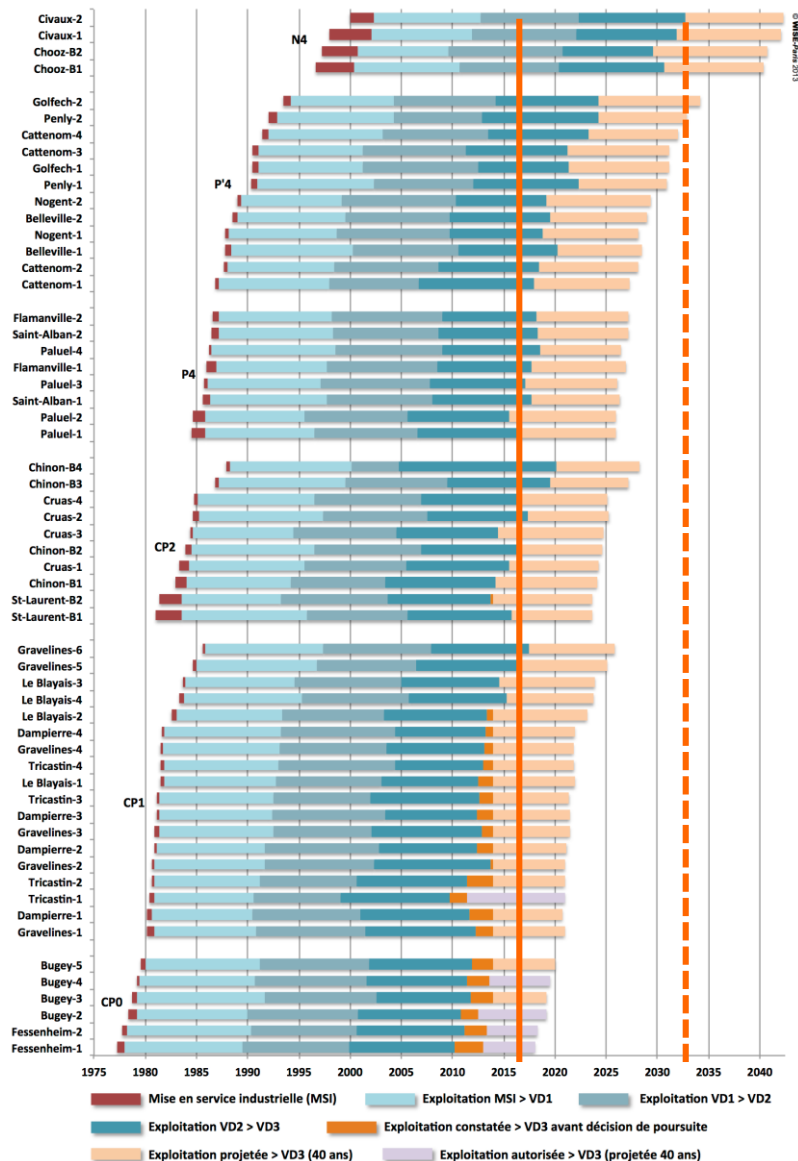
Un parc peu ajustable

- besoin de fonctionnement “en base”
- capacité très peu modulable
- effet “falaise” sur l'échéance des 40 ans (4^{ème} visite décennale, VD4)

