



Scénario négaWatt 2017-2050

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

Stéphane Chatelin et Yves Marignac

Association négaWatt

le 07/03/2017



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



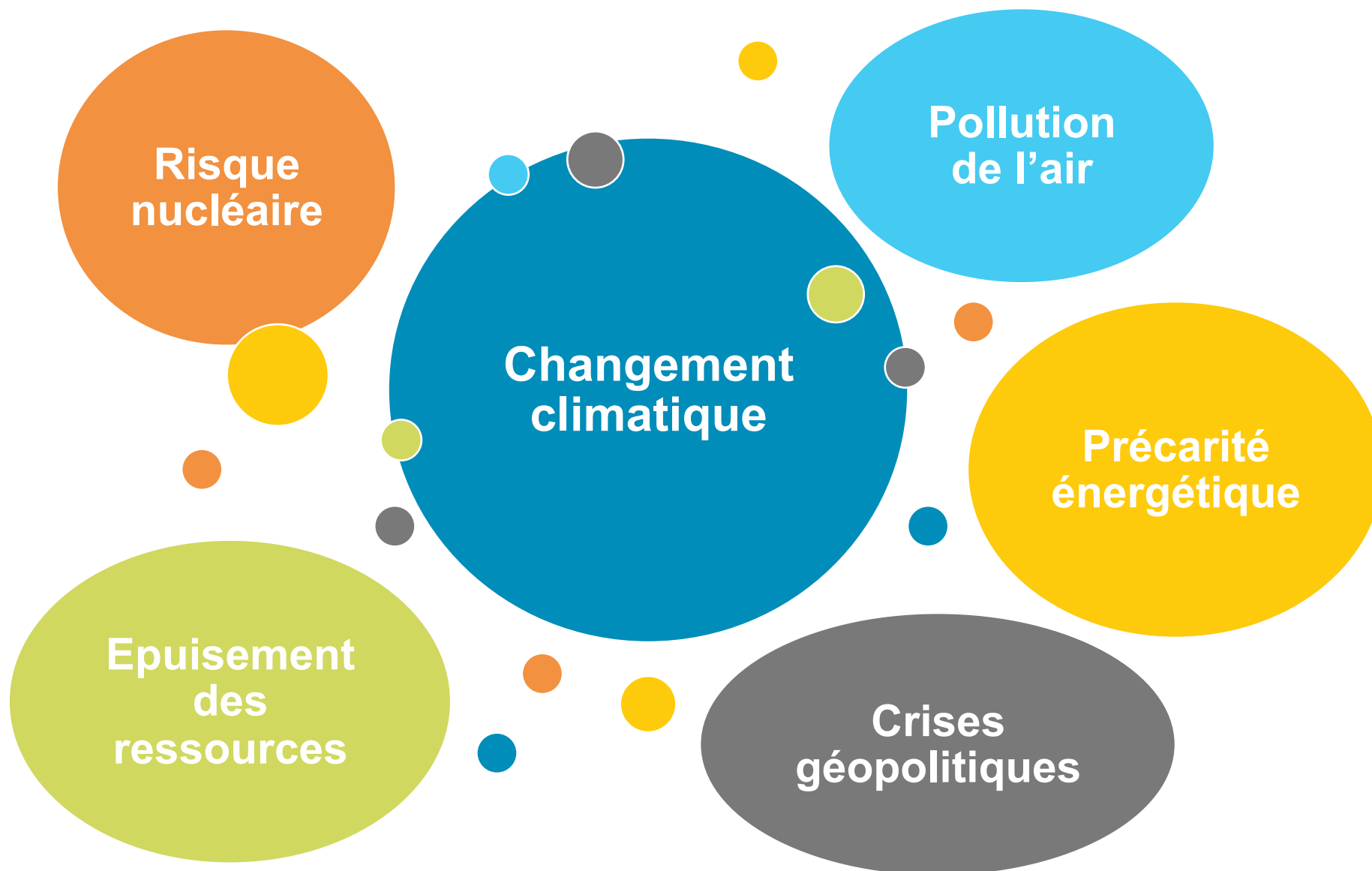
- Créé en 2009
- Filiale et outil opérationnel de l'association



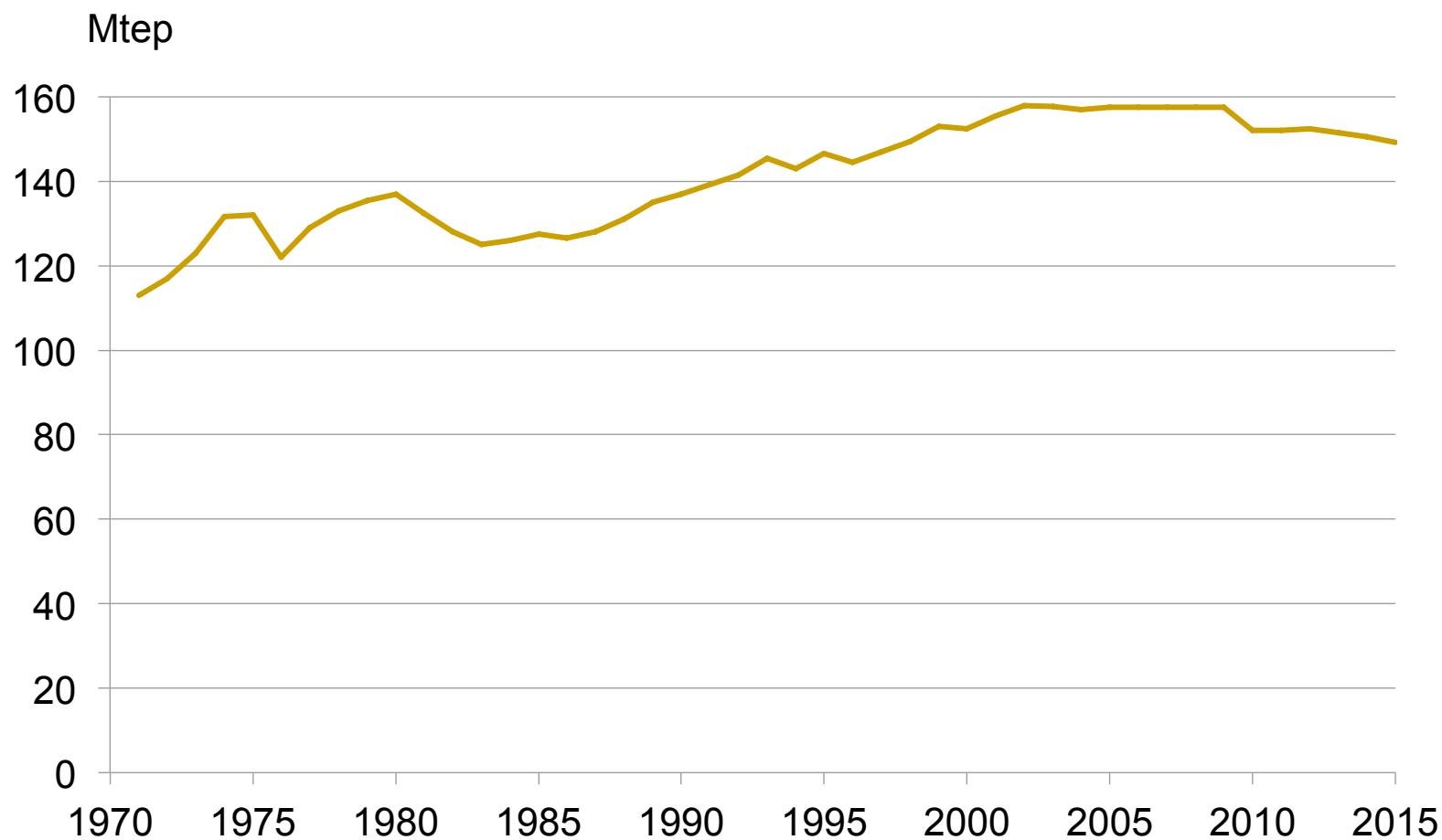
01.

Contexte

↳ **Les raisons d'agir sont multiples**



↘ Stabilisation de la consommation d'énergie finale

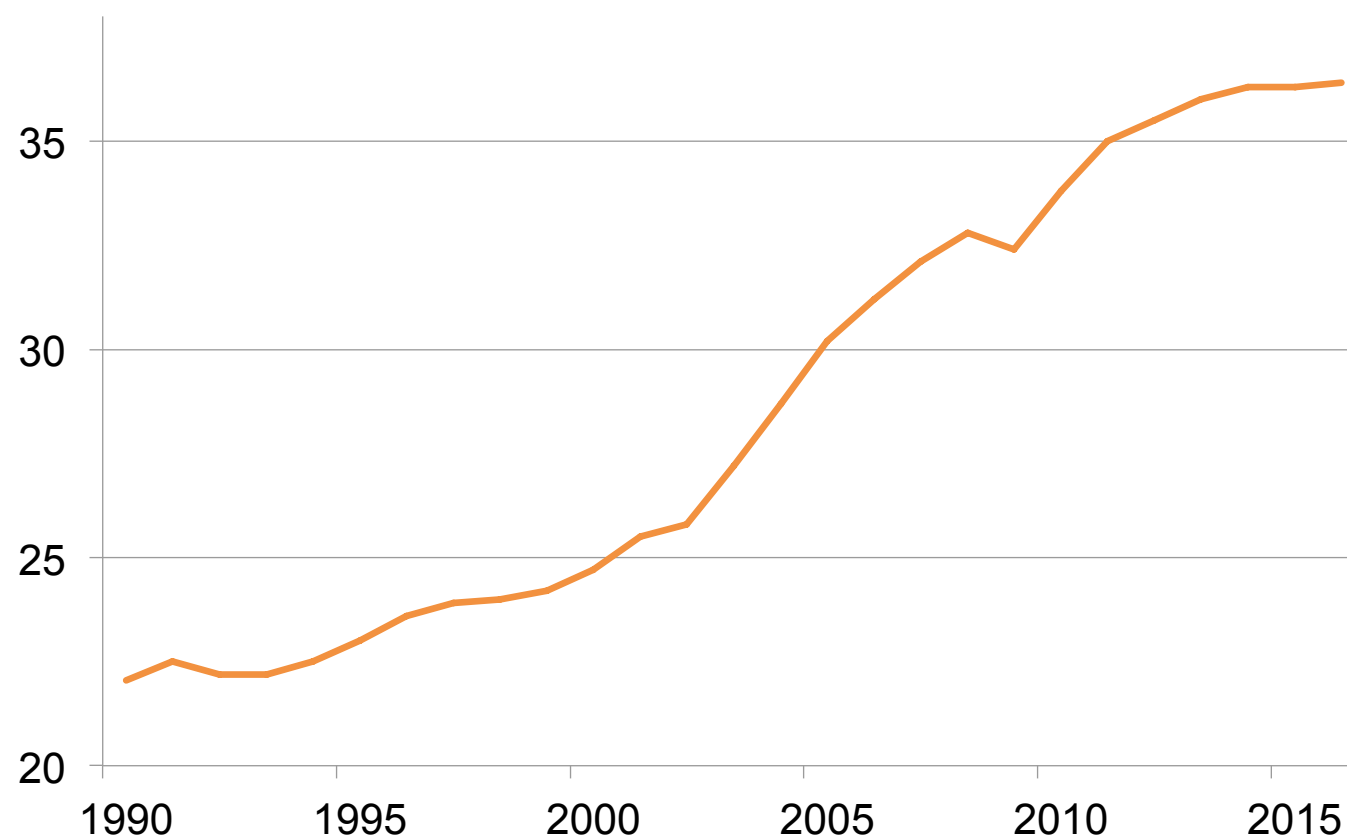


Consommation française d'énergie finale (corrigée du climat)

↘ Inflexion des émissions mondiales de CO₂



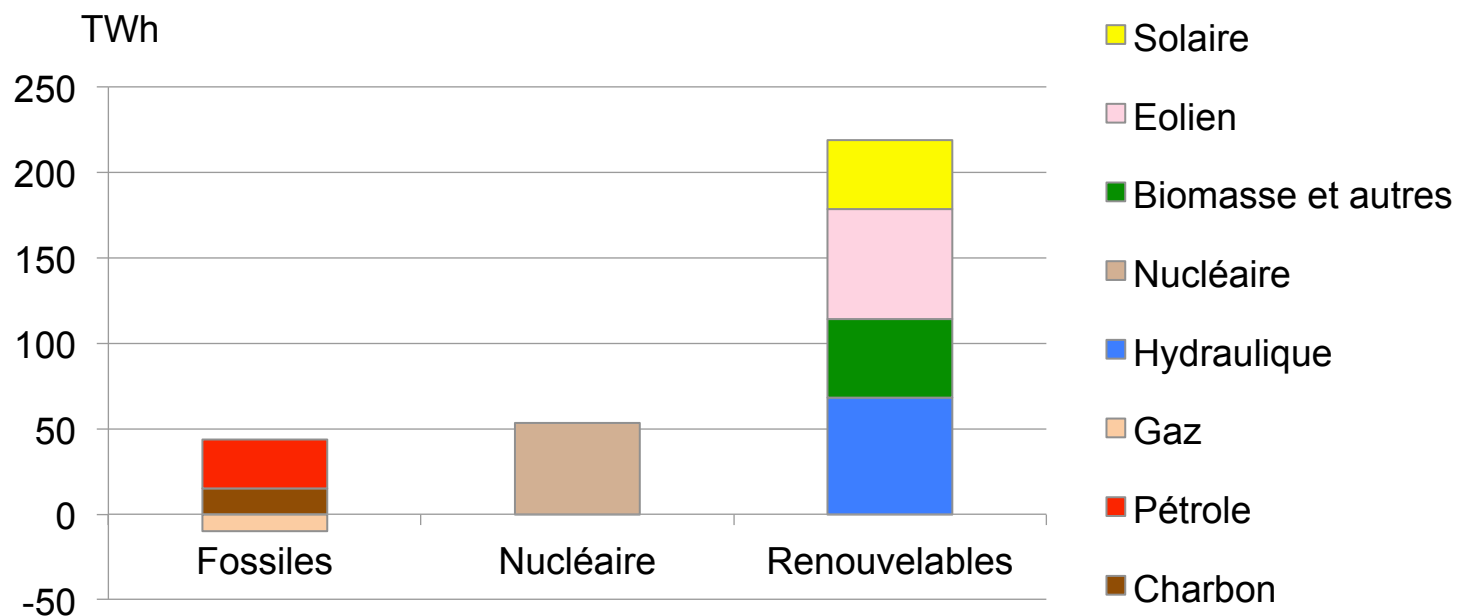
Mds t CO₂ / an



↘ La transition énergétique est engagée



- Stabilisation/baisse des consommations d'énergie et des émissions de CO₂
- Des scénarios 100 % renouvelables qui émergent à travers le monde
- Des acteurs de tous types qui s'engagent
- ... ou se désengagent
- Un mix énergétique en mutation



Évolution de la production mondiale d'électricité par source entre 2013 et 2014

↘ La transition énergétique est engagée



- Stabilisation/baisse des consommations d'énergie et des émissions de CO₂
- Des scénarios 100 % renouvelables qui émergent à travers le monde
- Des acteurs de tous types qui s'engagent
- ... ou se désengagent
- Un mix énergétique en mutation

La transition énergétique est engagée.

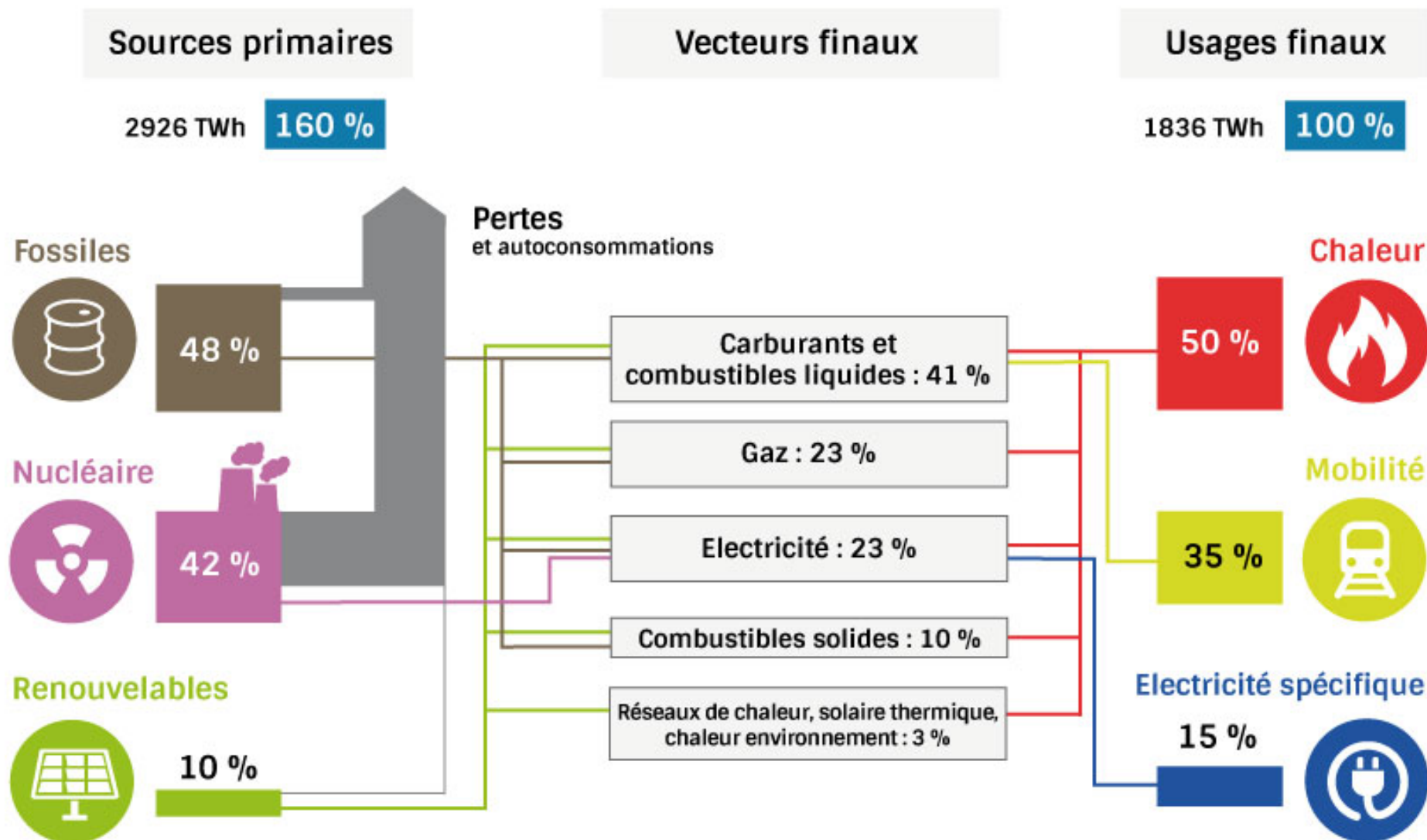
Il faut désormais passer rapidement à la vitesse supérieure.



02.