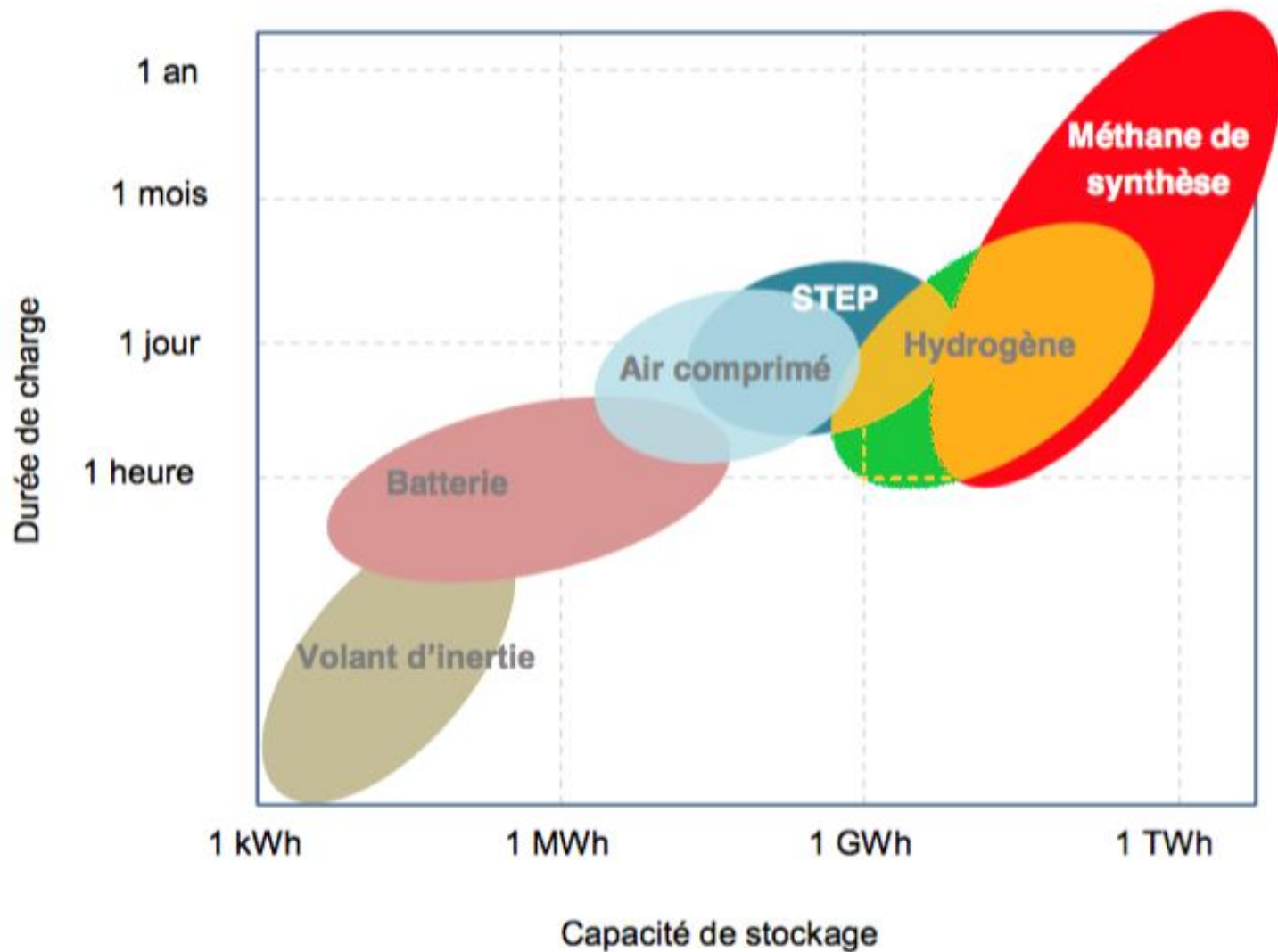
Un besoin de planifier

Un arbitrage à anticiper

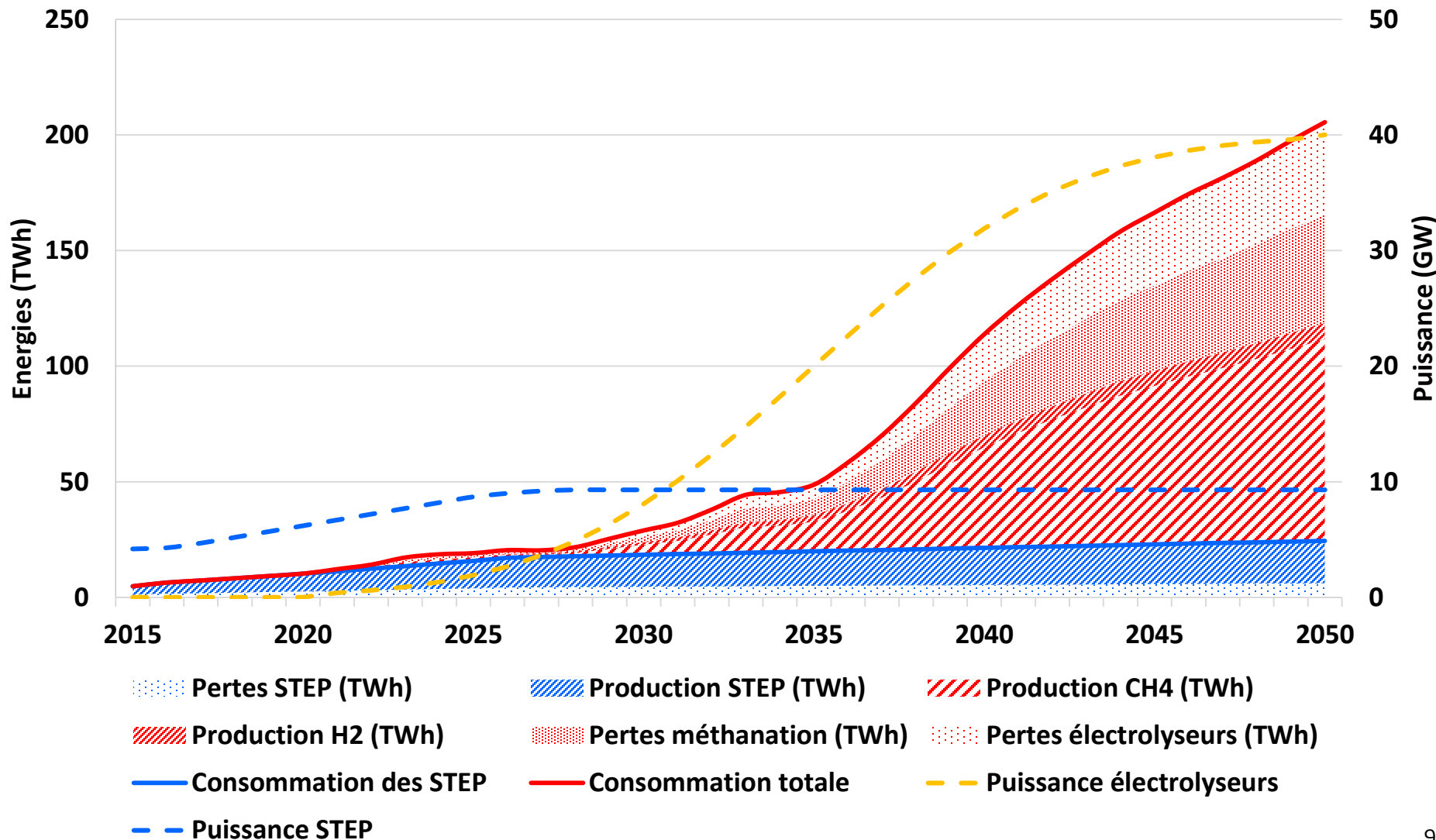
- arrêt au plus tard à la VD4
- ou investissement dans la prolongation de fonctionnement pour 10 ans, voire 20 ans



↘ Stockage de l'électricité : quelle solution pour quel besoin ?

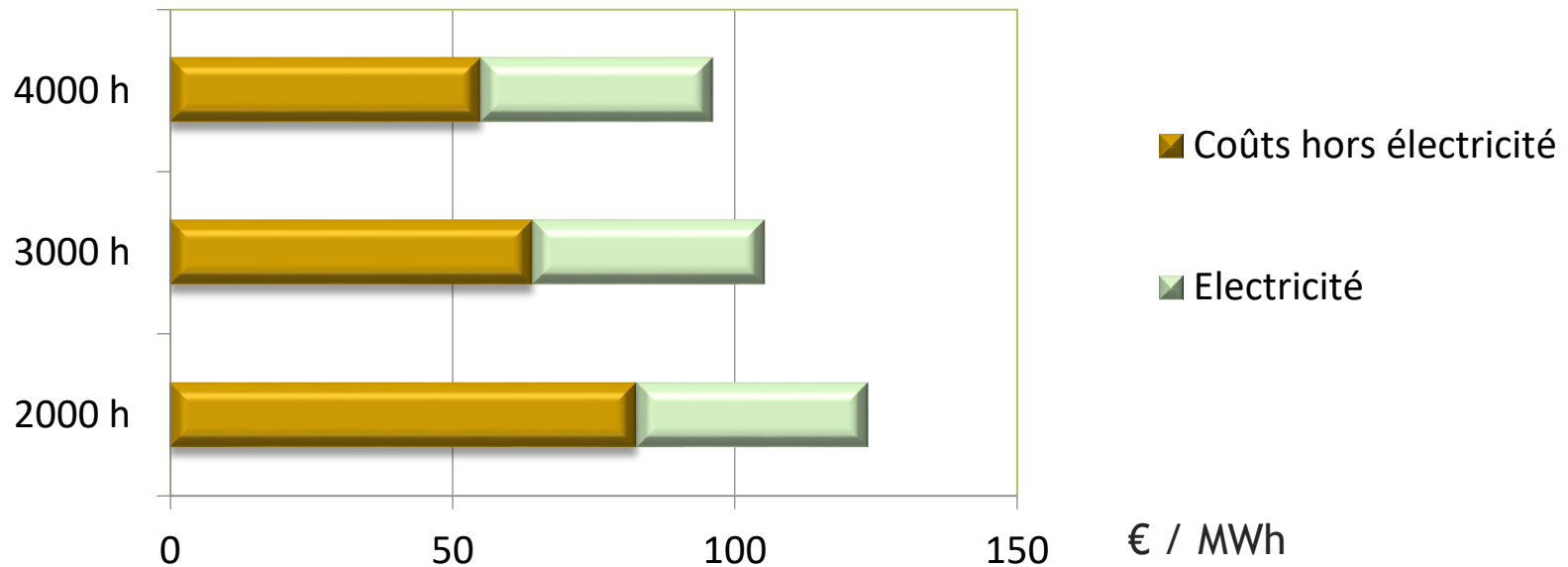


Stockage d'électricité



↘ Coût de la méthanation

- En fonction des durées de fonctionnement
- Prix de l'électricité : 40 €/MWh
- Moyenne des technologies



MARKET OFFERING

Rapid Response | High Pressure | High Efficiency | MW scale

- Rapid response: less than 1s; for primary grid balancing
- High pressure: up to 80bar; for direct injection
- High efficiency: 75% measured by Thuga Group; 87% measured by RWE (with heat recovery)
- MW scale: 1MW modules available today
- Compliant: EU and USA
- Operations: 2yrs in the field

Power-to-Gas System (3,530 sqft)

- Project will cost \$21.6m
- 8MW with 4hr duration | 32MWh
- \$2.7m/MW | \$0.67m/MWh
- 8MW with 12hr duration | 192MWh
- \$2.7m/MW | \$0.22m/MWh



ENERGY STORAGE | CLEAN FUEL



MILLI-STRUCTURED REACTOR DEVELOPEMENT

- **Prototype milli-structured reactor (0.35 Nm³/h CH₄)**
 - ✓ Keep small scale channels for intensification of heat and mass transfer
 - ✓ Use of millimeter-scale catalyst particles (high catalyst density and easy loading)
 - ✓ Scale-up by numbering-up reactive channels and coolant channels

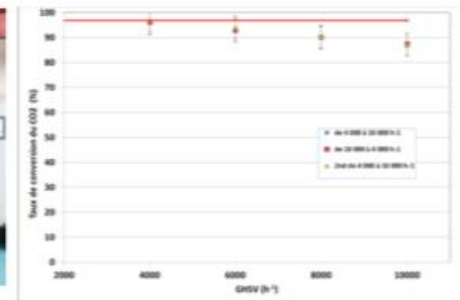
- **Manufacturing by HIP (CEA nuclear back-ground)**

- ✓ Machining of metallic plates (reactive and coolant channels)
- ✓ Stacking of machined and non-machined plates
- ✓ Bonding by Hot Isostatic Pressure (high temperature, high pressure)
- ✓ High quality bonding



- **Qualification**

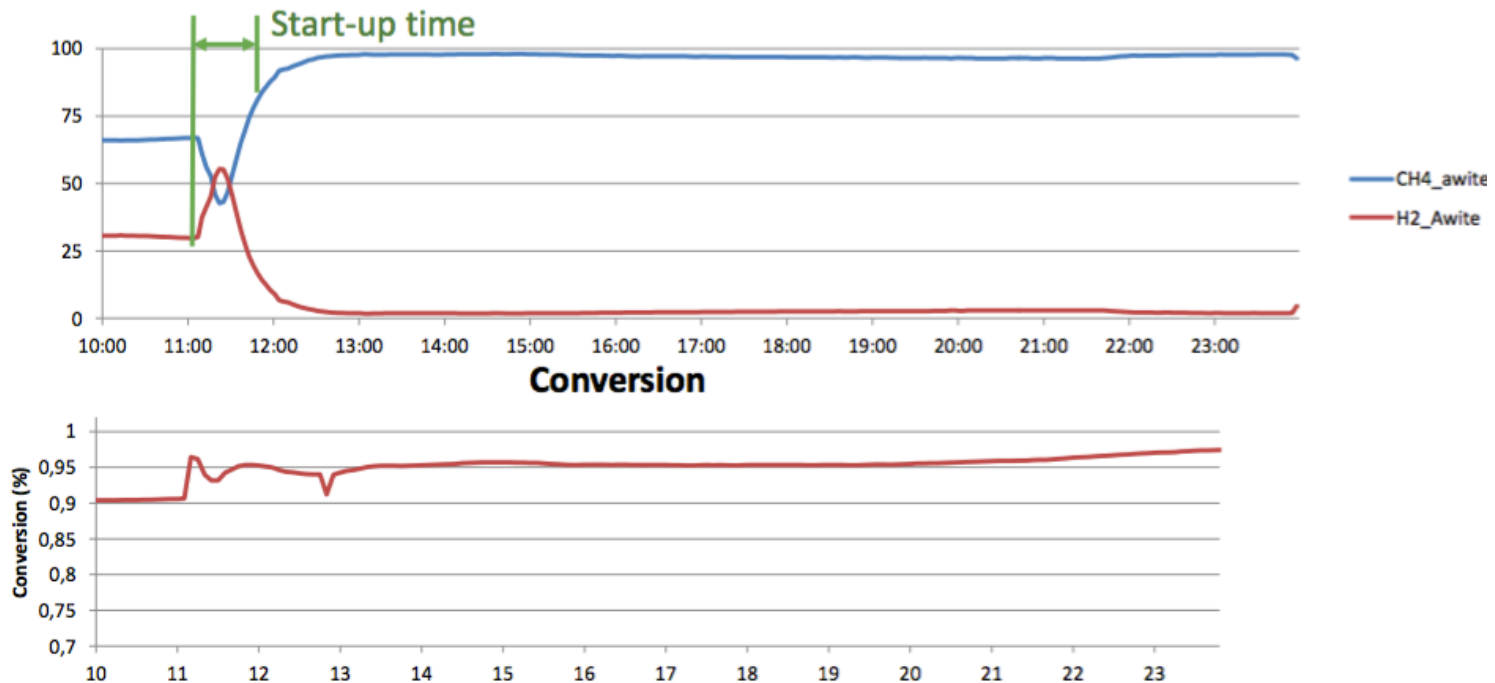
- ✓ High methane yield for high GHSV (>95% @4000 h⁻¹)
- ✓ Flexibility : Adaptation to flowrates 20%-100%
- ✓ Ageing : >90% CO₂ conversion sustained for 700 h (& more)



Project SYDGAHR, Institut CARNOT Energies du futur (2012-2014)
J.Ducamp PhD Thesis, CEA, 2015

Operational results

- Cold start in 45 minutes after 60 hours idle
- Methane content > 97% before polishing
- CO₂ conversion > 98%





Bilan énergétique

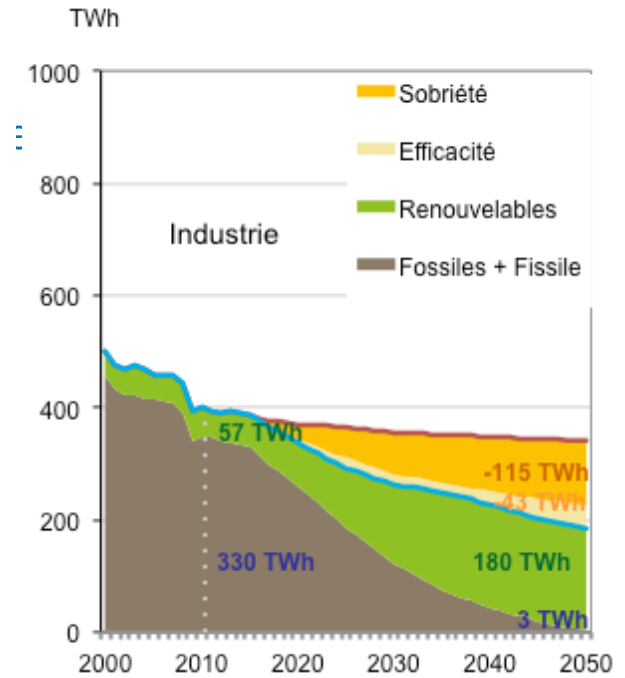
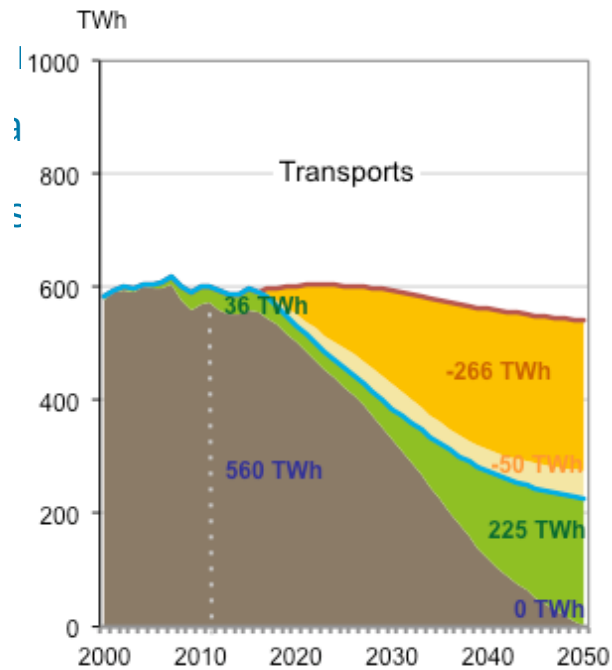
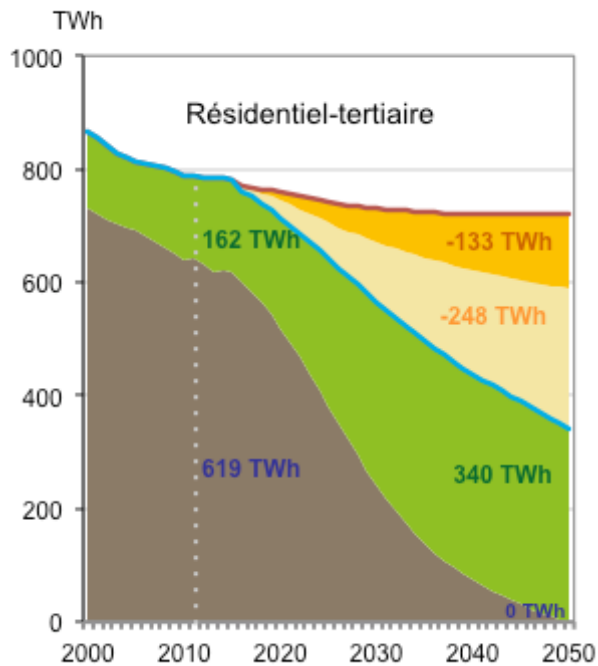