Énergie : quelques notions

Des usages aux ressources primaires - 2015

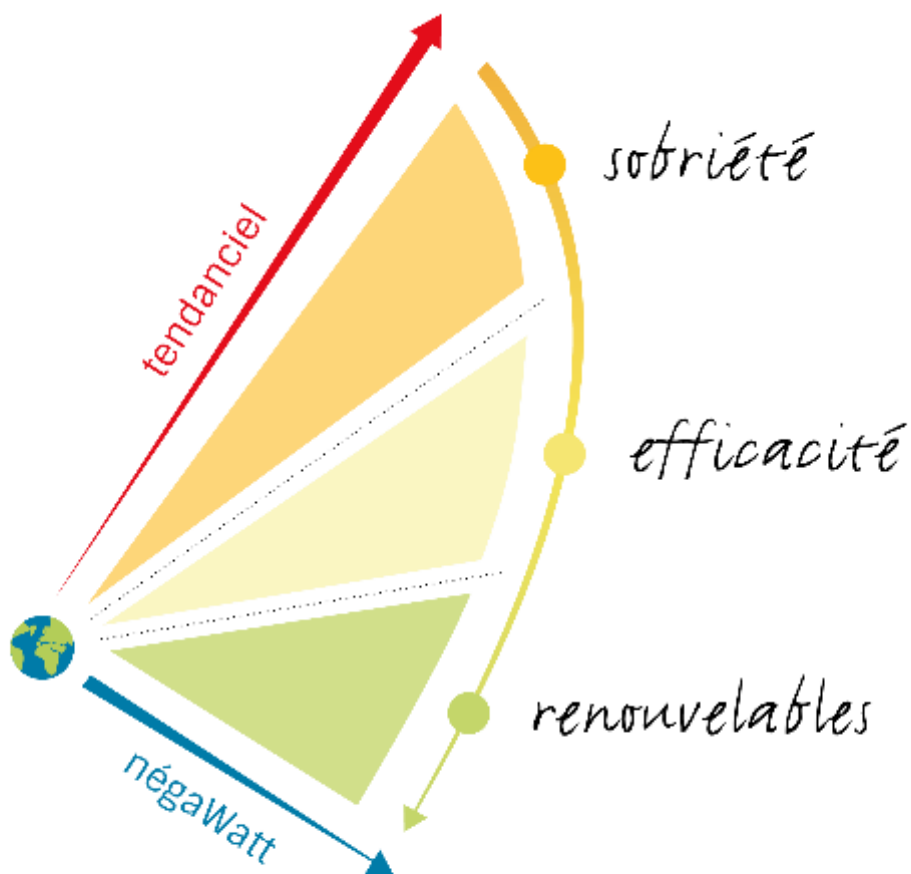




03.

La démarche négaWatt

↳ 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

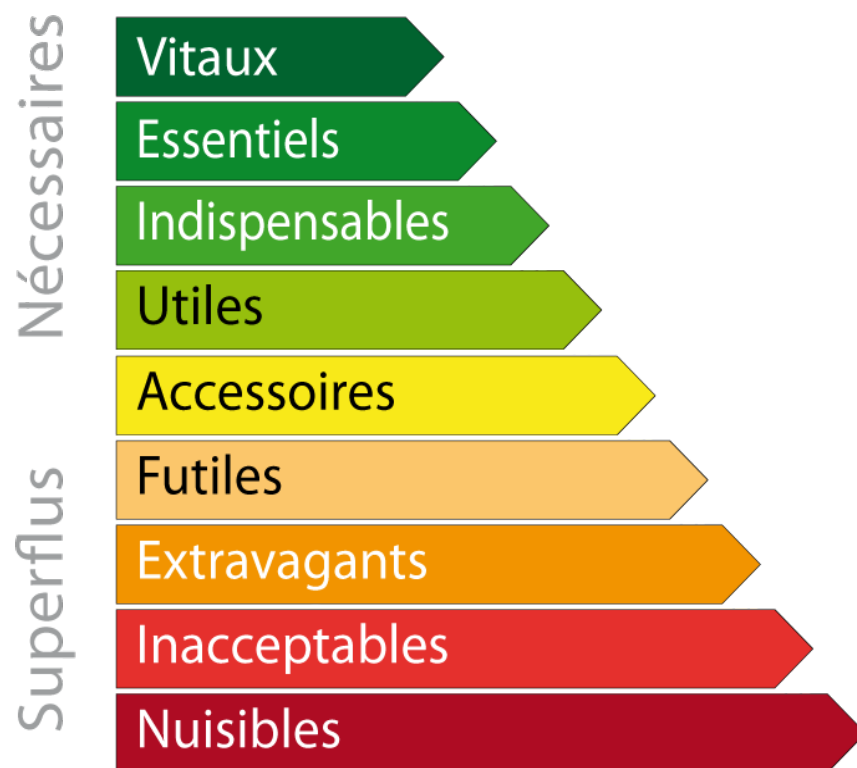
Demande d'énergie

Production

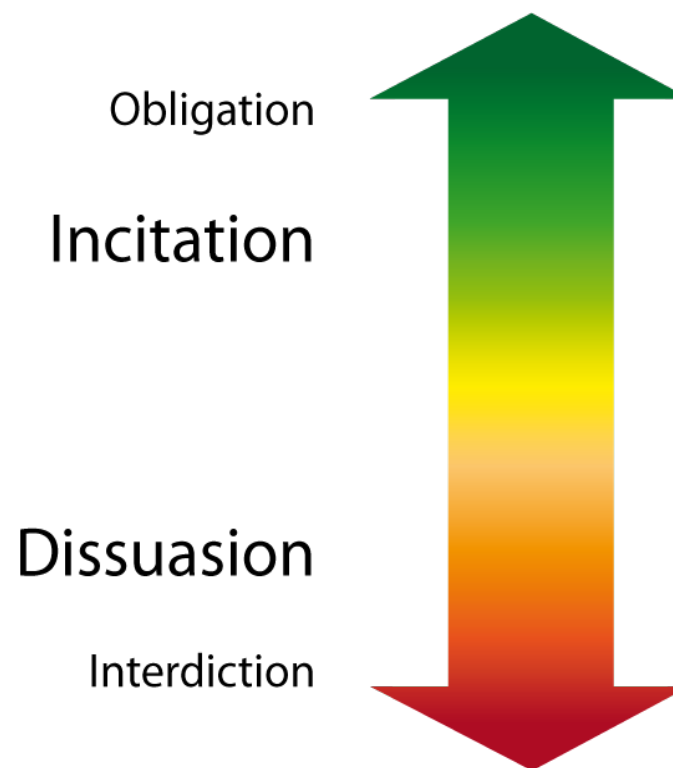
↘ Un nouveau regard sur nos besoins



BESOINS



RÉGULATIONS



↘ Sobriété ou ébriété énergétique ?



Crédit photo : wfeiden

↳ Les trois sobriétés



1

Sobriété dimensionnelle



Taille, juste dimensionnement

Exemples :

- Surface chauffée
- Poids d'une voiture

↘ Les trois sobriétés



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 collectif
- Transports en commun

↘ **Sobriété ou ébriété énergétique ?**



↘ Les quatre efficacités



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)

↘ Les quatre efficacités



1

Efficacité à la construction/fabrication

Énergie grise

Optimisation énergétique en amont et en aval de l'utilisation

2

Efficacité à l'utilisation

Énergie utile

Isolation, apports passifs, échanges avec l'environnement

○ Exemple : isolation des logements



↘ Les quatre efficacités



1

**Efficacité à la construction/
fabrication**

Énergie grise

Optimisation énergétique en amont et en aval de l'utilisation

2

Efficacité à l'utilisation

Énergie utile

Isolation, apports passifs, échanges avec l'environnement

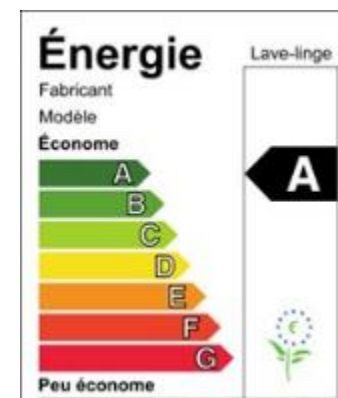
3

Efficacité d'appareillage

Énergie finale

Rendement des appareillages et des équipements, limitation des pertes

- Exemple : utilisation d'appareils électroménagers et d'équipements de chauffage performants et efficaces.



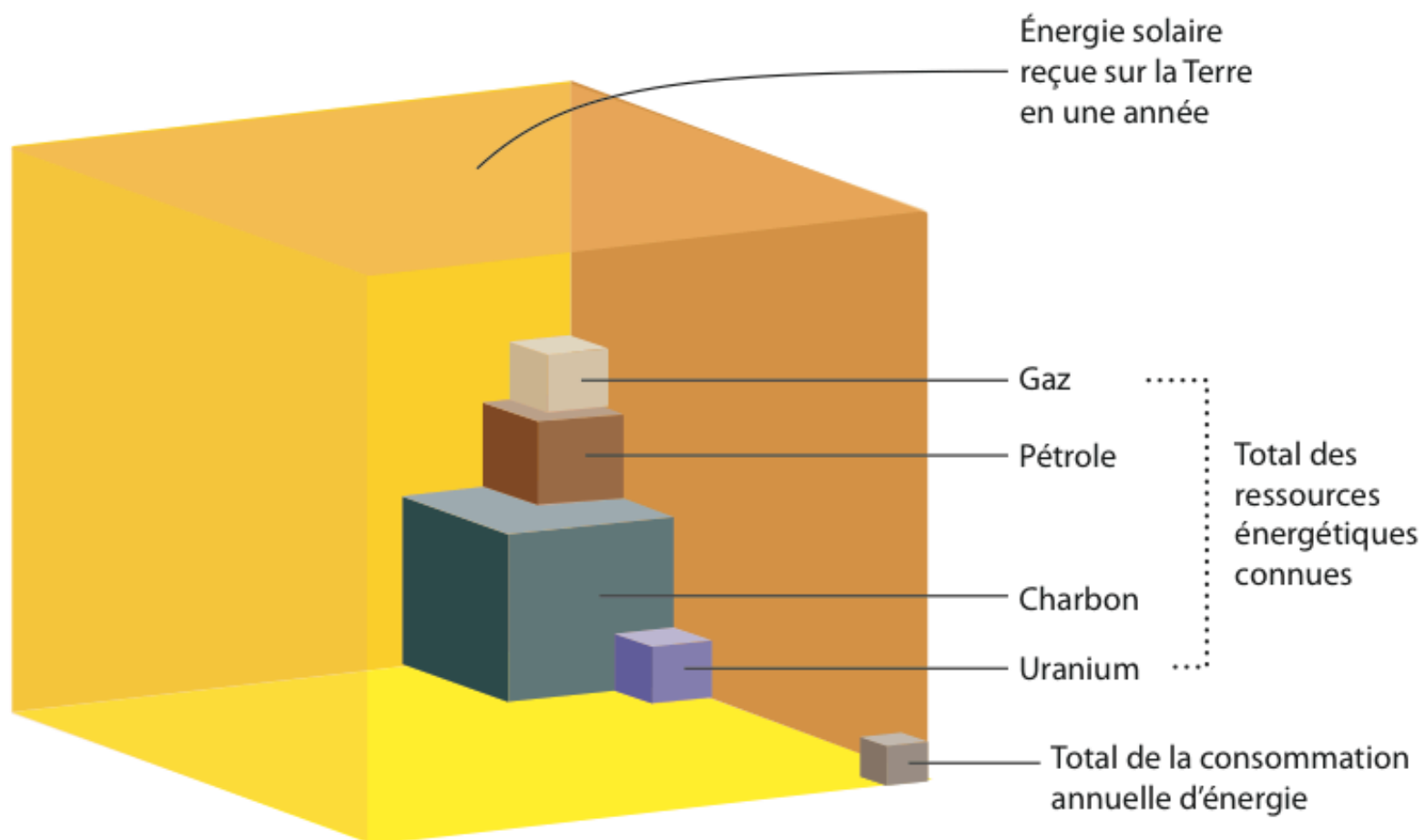
↘ Les quatre efficacités




1	Efficacité à la construction/fabrication	Énergie grise	Optimisation énergétique en amont et en aval de l'utilisation
2	Efficacité à l'utilisation	Énergie utile	Isolation, apports passifs, échanges avec l'environnement
3	Efficacité d'appareillage	Énergie finale	Rendement des appareillages et des équipements, limitation des pertes
4	Efficacité du système productif	Énergie primaire	Conversion d'énergie, récupération d'énergie

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

↳ Les renouvelables : des énergies de flux



Représentation des quantités d'énergies disponibles sur Terre



Scénario négaWatt

2017-2050



↳ Un scénario, pourquoi faire ?



- Un scénario n'est pas une boule de cristal.
- Il décrit une vision à long terme, une trajectoire, un chemin des possibles.



- 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 plusieurs experts de l'association. C'est un travail collectif, rendu possible grâce à l'expérience de terrain des scénaristes.

○ 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*



01.

La demande d'énergie

- **Bâtiment : résidentiel et tertiaire**
- Transports
- Industrie et matériaux
- Agriculture et alimentation

↳ Bâtiment : contexte et enjeux



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



Chaleur : 80 %



Électricité spécifique : 20 %

- L'essentiel du parc immobilier de 2050 est déjà construit
- Chauffage des maisons individuelles d'avant 1975
= **31 %** 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
 - 65 millions d'acteurs concernés !

↳ Un grand programme de rénovations performantes



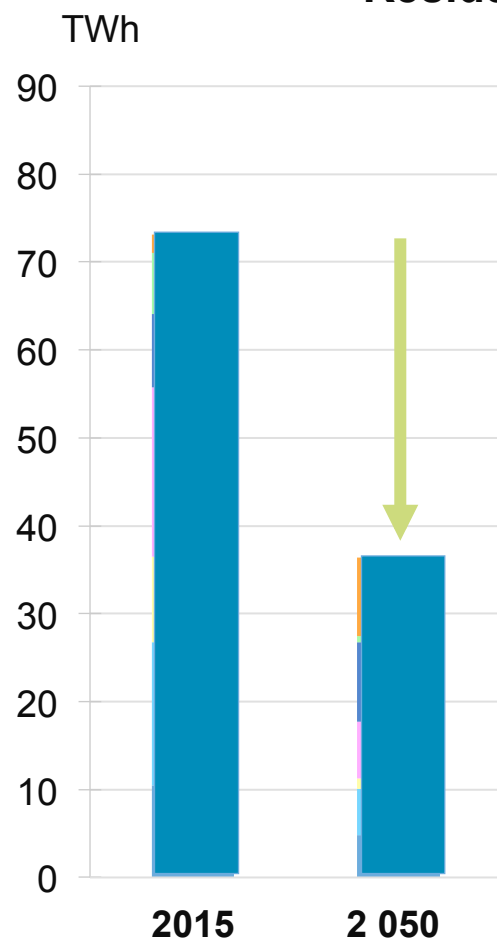
- Objectif : une division par 4 en moyenne de la consommation de chauffage ($< 50 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$)
- Rénover partiellement
= « tuer le gisement » d'économies
- Mettre en œuvre de solutions techniques simples
- Augmenter progressivement le rythme de rénovation jusqu'à **1,1 million équivalent-logements par an**, atteint en 2025
- Rendre la rénovation obligatoire, avec un accompagnement technique et financier
- 300 000 emplois à la clé, non délocalisables



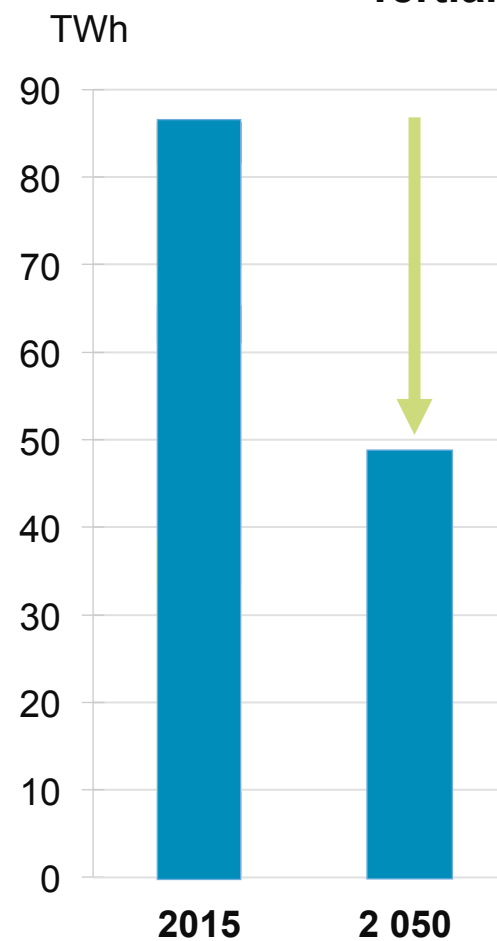
↘ Une division par 2 des consommations d'électricité



Résidentiel



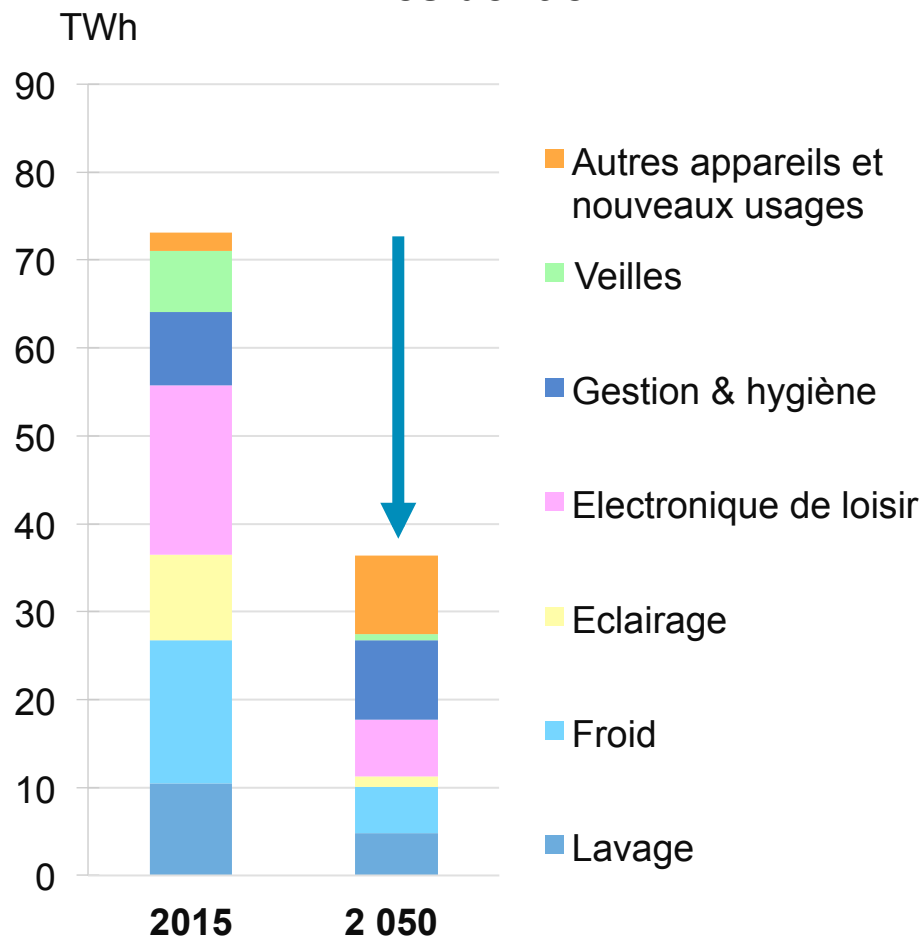
Tertiaire



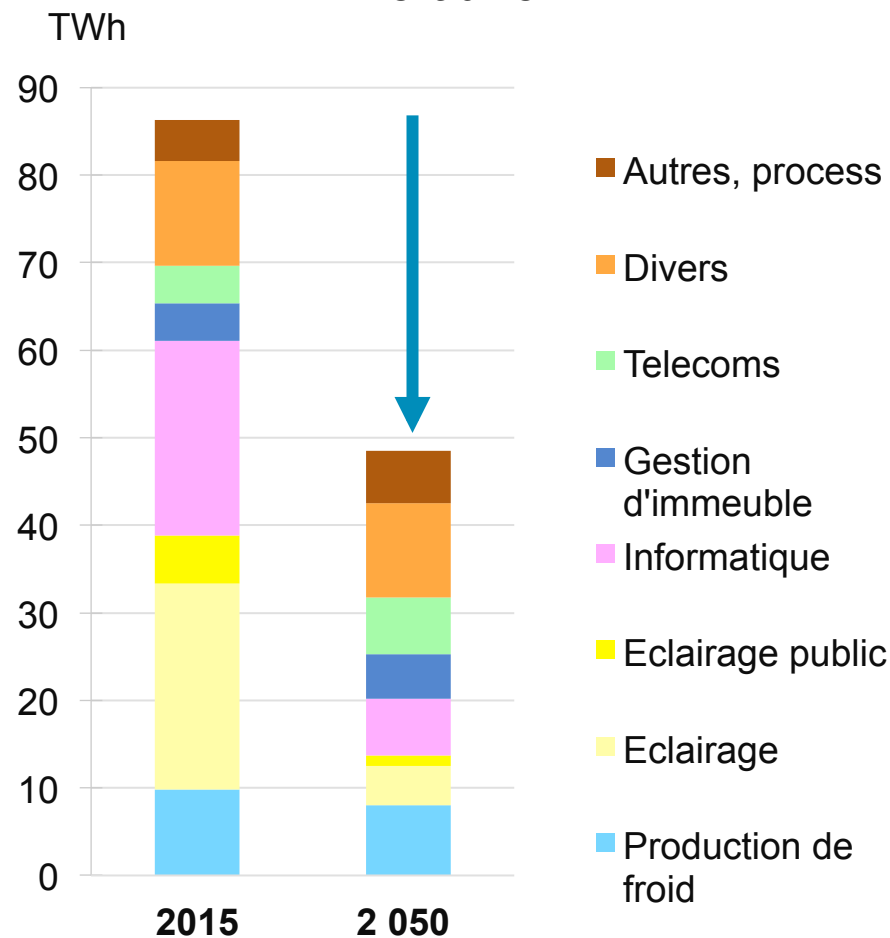
↘ Une division par 2 des consommations d'électricité