Evolution par secteur en consommation énergétique finale



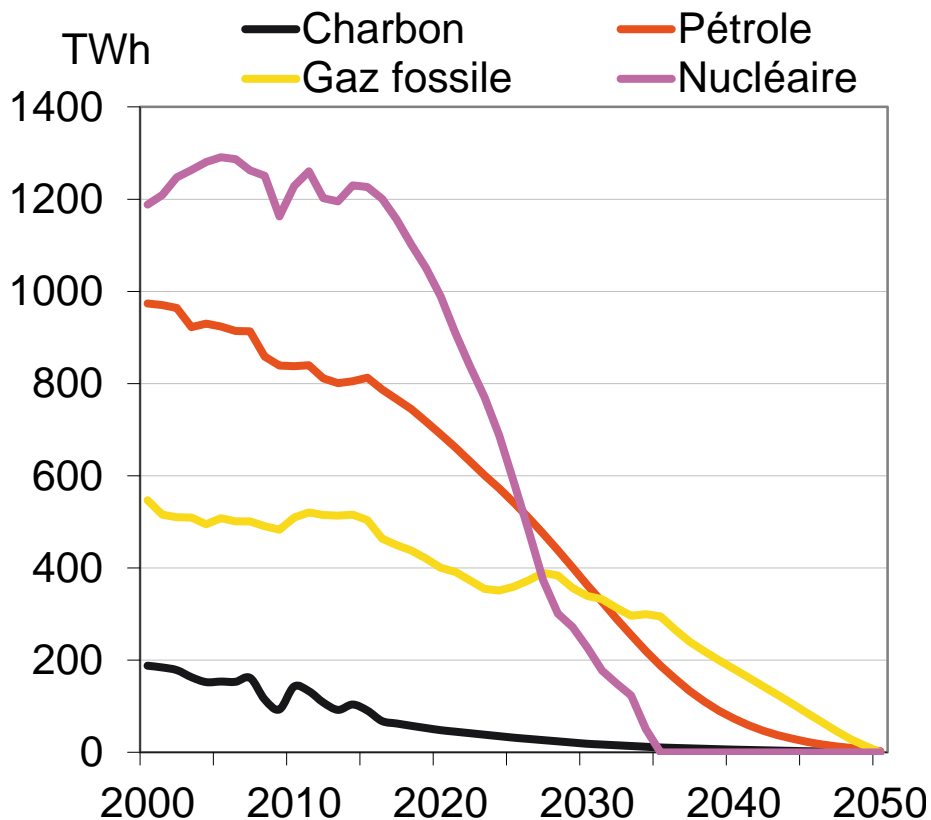
Des évolutions contrastées selon les secteurs :



Substitution des sources d'énergie

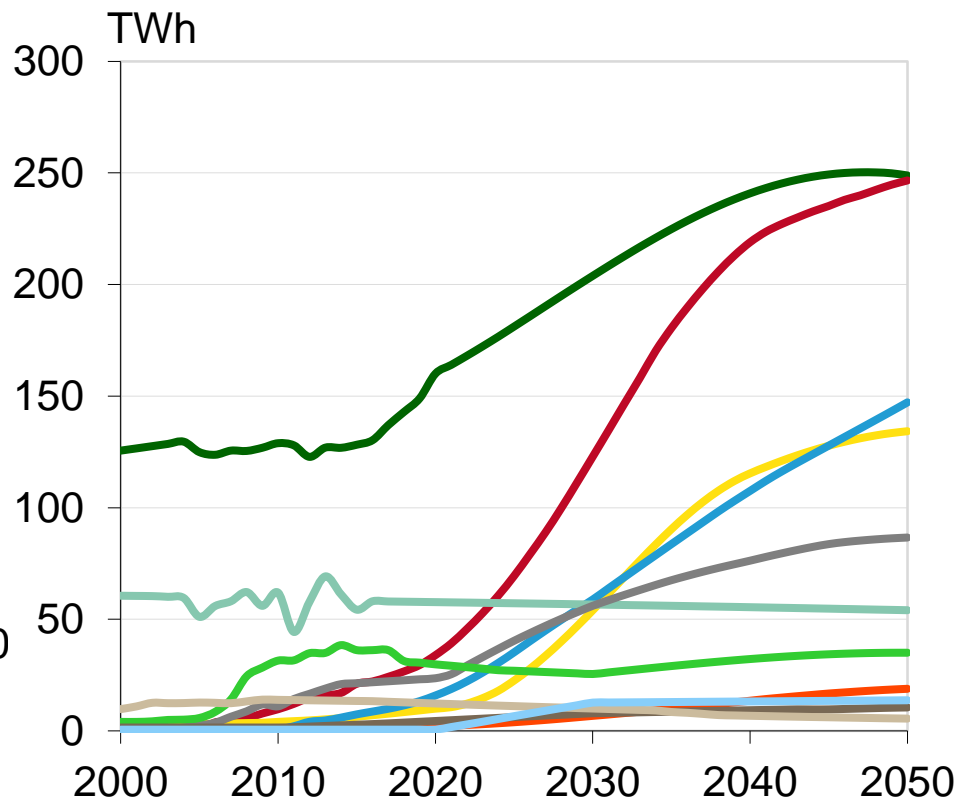


Usages énergétiques



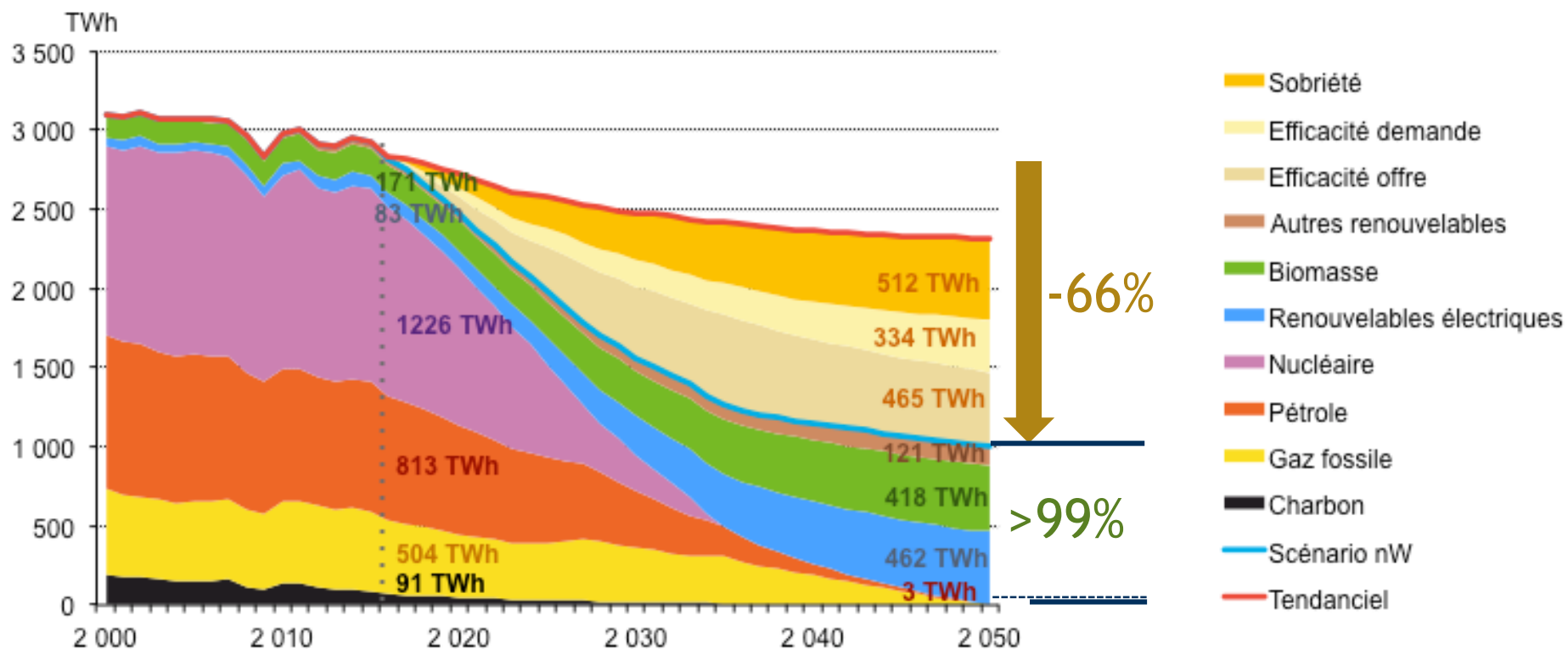
Usages non énergétiques
 (pétrole + gaz fossile + charbon)
 212 TWh en 2015 → 94 TWh en 2050

- Biomasse solide
- Eolien
- Biogaz
- Solaire pv
- Hydraulique
- Solaire thermique
- Chaleur environnement
- Biomasse liquide
- Géothermie
- Déchets



↘ Bilan en énergie primaire

- La réduction de la consommation est clé pour permettre un développement des renouvelables en substitution, et non en addition