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 %

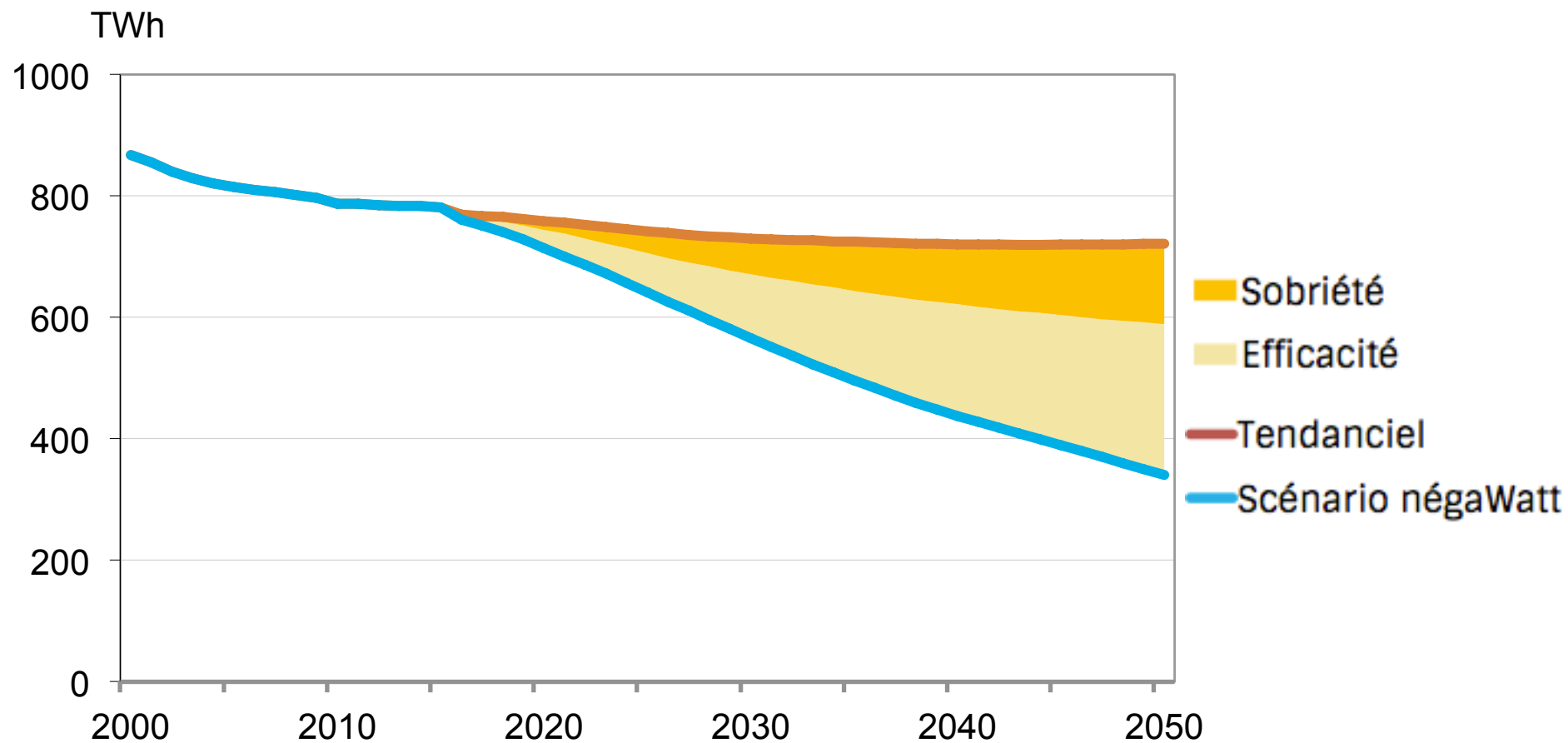
○ Informatique :

- 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**

↘ - 56 % d'énergie finale dans le bâtiment



Evolution de la consommation d'énergie finale dans le secteur du bâtiment



01.

La demande d'énergie

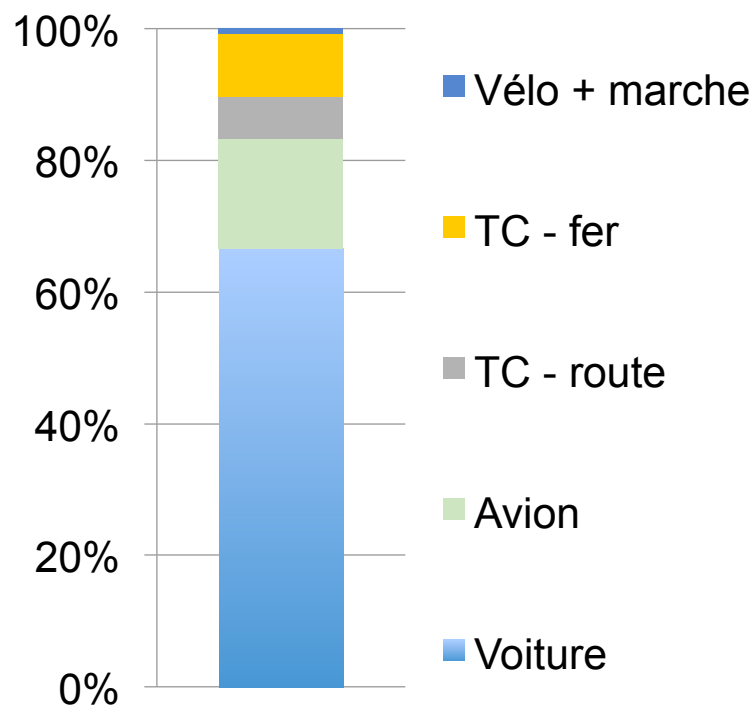
- Bâtiment : résidentiel et tertiaire
- **Transports**
- Industrie et matériaux
- Agriculture et alimentation

↳ Transports : contexte et enjeux

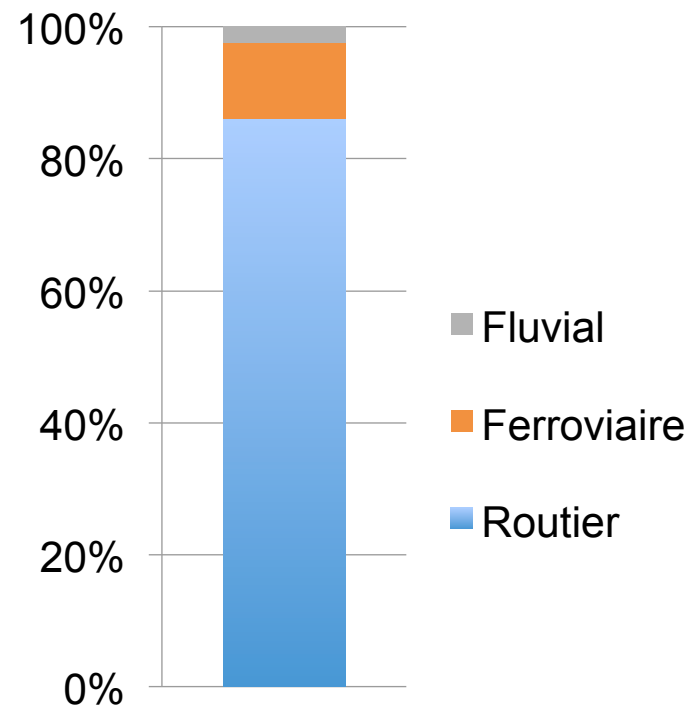


- **Premier secteur d'émissions de gaz à effet de serre**
- Des déplacements fortement **dépendants du pétrole**
- Un aménagement du territoire **favorisant le trafic routier**
- Un **effondrement du fret ferroviaire**
divisé par deux entre 2000 et 2010
- Une **explosion du trafic aérien** : +50 % en 15 ans
→ Le mode de transport le plus polluant

Mobilité des personnes (voy.km)



Marchandises (t.km)



Parts modales en 2015

↳ Mobilité des personnes : principales hypothèses



○ 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**



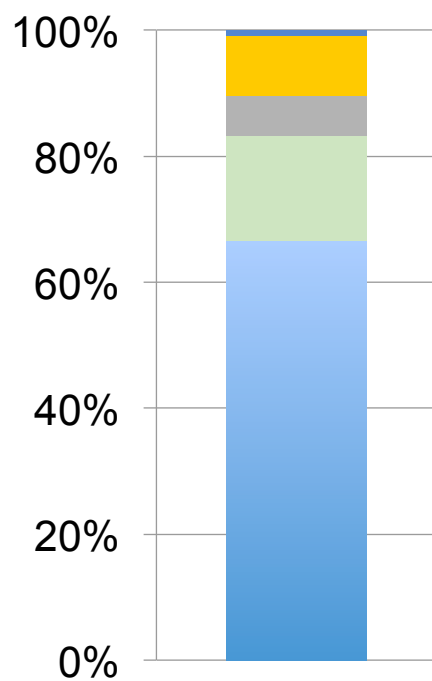
- **Baisse de la vitesse sur route et autoroute**
- **Report modal vers transports en commun, vélo et marche à pied**



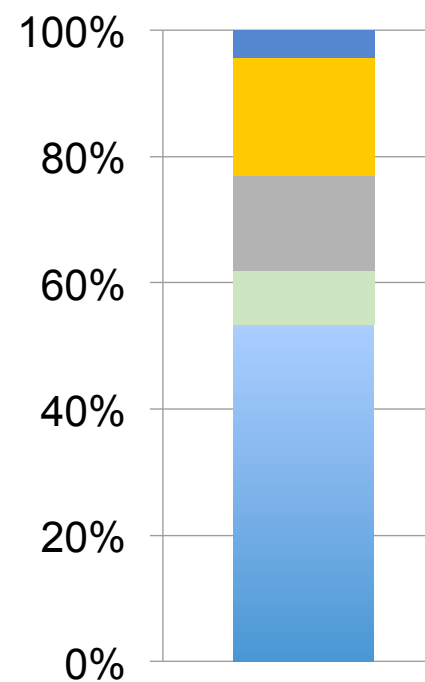
↳ Mobilité des personnes : principales hypothèses



2015 - 17 200 km / hab / an



2050 - 14 600 km / hab / an



■ Voiture

■ Avion

■ TC - route

■ TC - fer

■ Vélo + marche

↳ 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**

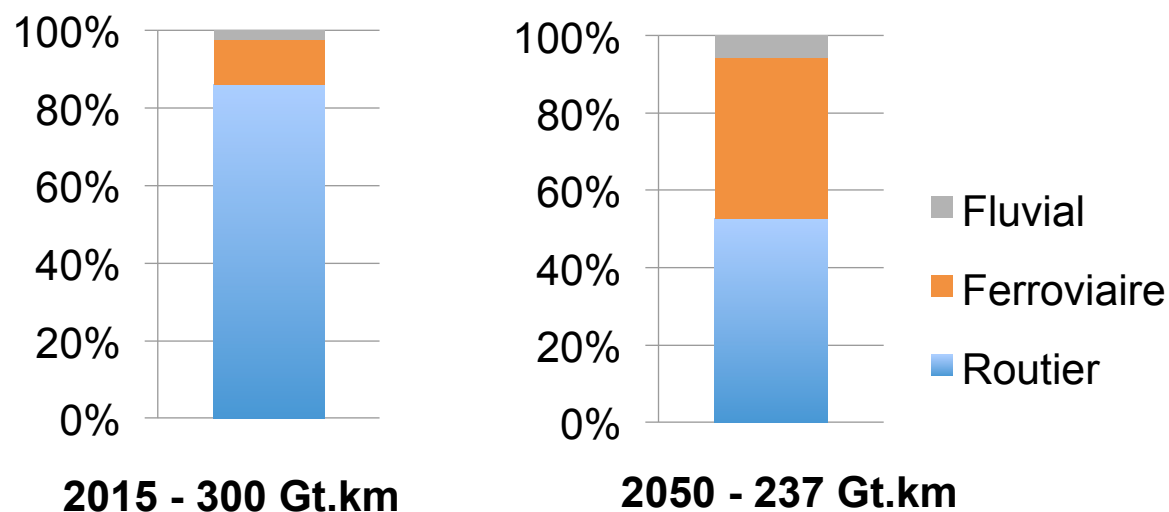
- › Principalement en milieu urbain, en autopartage
- › Mais aussi en péri-urbain / rural
- › Impacts positifs sur la qualité de l'air

↳ Transport de marchandises : principales hypothèses



○ Sobriété

- Réduction des tonnages transportés, hausse du taux de remplissage
- Report modal vers le ferroviaire et le fluvial

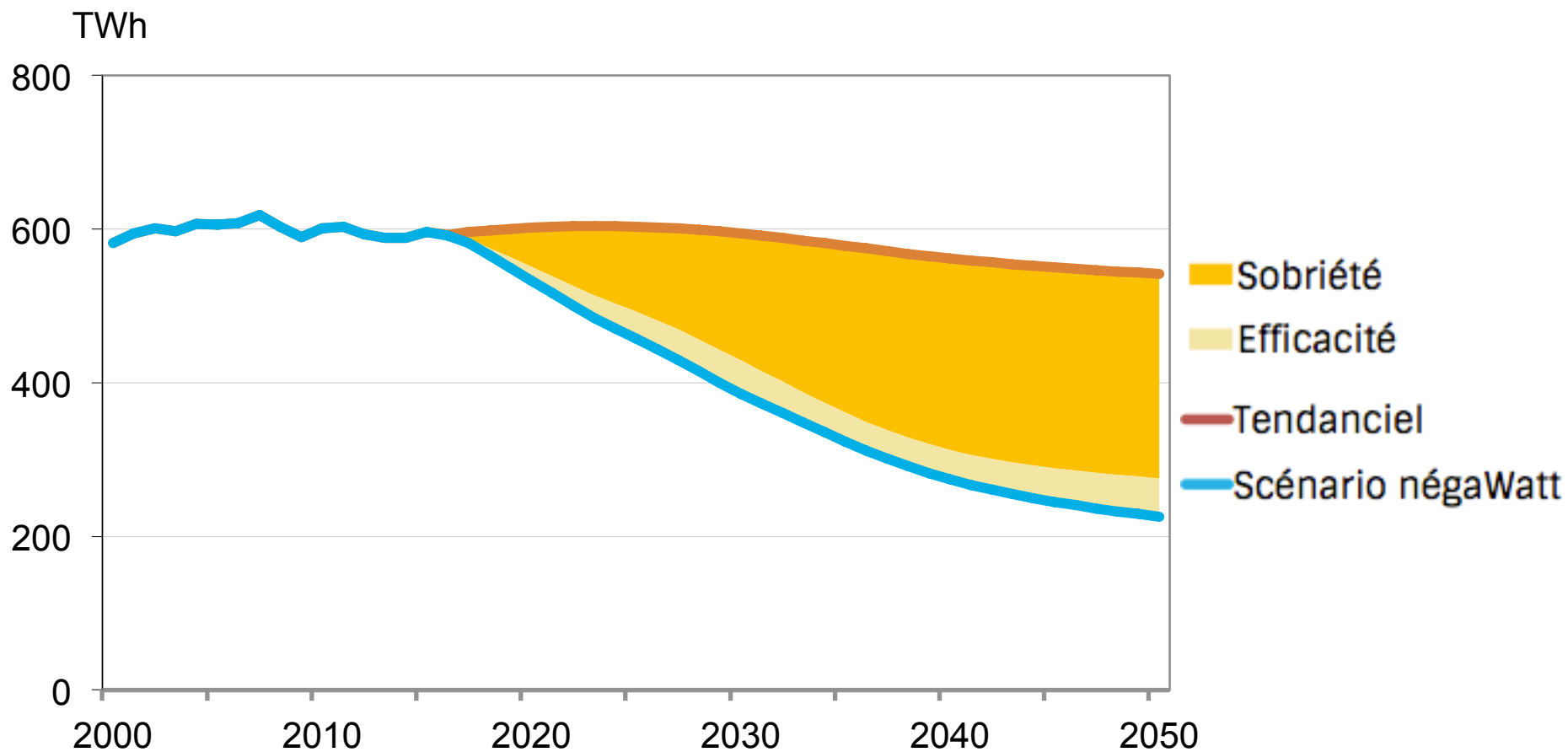


○ Efficacité énergétique

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

○ Fret routier : basculement du pétrole vers le gaz

↘ - 60 % d'énergie finale dans les transports



Evolution de la consommation d'énergie finale dans le secteur des transports



01.

La demande d'énergie

- Bâtiment : résidentiel et tertiaire
- Transports
- **Industrie et matériaux**
- Agriculture et alimentation

○ 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

↳ Sobriété et efficacité



○ Sobriété

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

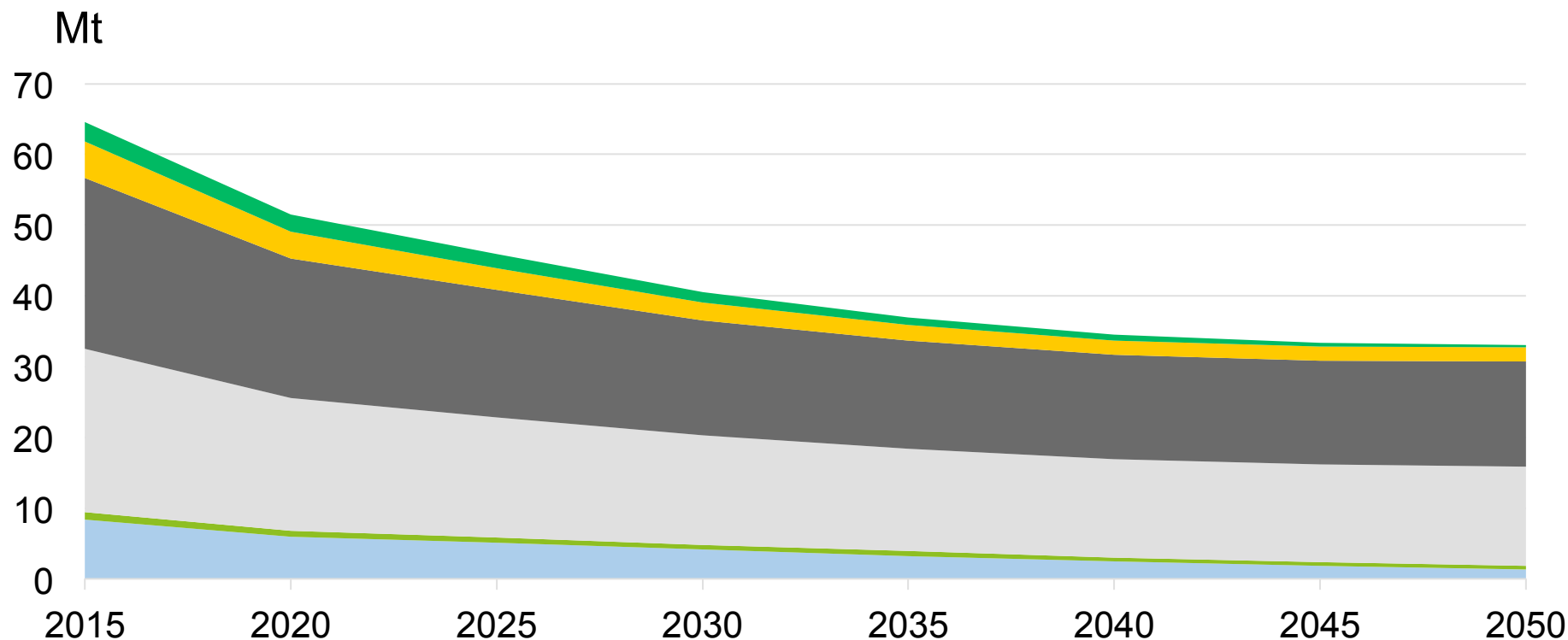


○ Efficacité

- Amélioration des process industriels



↘ - 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 %



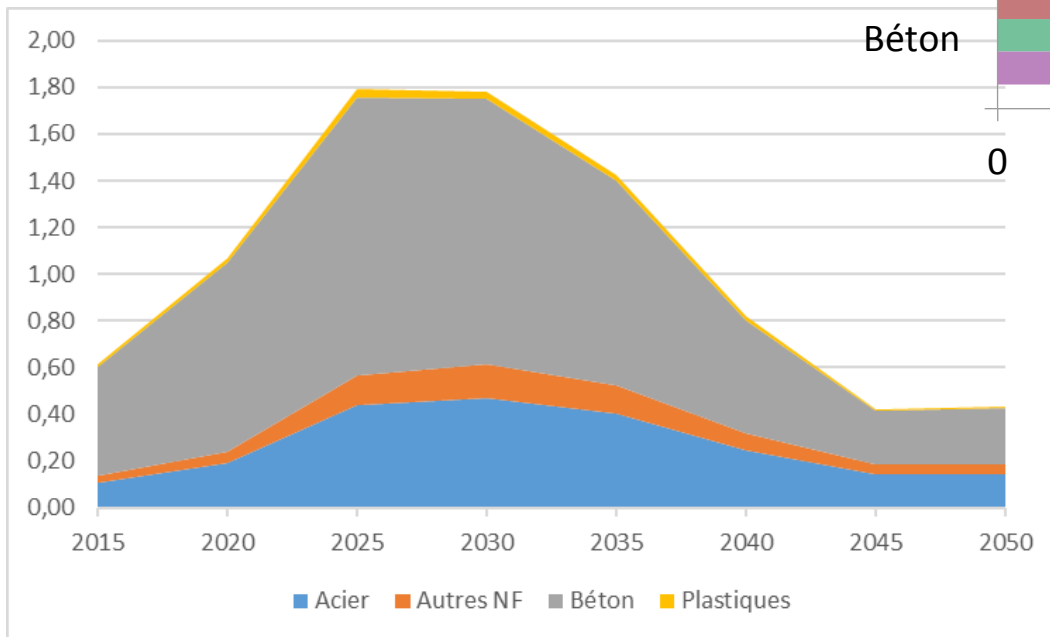
Crédit photo : Menuiserie Bishop (26)



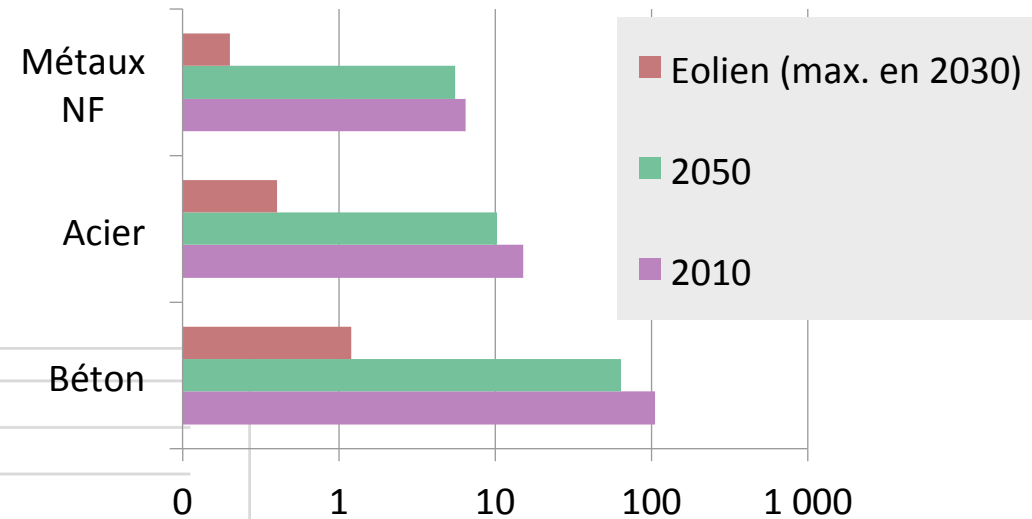
Impact du développement des renouvelables sur la consommation de matériaux



Exemple : quantité de matériaux pour l'éolien en Mt

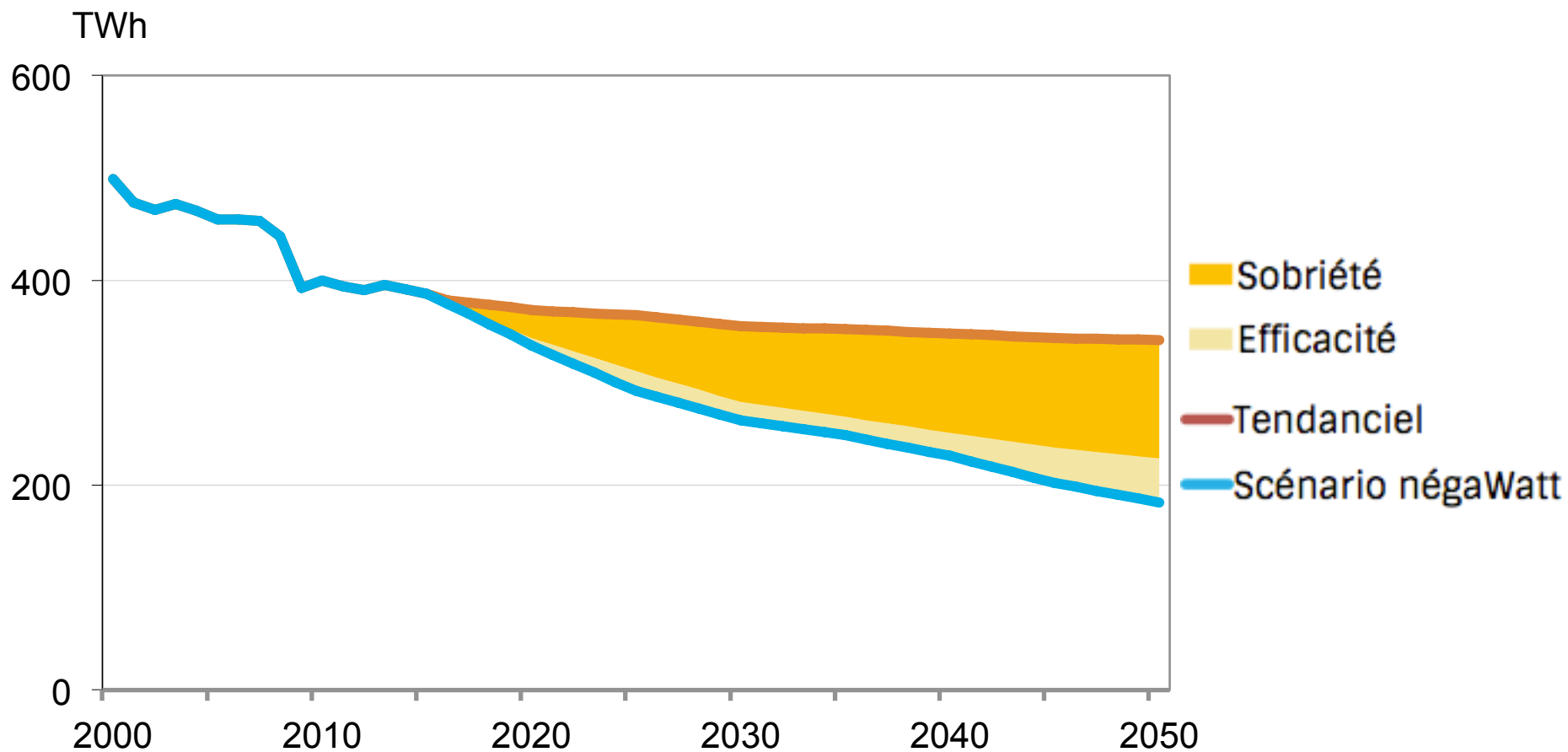


Comparaison avec la consommation nationale en Mt (échelle logarithmique)



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

↘ - 46 % d'énergie finale dans l'industrie



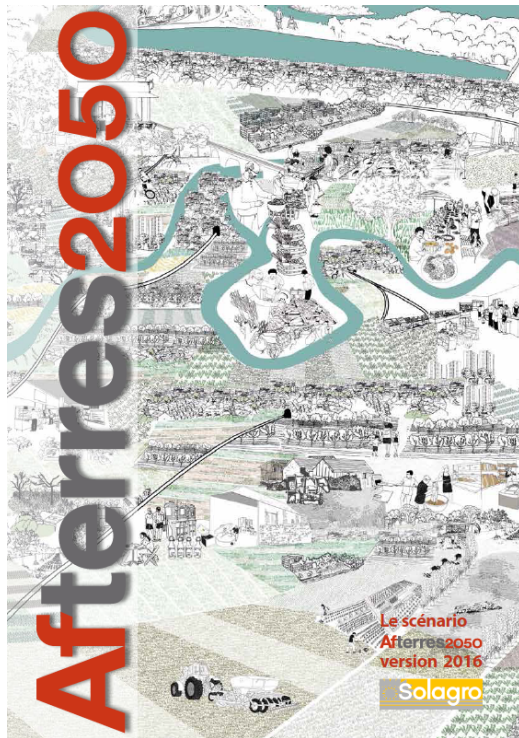
Evolution de la consommation d'énergie finale dans le secteur industriel



01.

La demande d'énergie

- Bâtiment : résidentiel et tertiaire
- Transports
- Industrie et matériaux
- **Agriculture et alimentation**



- 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

ROTAION INTÉGRANT DES LÉGUMINEUSES

COUVERTS VÉGÉTAUX

TECHNIQUES CULTURALES SIMPLIFIÉES

SEMIS DIRECT SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE

PRÉS-VERGER

SEMENCE PAYSANNE



02.

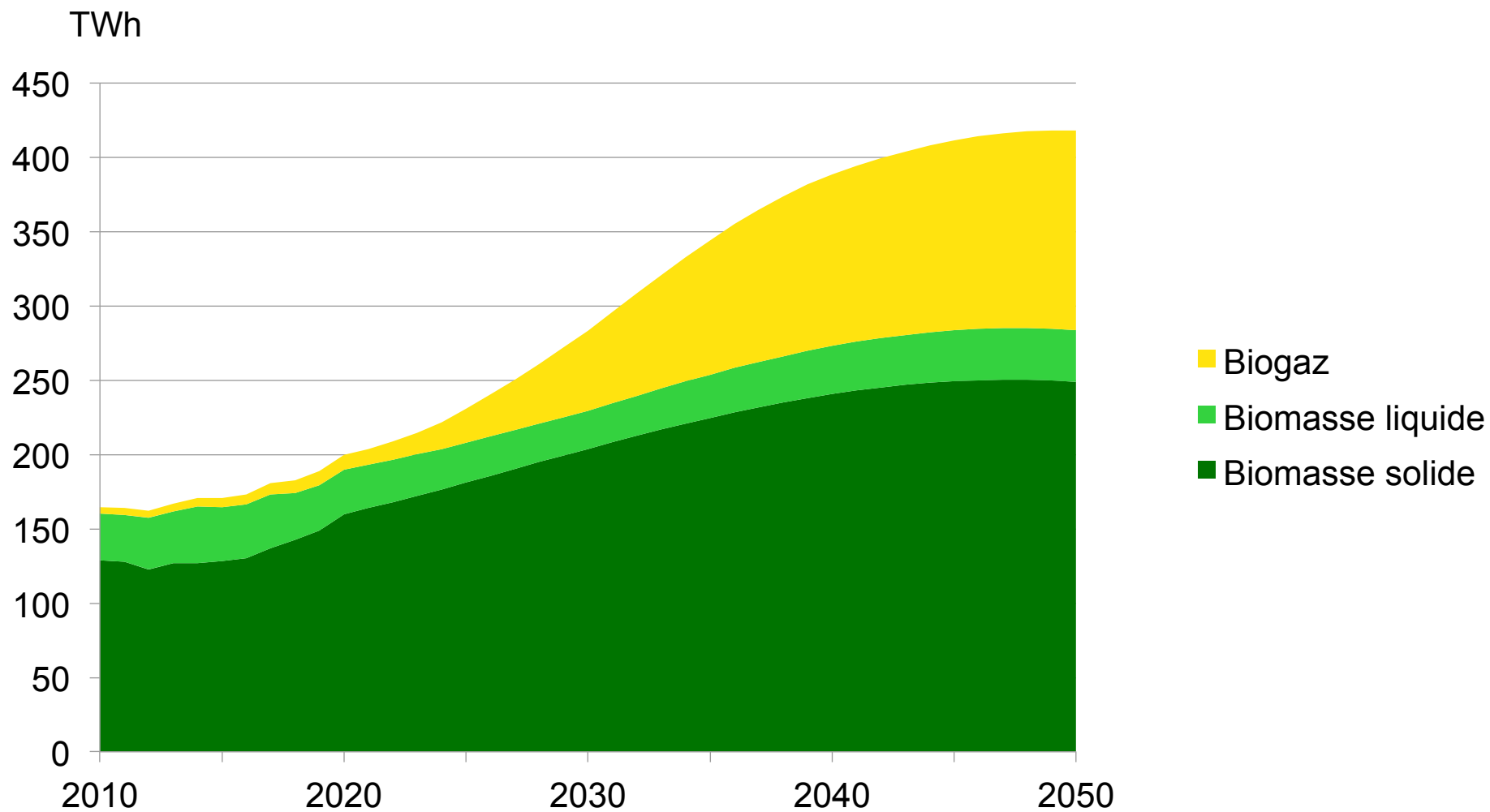
La production d'énergie

- **Bioénergies**
- Énergies renouvelables électriques
- Nucléaire
- Vecteurs et équilibre des réseaux

↘ 420 TWh de Bioénergies



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



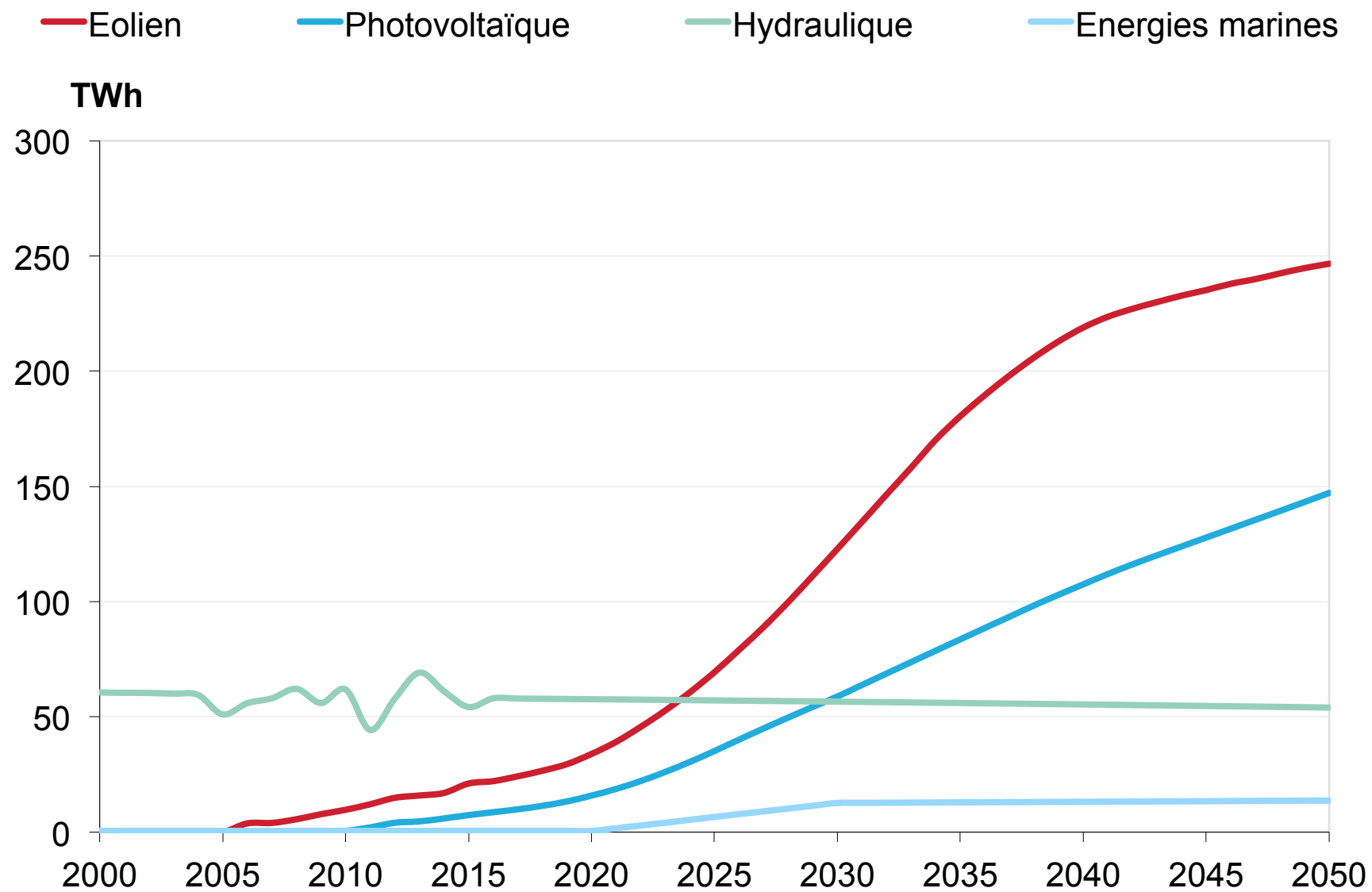


02.