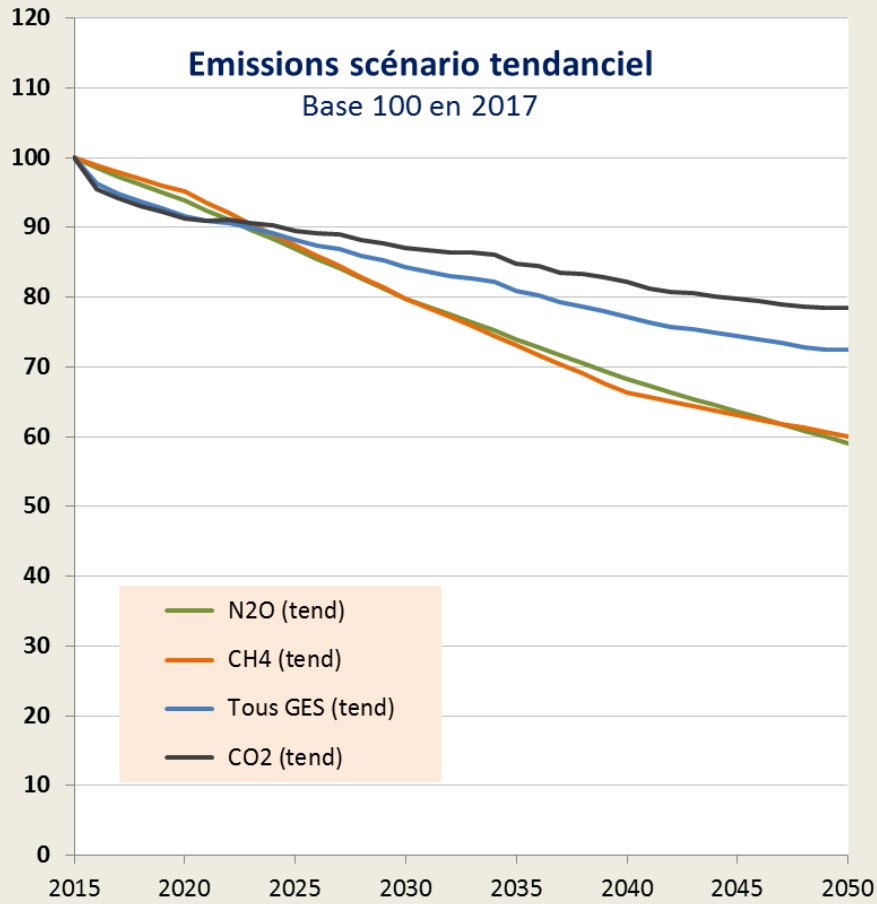


Evolutions tendanciel et négaWatt base 100 en 2015



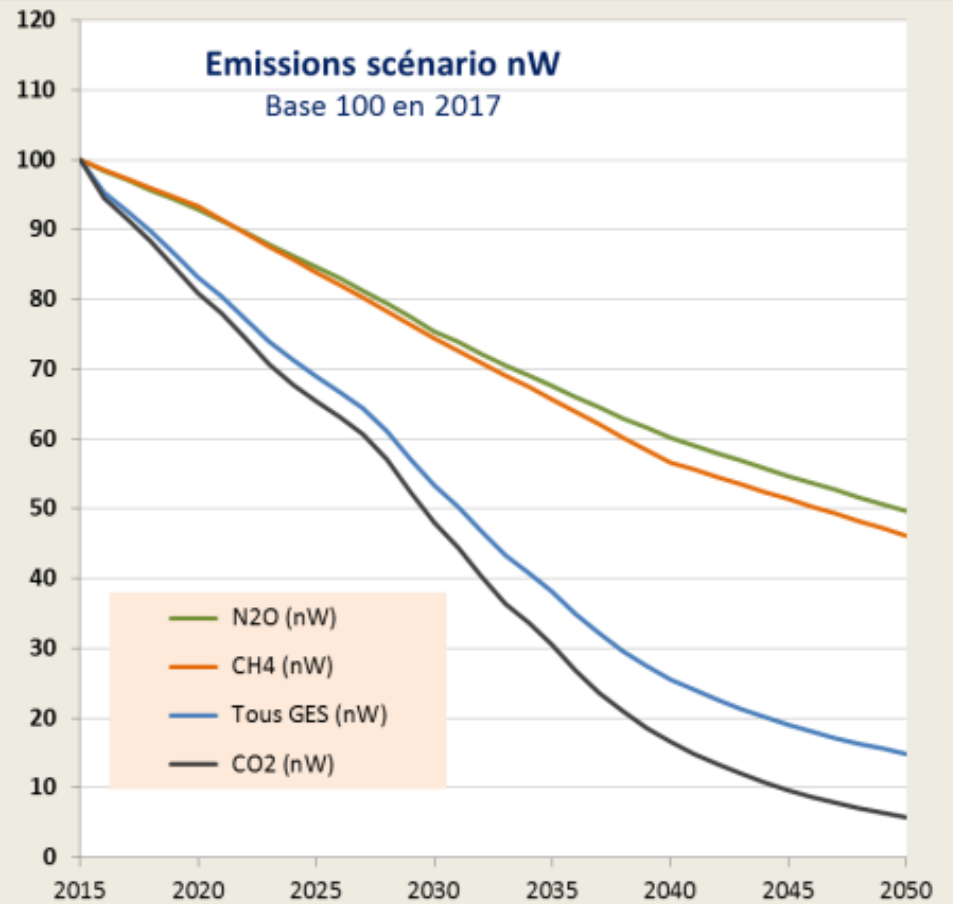
Emissions scénario tendanciel

Base 100 en 2017

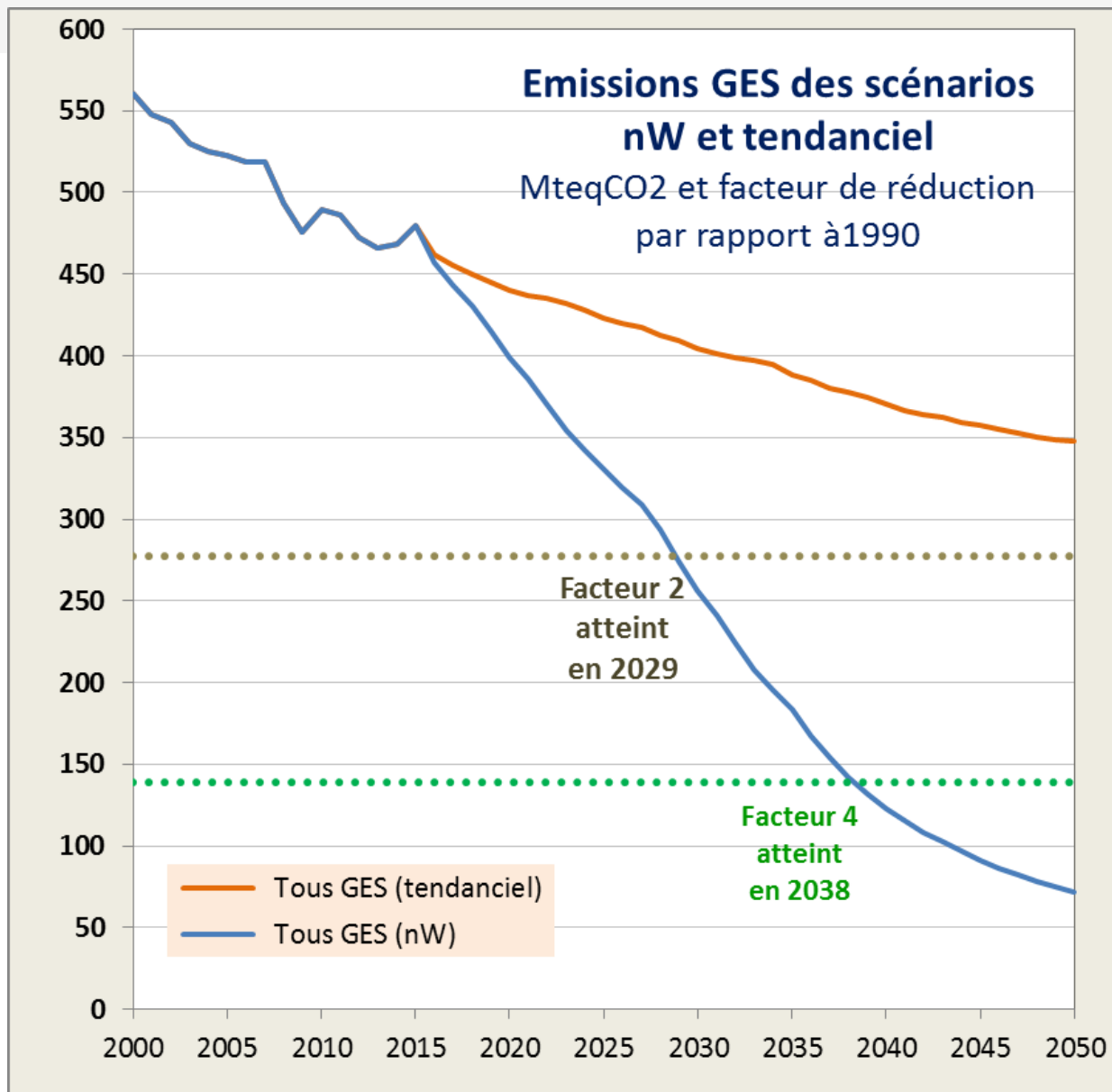


Emissions scénario nW

Base 100 en 2017



➤ Facteur 7 sur les GES en 2050



○ **Renouvelables**

- éolien terrestre & maritime
- solaire thermique & PV
- biomasse
- géothermie
- hydraulique
- énergies marines

○ **Bâtiment**

- rénovation logement existant
- logement neuf
- rénovation tertiaire
- tertiaire neuf

○ **Energies fossiles et fissiles**

- charbon
- produits pétroliers
- gaz naturel fossile
- électricité non renouvelable
- démantèlement des centrales

○ **Réseaux d'énergie**

- gaz
- électricité
- méthanation

○ **Transports**

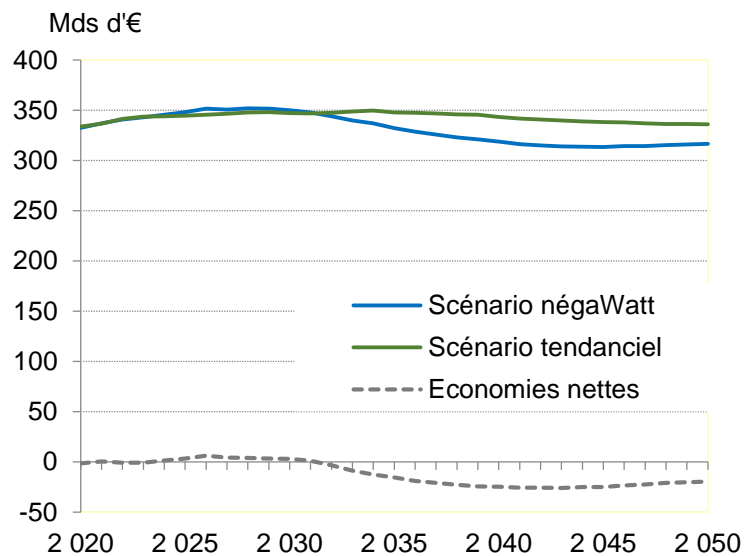
- automobile: fabrication
- automobile: commerce & réparation
- infrastructures de transport ferroviaire
- infrastructures routières
- matériel de transport ferroviaire
- transport ferroviaire voyageurs : exploitation des lignes
- bus/car : exploitation des lignes
- avion voyageurs
- fret ferroviaire
- fret routier
- fret fluvial
- vélo
- bornes de recharges VE
- stations GNV

○ **Réparation**

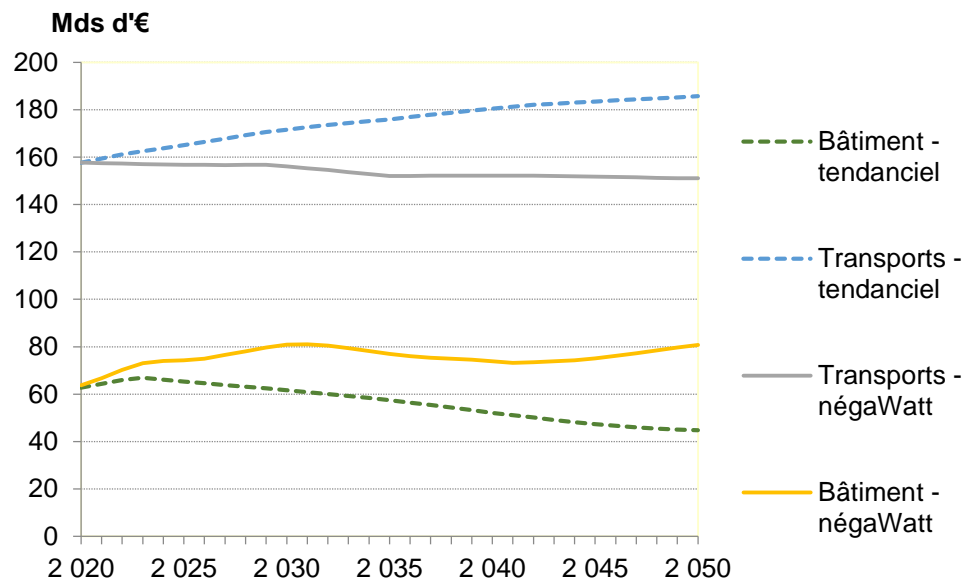
○ **Efficacité des appareils**

○ **Sensibilisation et information**

↘ Pas plus de dépenses, mais réparties autrement



Dépenses totales



Dépenses bâtiment et transports

- **Un effet net positif :**
 - + 100 000 emplois ETP en 2020,
 - + 400 000 en 2030,
 - + 600 000 en 2040

- **Principales activités créatrices d'emplois sur 2030-2050:**
 1. Rénovation thermique des bâtiment (+ 500 000)
 2. Renouvelables (+ 300 000)
 3. Transports en commun (+ 200 000)

- **Un coût proche du tendancier → 2030, plus faible sur 2030-2050**

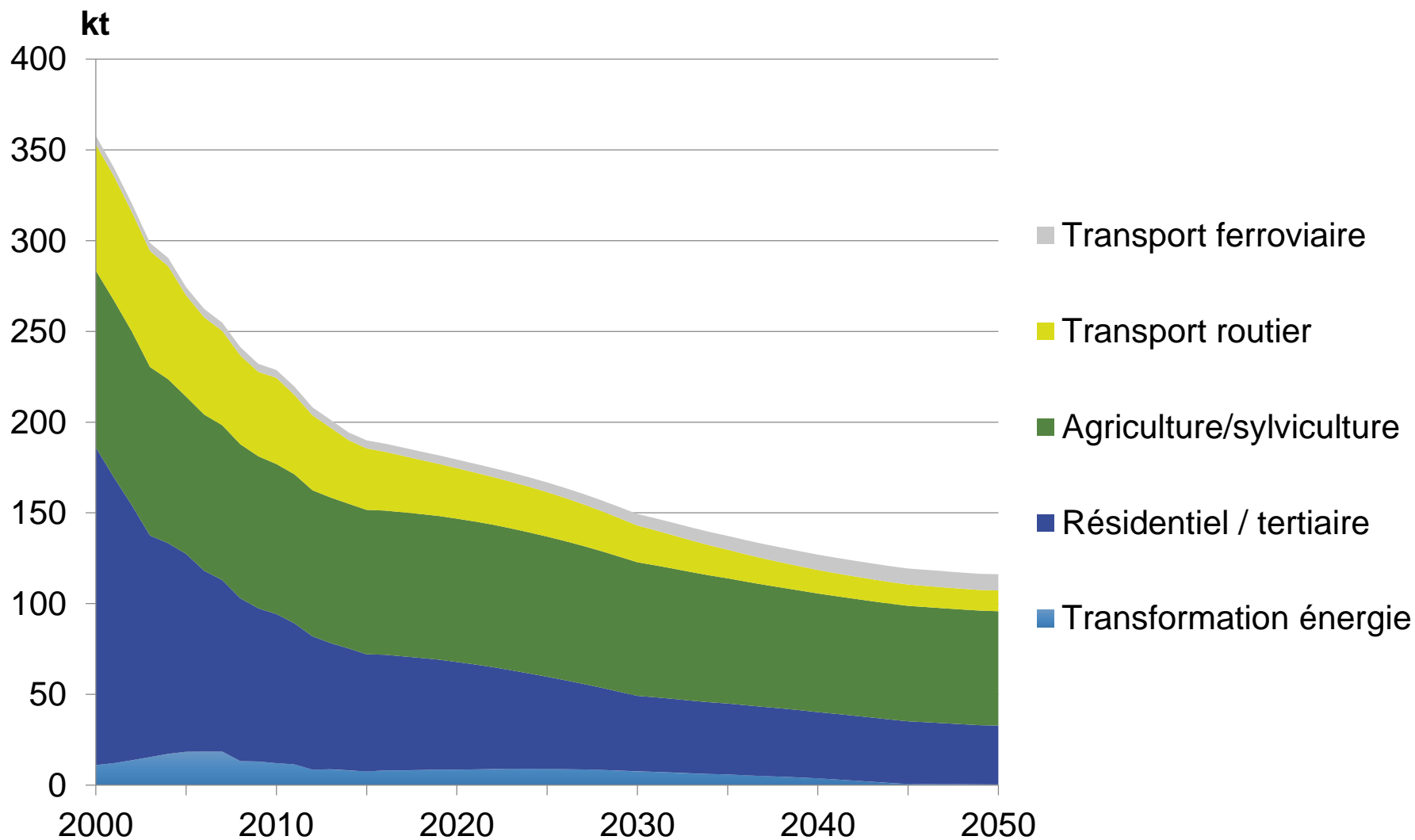
- **Proches des résultats du modèle macroéconomique Three-ME (Ademe/OFCE)**