La production d'énergie

- Bioénergies
- **Énergies renouvelables électriques**
- Nucléaire
- Vecteurs et équilibre des réseaux

↘ Ensemble des renouvelables électriques



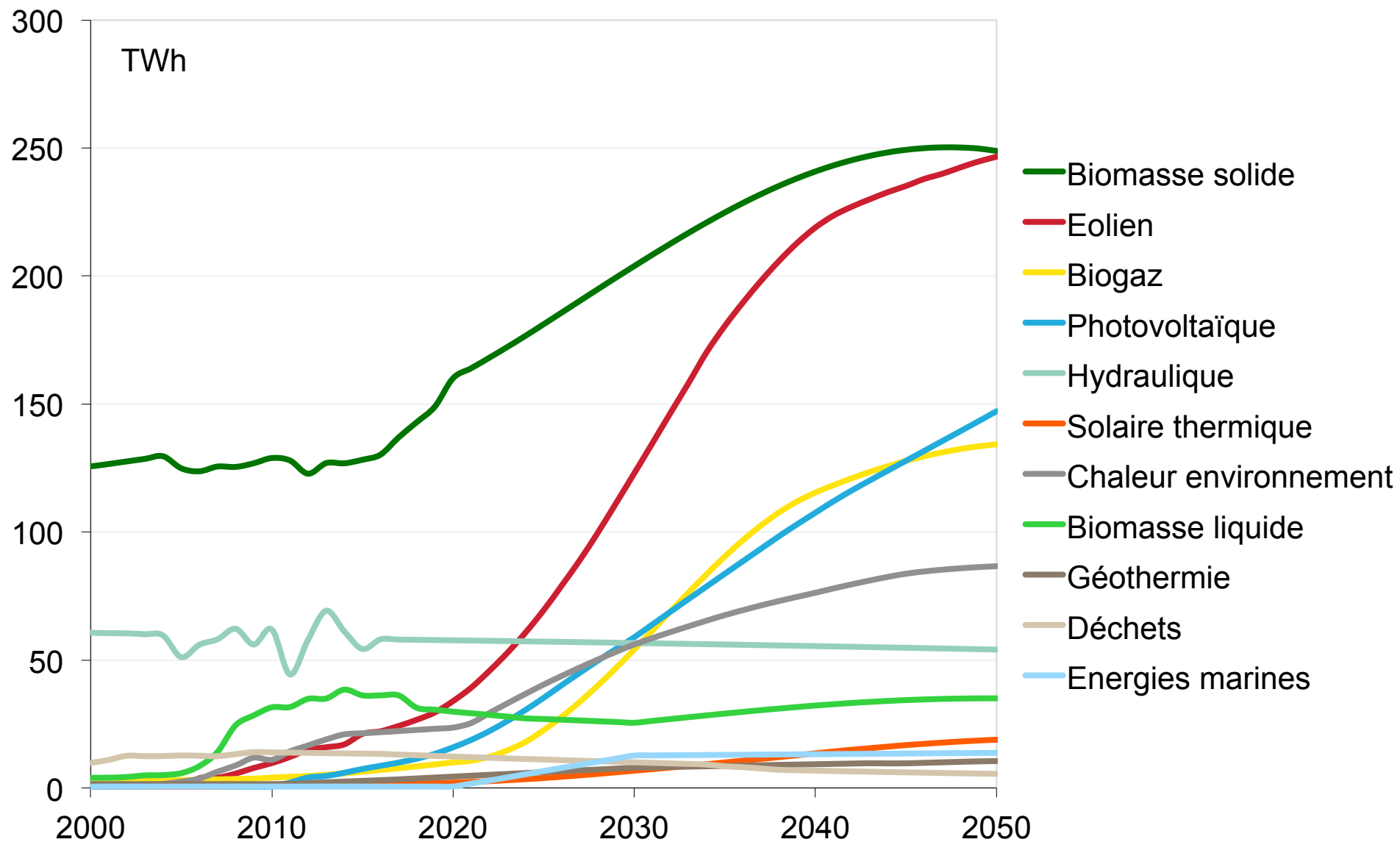


Développement de la production d'électricité renouvelable



	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



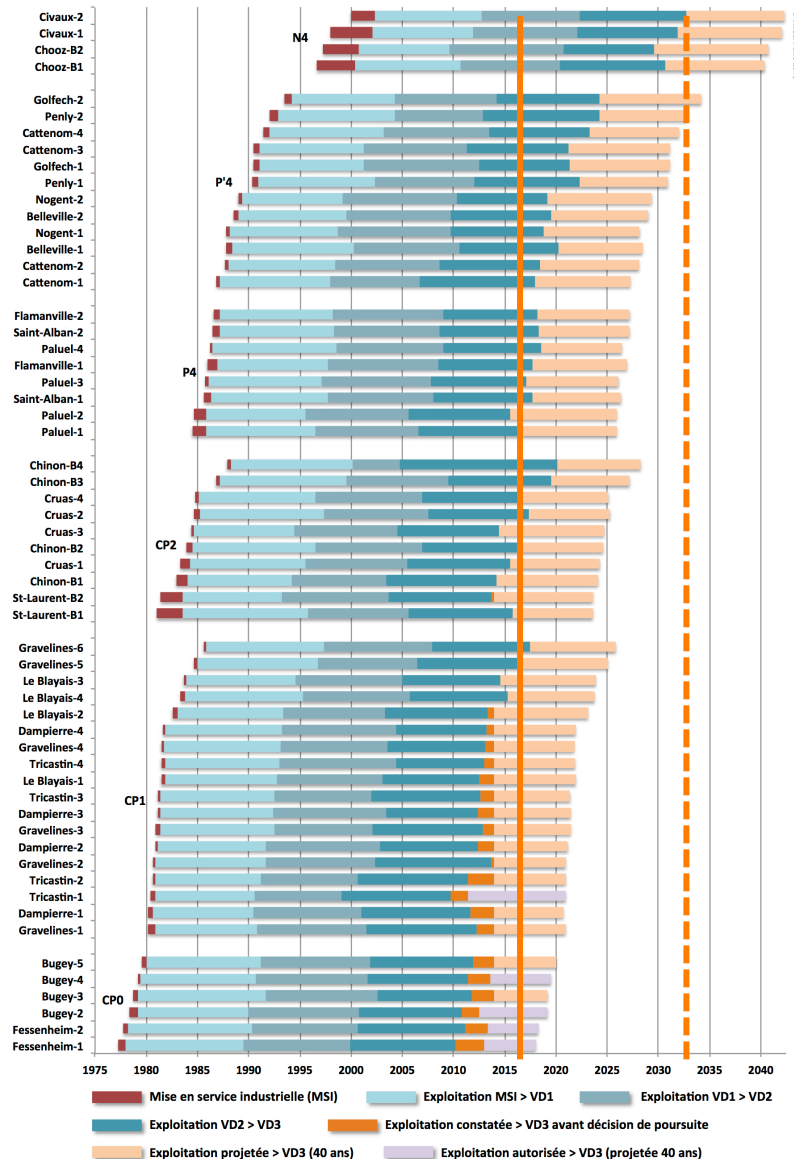


02.

La production d'énergie

- Bioénergies
- Énergies renouvelables électriques
- **Nucléaire**
- Vecteurs et équilibre des réseaux

↘ Situation du parc nucléaire



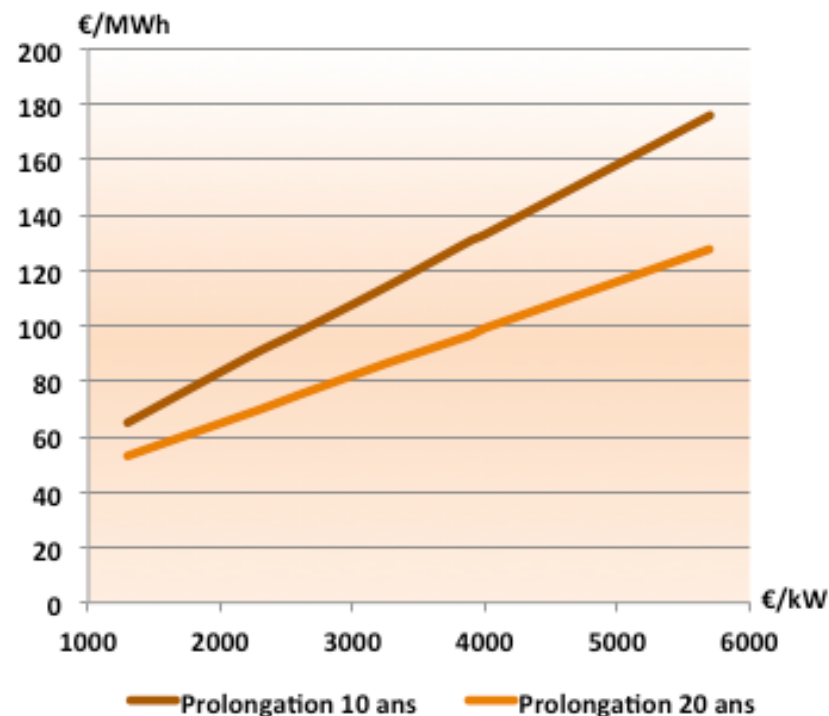
- Un parc peu ajustable
 - besoin de fonctionnement “en base”
 - capacité très peu modulable
 - effet “falaise” sur l’échéance des 40 ans (4^{ème} visite décennale, VD4)
- Un besoin de planifier
- Un arbitrage à anticiper
 - arrêt au plus tard à la VD4
 - ou investissement dans la prolongation de fonctionnement pour 10 ans, voire 20 ans

↳ Décisions sur les réacteurs



- 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
- L'arrêt avant la VD4 est la règle, la prolongation l'exception

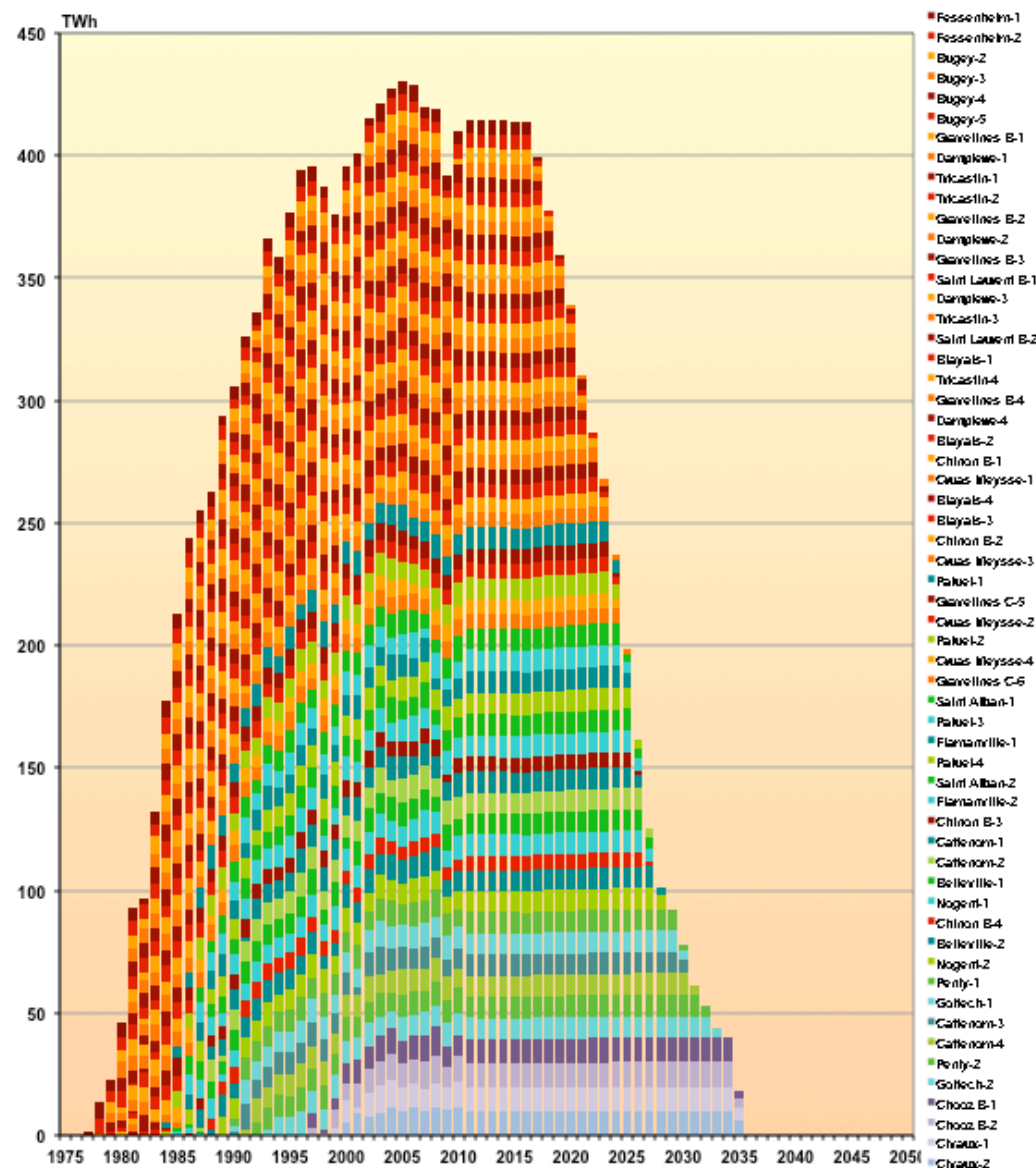
Évolution du coût courant économique (CCE) selon le coût de renforcement par kW installé



↘ Une fermeture progressive



- Une fermeture pilotée :
 - sur le plan énergétique, par le rythme d'action sur la consommation et le développement des renouvelables
 - sur le plan industriel, par la nécessité d'articuler l'évolution du parc avec l'environnement industriel et institutionnel nécessaire à sa sûreté
- Au final, pas de prolongation au-delà de la VD4, arrêt en 2035





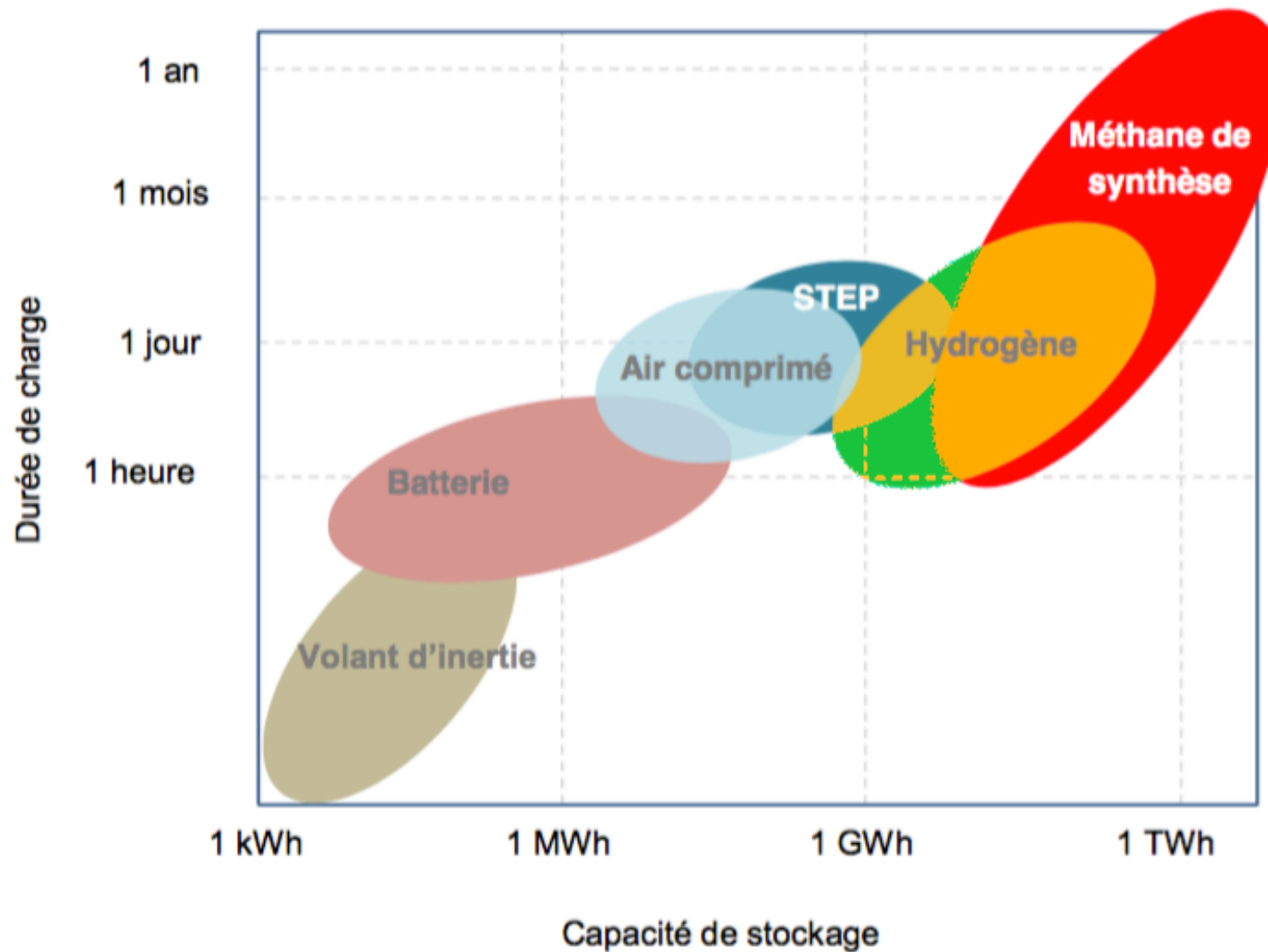
02.

La production d'énergie

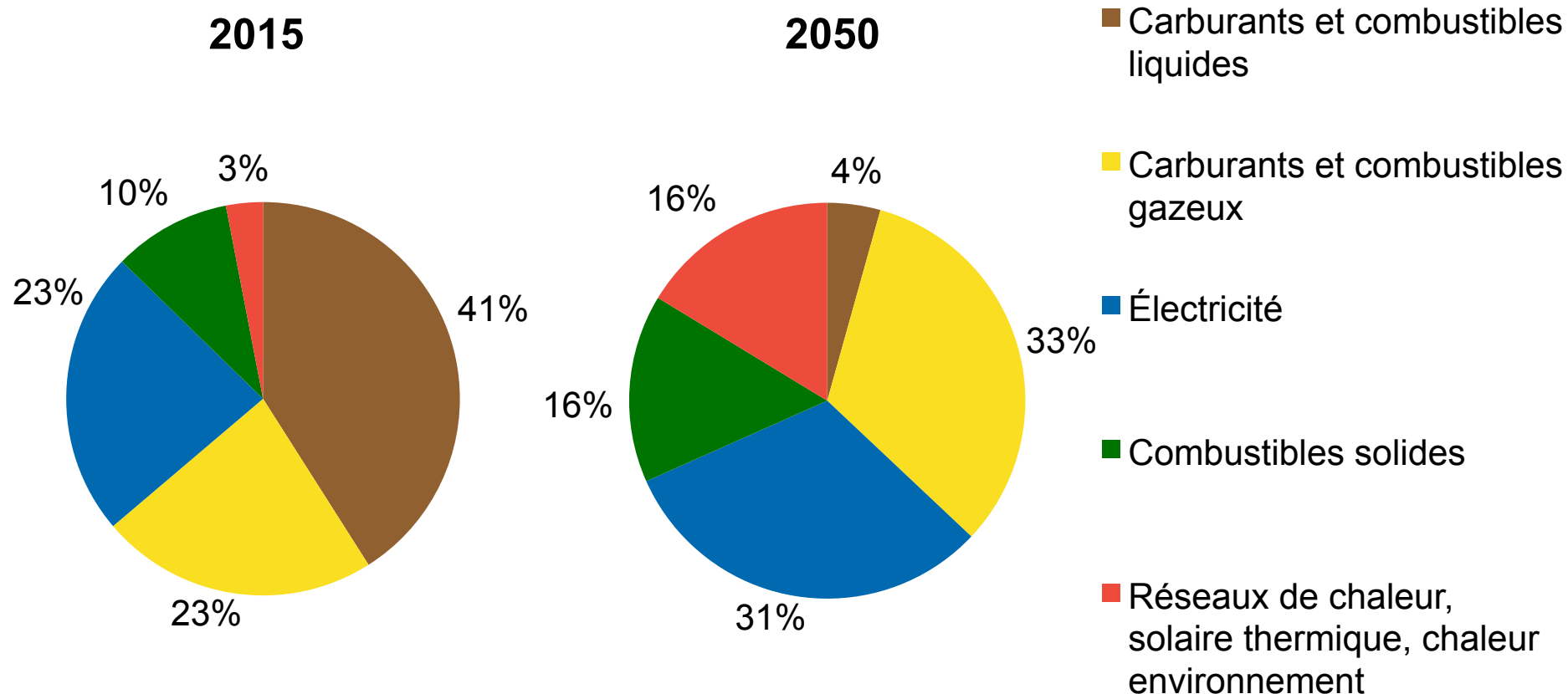
- Bioénergies
- Énergies renouvelables électriques
- Nucléaire
- **Vecteurs et équilibre des réseaux**



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



↘ Un équilibre entre gaz et électricité



Répartition des vecteurs finaux



03.

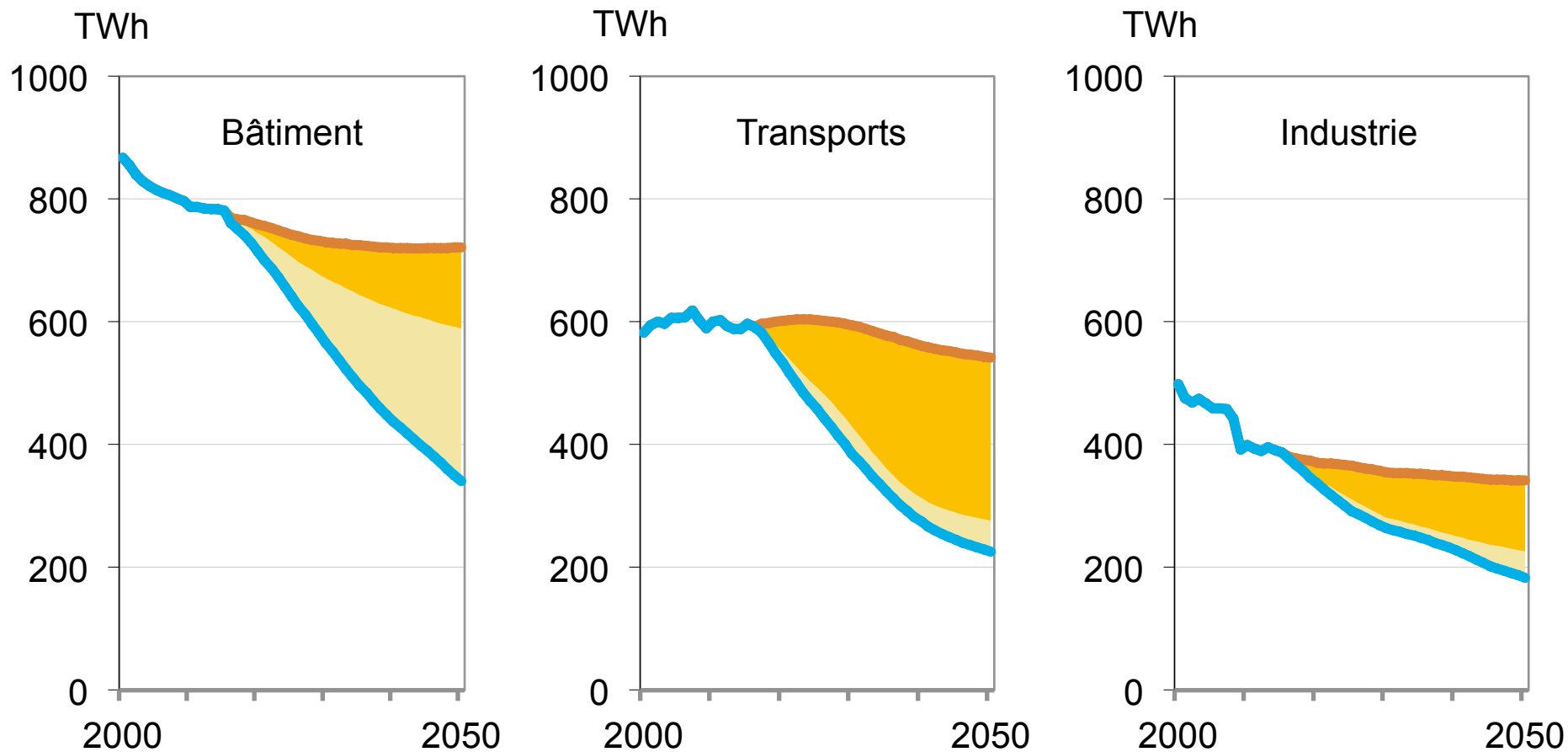
Bilan énergétique



↘ Bilan - Energie finale



- Sobriété
- Efficacité
- Tendanciel
- Scénario négaWatt

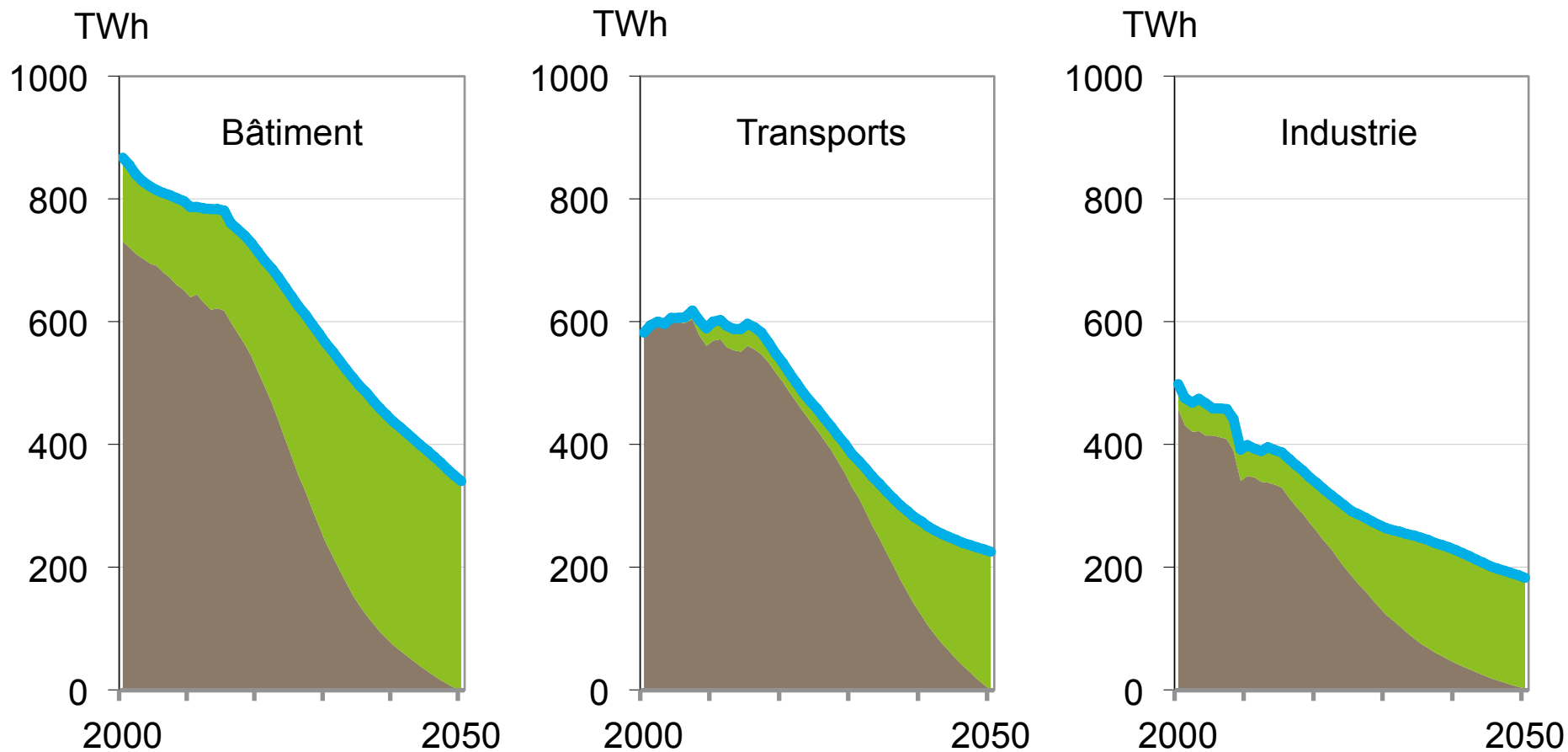


Evolution de la consommation d'énergie finale dans le scénario négaWatt

↘ Bilan - Energie finale

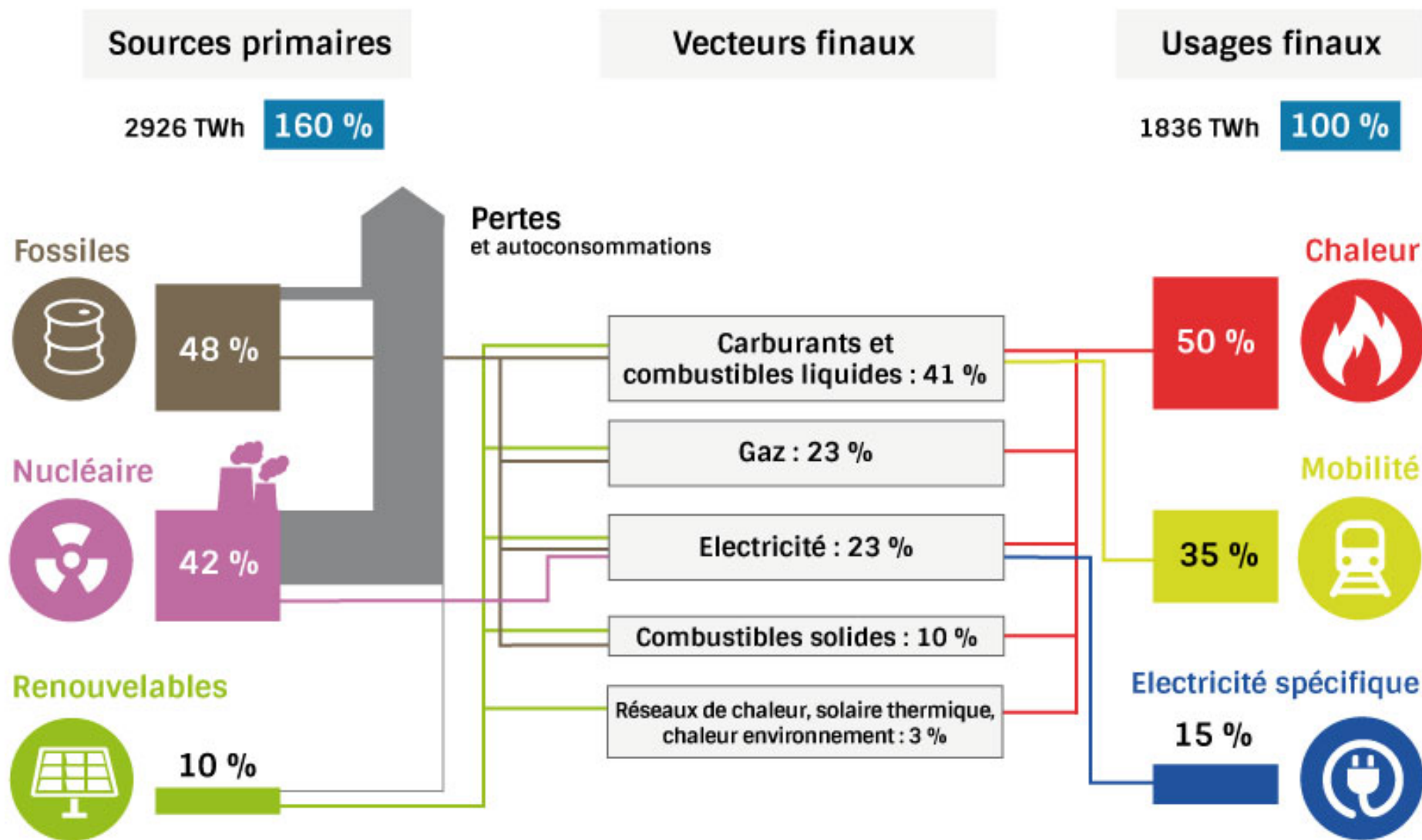


Renouvelables Fossiles + Fissile Scénario négaWatt

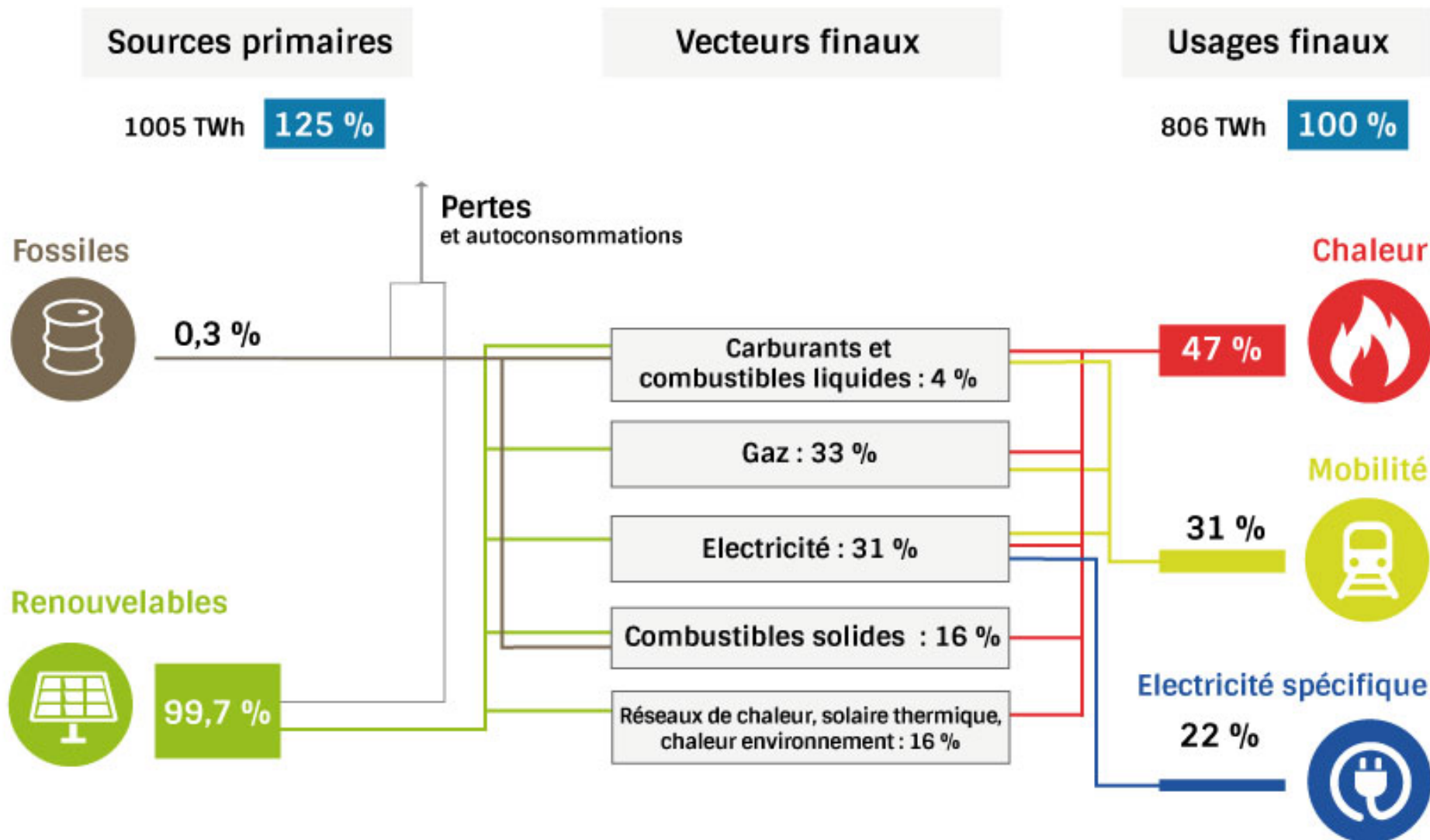


Evolution de la consommation d'énergie finale dans le scénario négaWatt

↘ Bilan énergétique : année de référence 2015



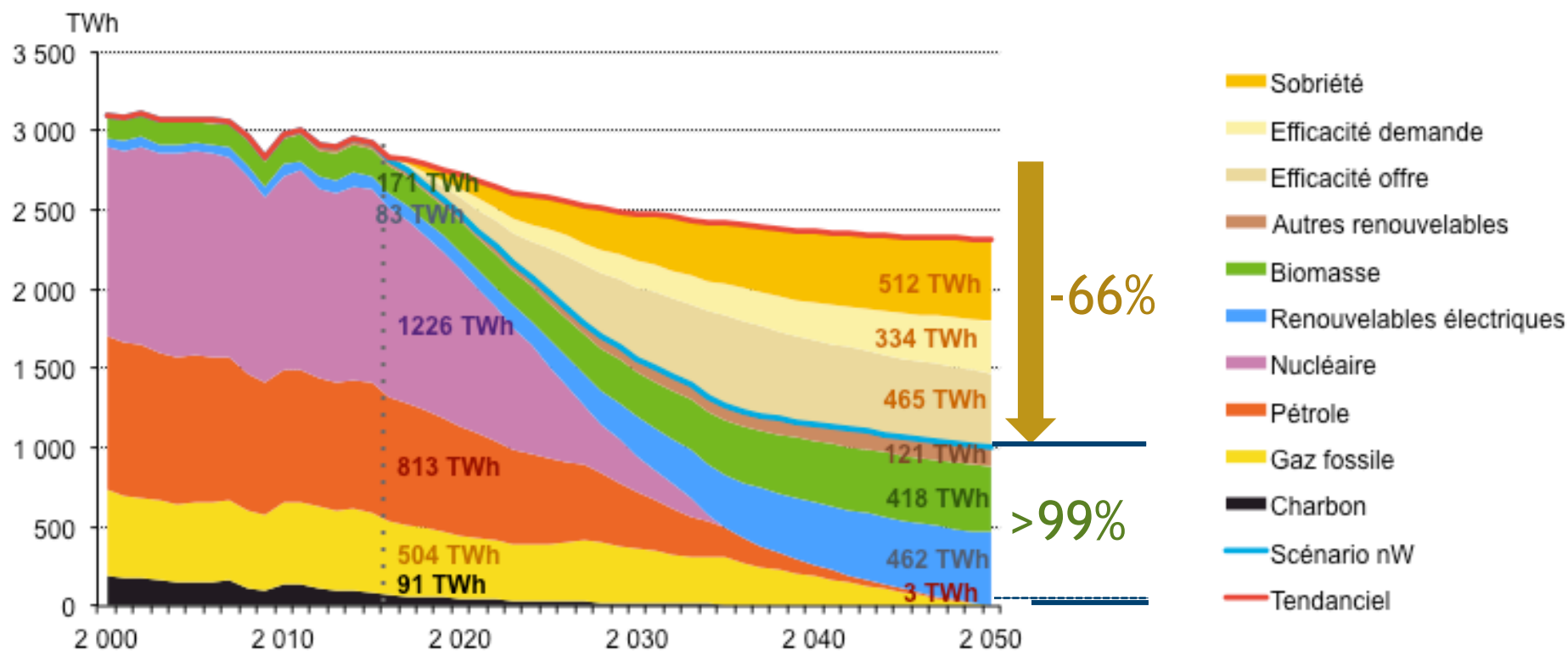
↘ Bilan énergétique : scénario négaWatt, année 2050