↳ Évaluation du scénario nW 2011 avec le modèle Three-ME (Ademe-OCFE)



| Comparaison au scénario tendanciel | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|--------|--------|--------|
| PIB | +3,3 % | +3,8 % | +3,5 % |
| Emploi | +0,1 % | +1,3 % | +2,1 % |
| Émissions de CO ₂ par rapport à 2010 | -34 % | -70 % | -88 % |
| Déficit commercial (points de PIB) | -2,7 | -3,5 | -4,3 |

Émissions de particules fines (PM10) en France - hors industrie

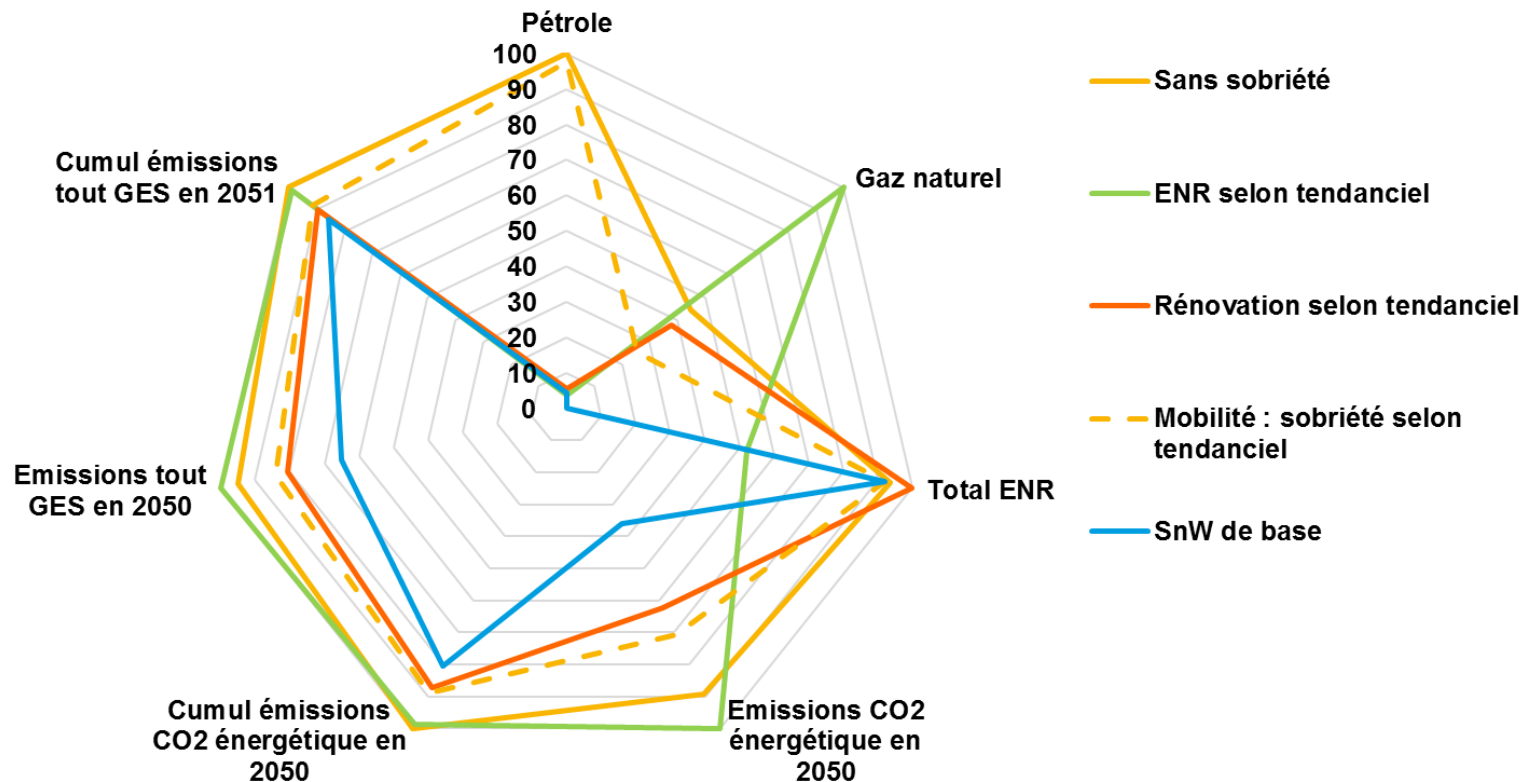


↘ Quelques variantes



○ 4 variantes :

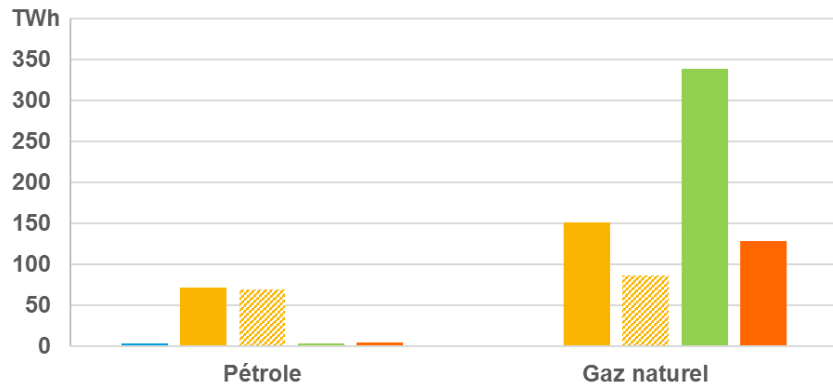
- Sans aucune sobriété
- Sans sobriété sur la mobilité des personnes
- Avec un déploiement des ENR selon le scénario tendanciel (presque 2 fois moins vite que SnW)
- Avec un programme de rénovation du bâtiment selon le scénario tendanciel (3 fois moins ambitieux que SnW)



Principaux résultats



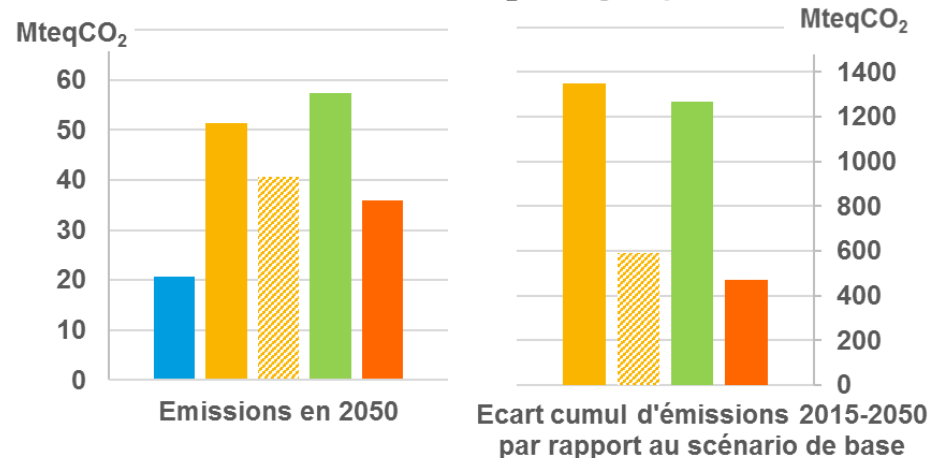
Consommations primaires en 2050



- Dans toutes les variantes, forte augmentation du gaz naturel
- L'absence de sobriété réintroduit des consommations de pétrole
- Au niveau des émissions, l'impact de l'absence de sobriété dans la mobilité représente environ la moitié de l'impact total de l'absence de sobriété

- Importance majeure d'un développement volontariste des ENR
- Variante rénovation selon tendanciel : Impact moindre car production d'énergie très fortement décarbonée