↘ Bilan en énergie primaire



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



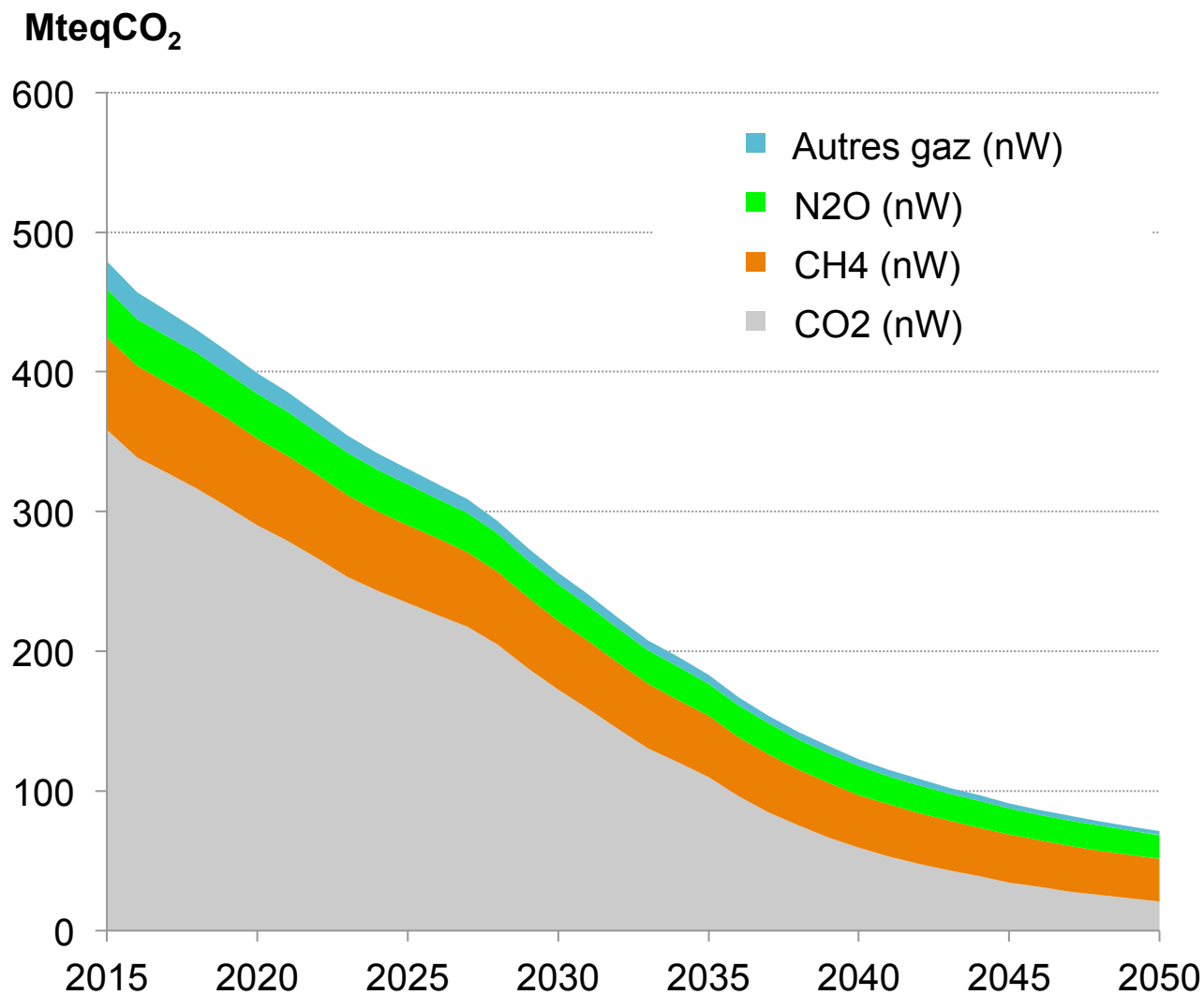


04.

Bilan Gaz à effet de serre

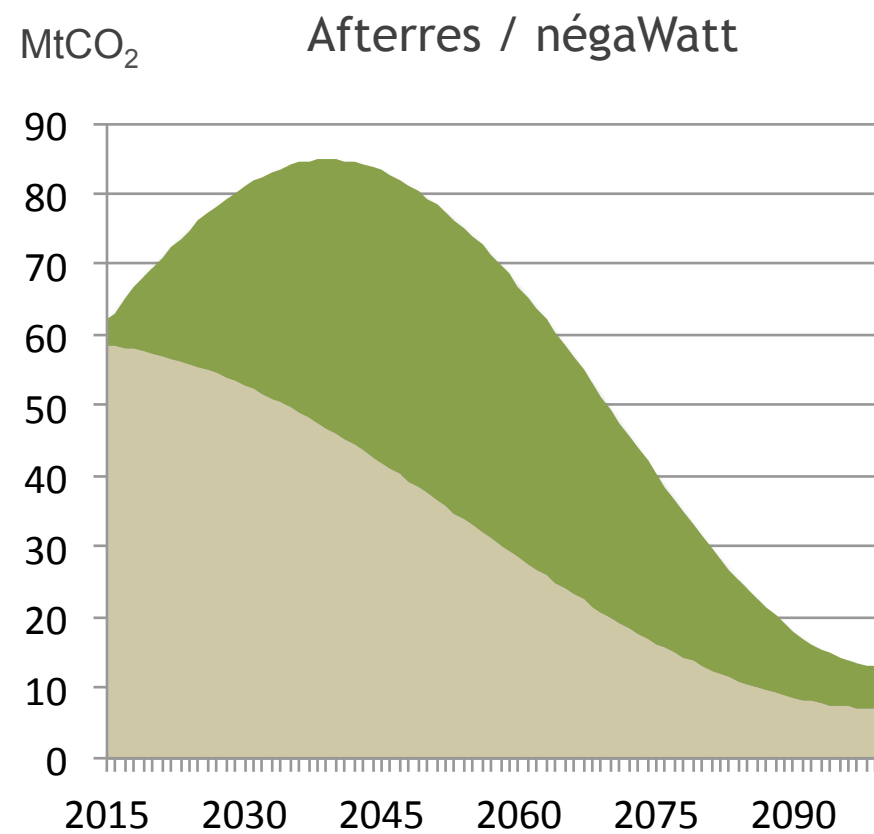
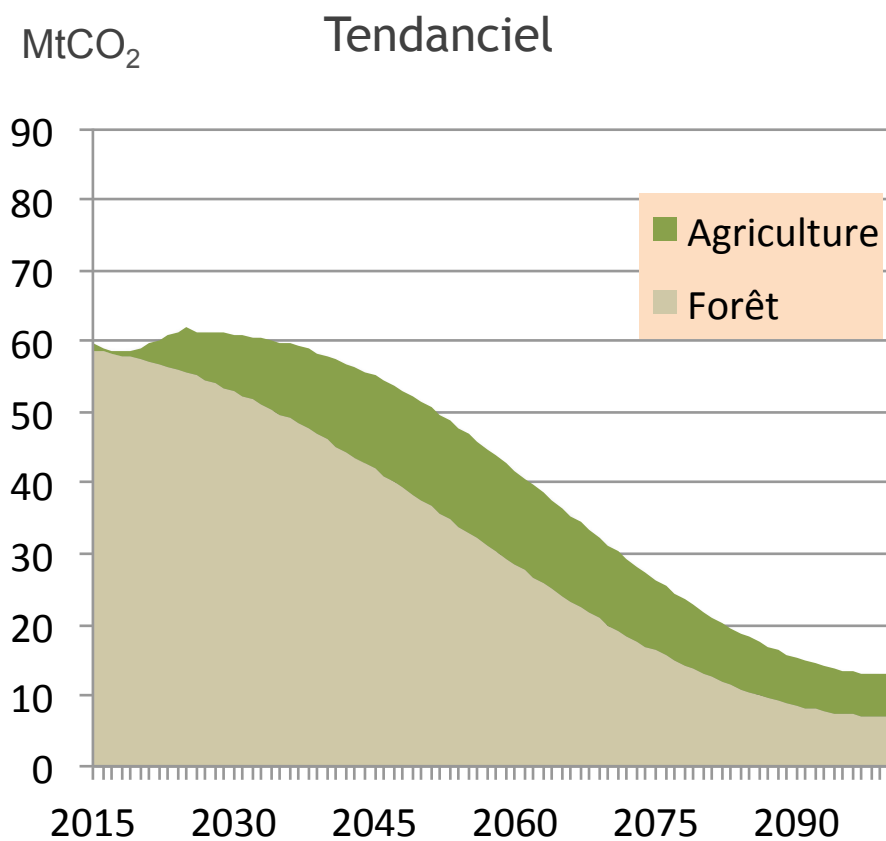


↘ Décroissance des émissions de gaz à effet de serre

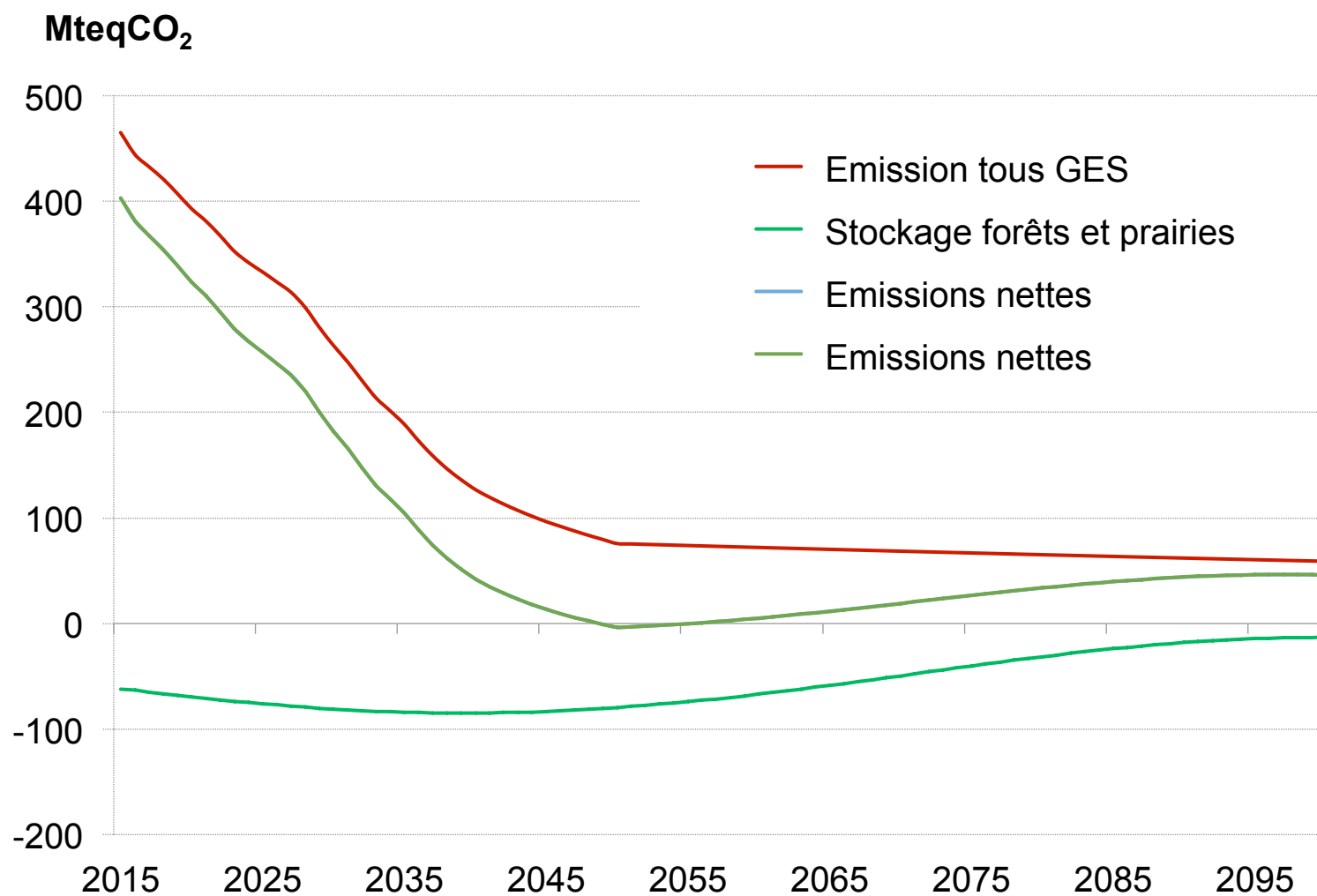


Evolution des émissions brutes de GES

↘ Puits de carbone



↘ La neutralité carbone en 2050



Evolution des émissions brutes et nettes de GES jusqu'à 2100



05.

Impacts de la transition énergétique

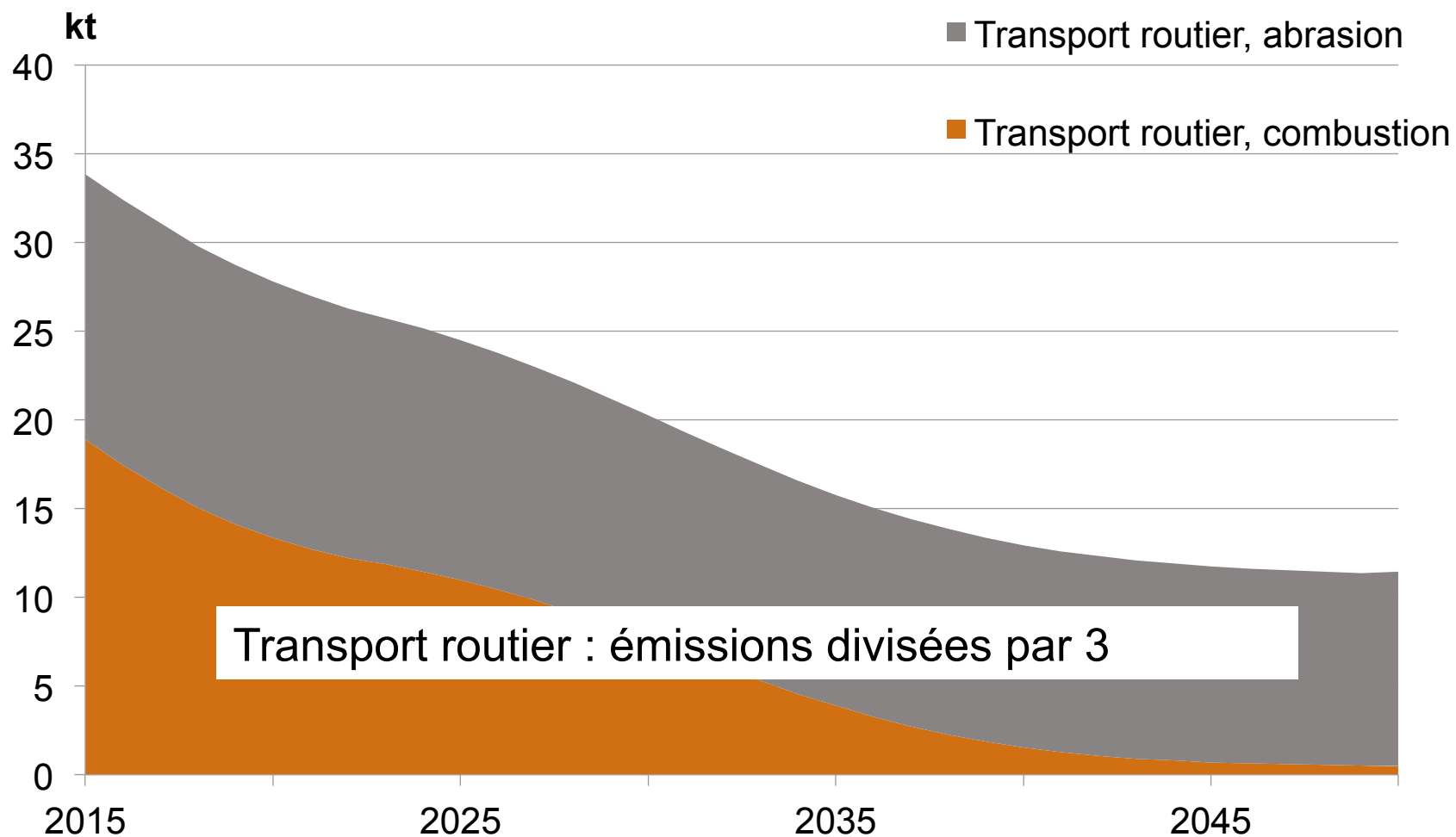
- **Qualité de l'air**
- **Précarité énergétique**
- **Impacts économiques**

↳ Émissions de particules fines : contexte et enjeux



- Un véritable problème de santé publique
 - Plus de 40 000 décès prématurés par an
 - Des maladies chroniques respiratoires
- En ville, là où les concentrations en particules fines sont les plus élevées, le secteur routier représente la première source d'émissions.

↳ Émissions de PM10 du secteur des transports





05.

Impacts de la transition énergétique

- Qualité de l'air
- **Précarité énergétique**
- Impacts économiques

↳ La précarité énergétique



○ Un enjeu social majeur

- En 2016, 10 % des ménages concernés, habitant des logements anciens et mal isolés
- Augmentation du prix de l'énergie = hausse du nombre de précaires énergétiques



↳ La précarité énergétique



- **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



05.