Emissions de CO₂ énergétique



- SnW de base
- Sans sobriété
- ▨ Mobilité : sobriété selon tendanciel
- ENR selon tendanciel
- Rénovation selon tendanciel

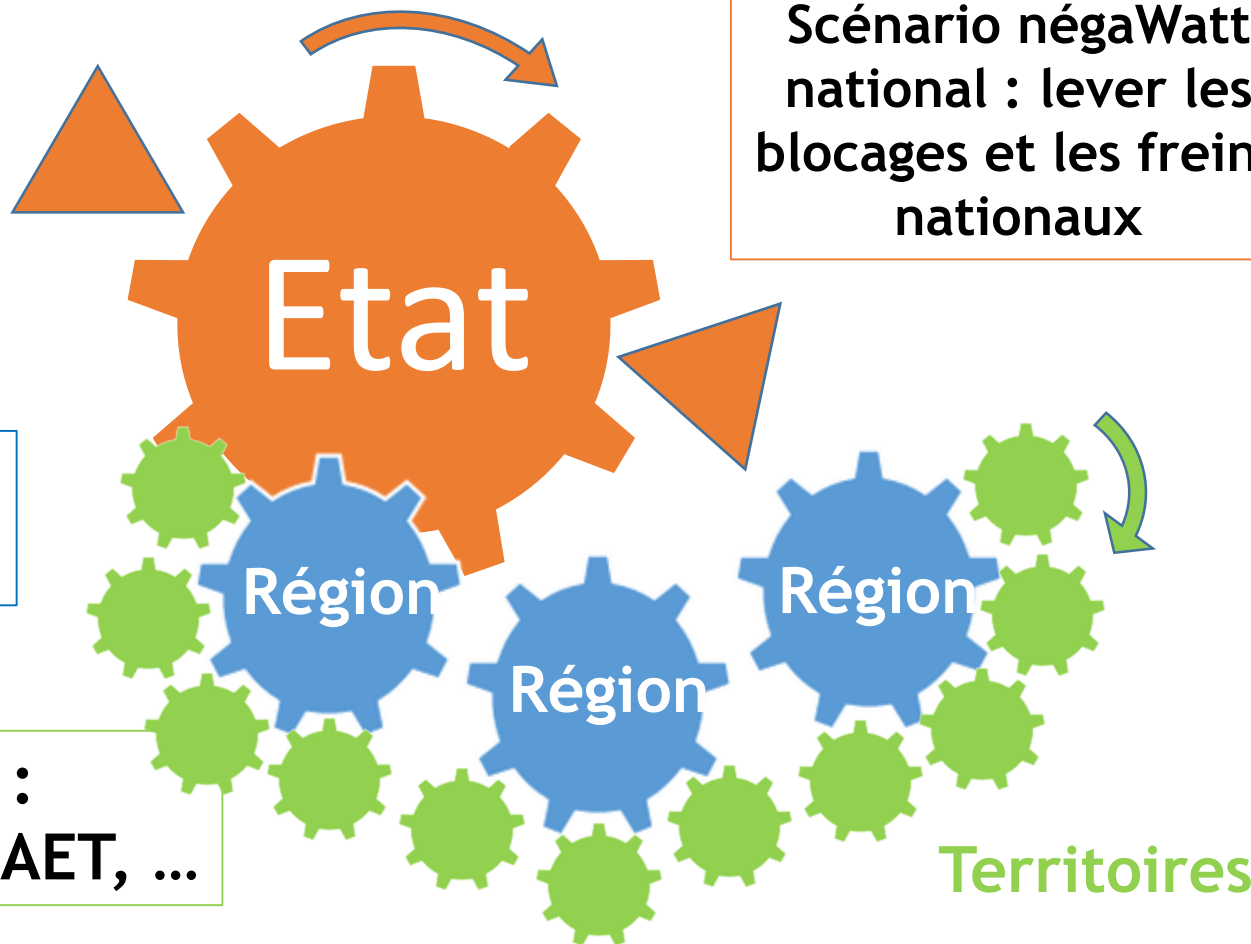
↳ Transition énergétique : créer une dynamique

Niveau national :
Loi TECV, loi
Notre, PLF, ...

Scénario négaWatt
national : lever les
blocages et les freins
nationaux

Niveau régional :
SRADDET

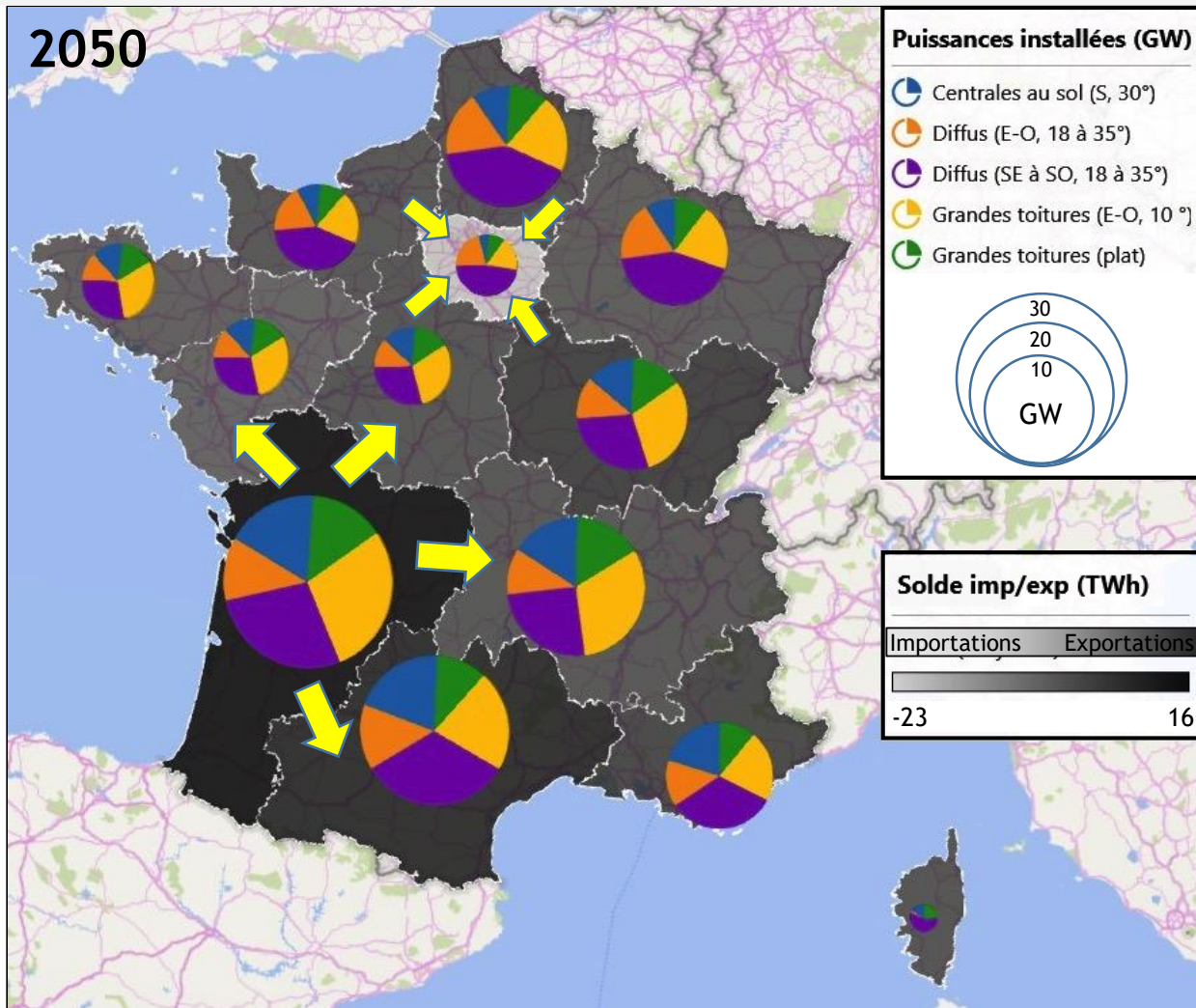
Niveau local :
TEPOS, TEPCV, PCAET, ...



Régionalisation du scénario négaWatt: comprendre les spécificités régionales,
en cohérence avec les objectifs nationaux

Un travail en cours sur les 13 régions françaises

➤ Régionalisation : exemple du photovoltaïque



Utilisations :

- Mise en évidence de la solidarité entre régions
- Inputs pour l'analyse des réseaux et leur renforcement éventuel

Somme des productions régionales = production du scénario négaWatt national