Impacts de la transition énergétique

- Qualité de l'air
- Précarité énergétique
- **Impacts économiques**



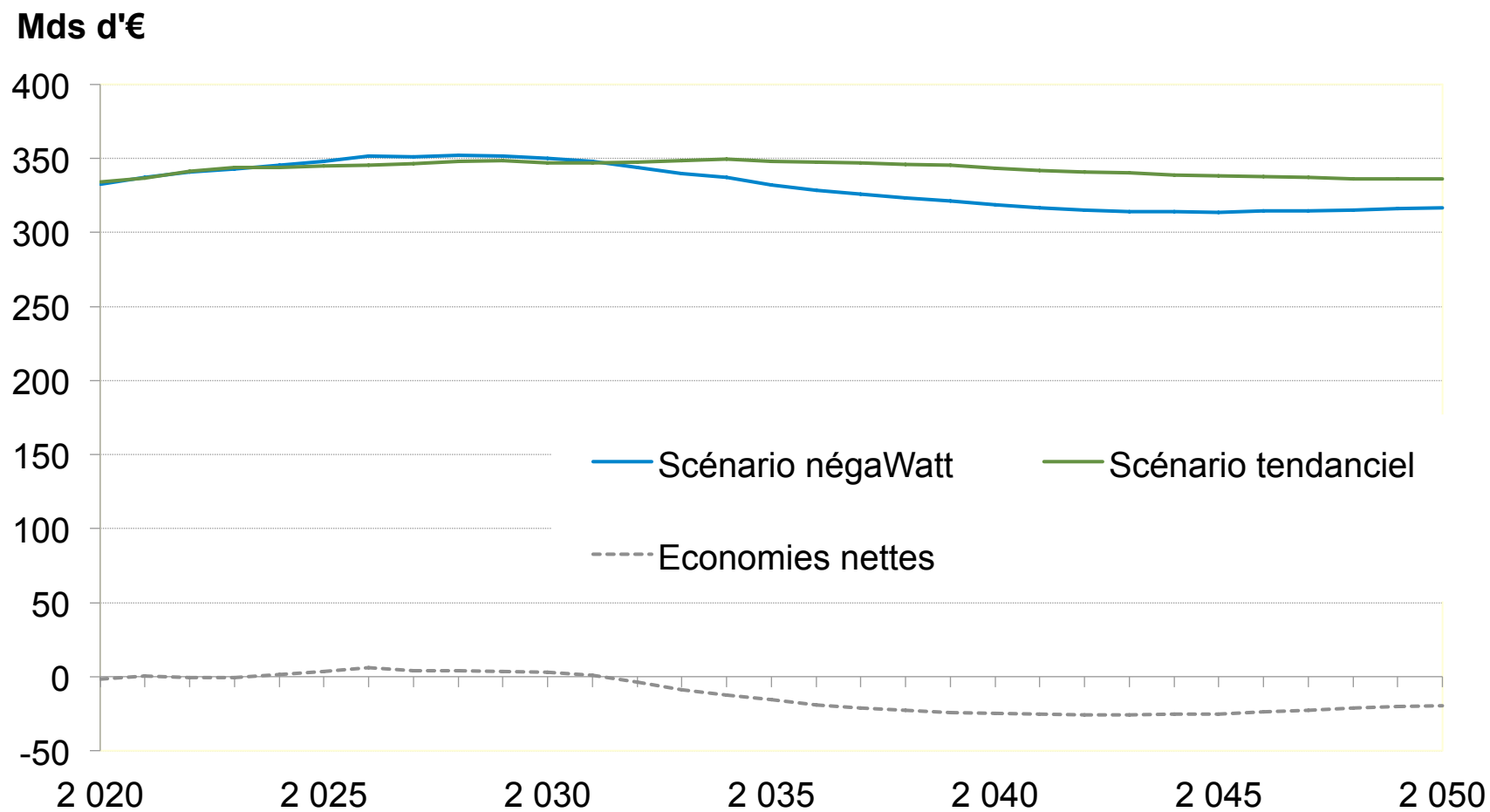
Etude « contenu en emploi » - CNRS-CIRED



- 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

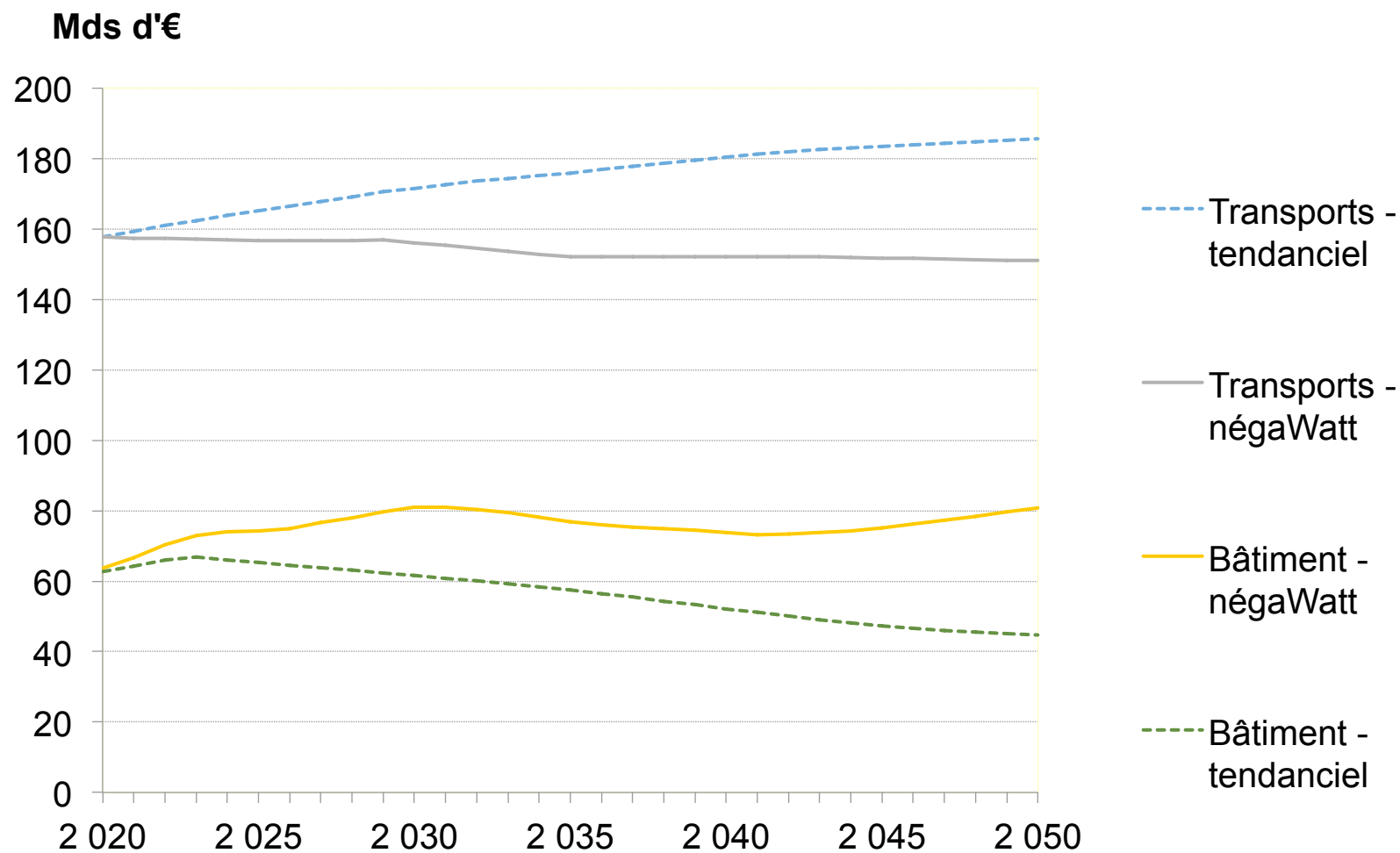


↘ Pas plus de dépenses dans le scénario négaWatt



Dépenses totales

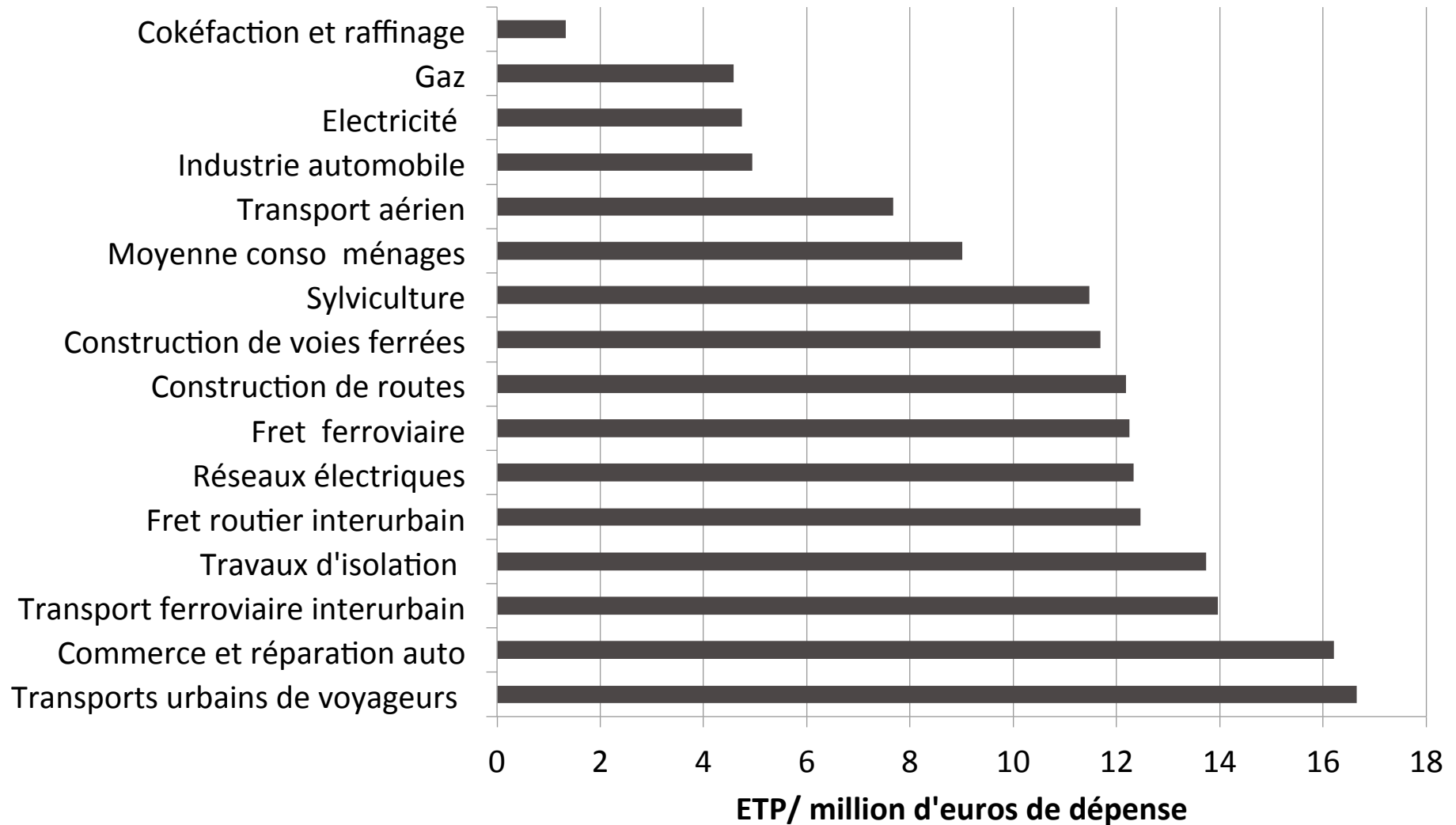
Des dépenses réparties autrement



Dépenses bâtiment et transports



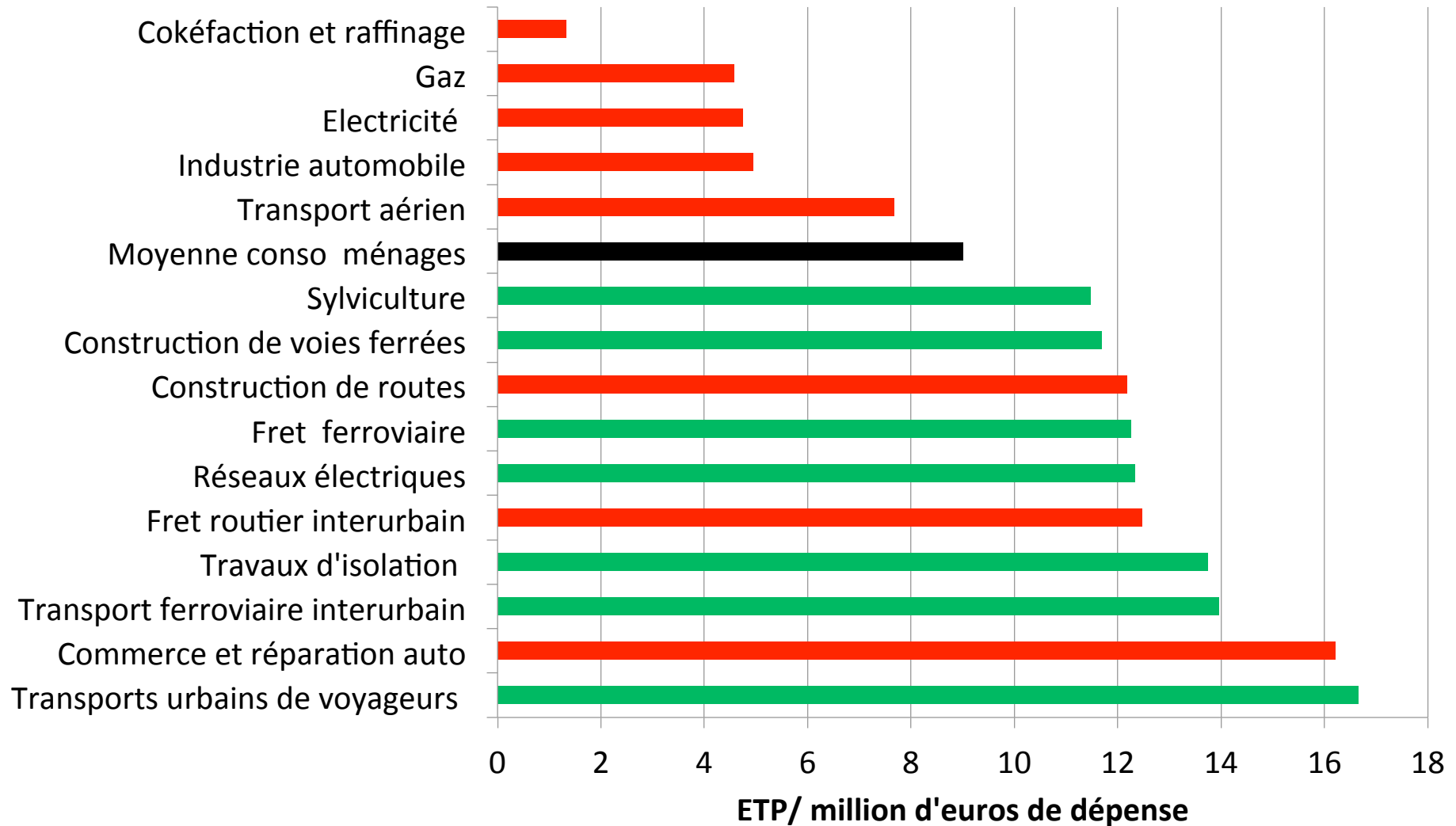
Contenu en emploi d'une sélection de branches, France, 2010



Source : calculs à partir de la base Esane et du Tableau entrées-sorties de l'INSEE



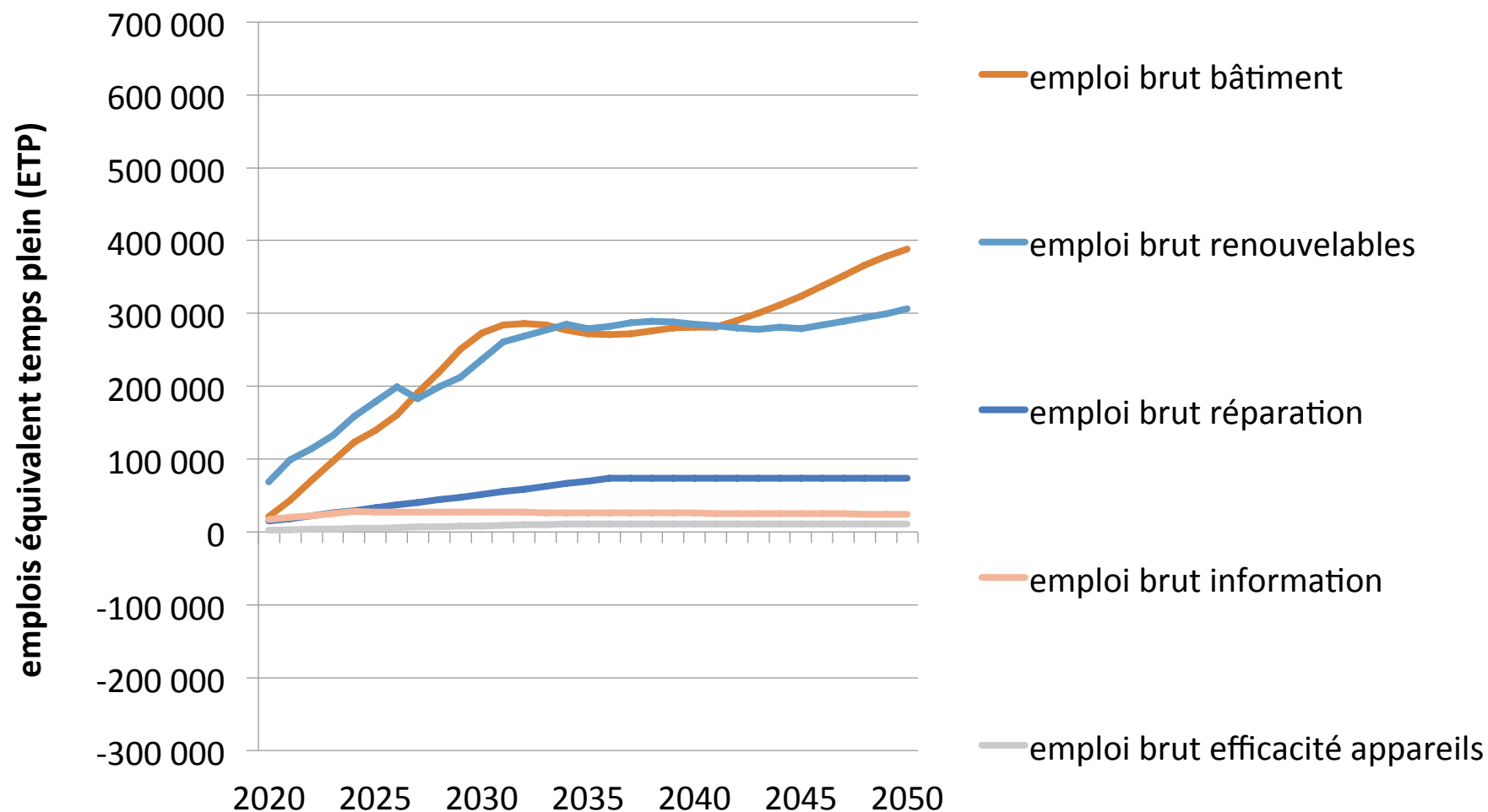
Contenu en emploi d'une sélection de branches, France, 2010



Source : calculs à partir de la base Esane et du Tableau entrées-sorties de l'INSEE

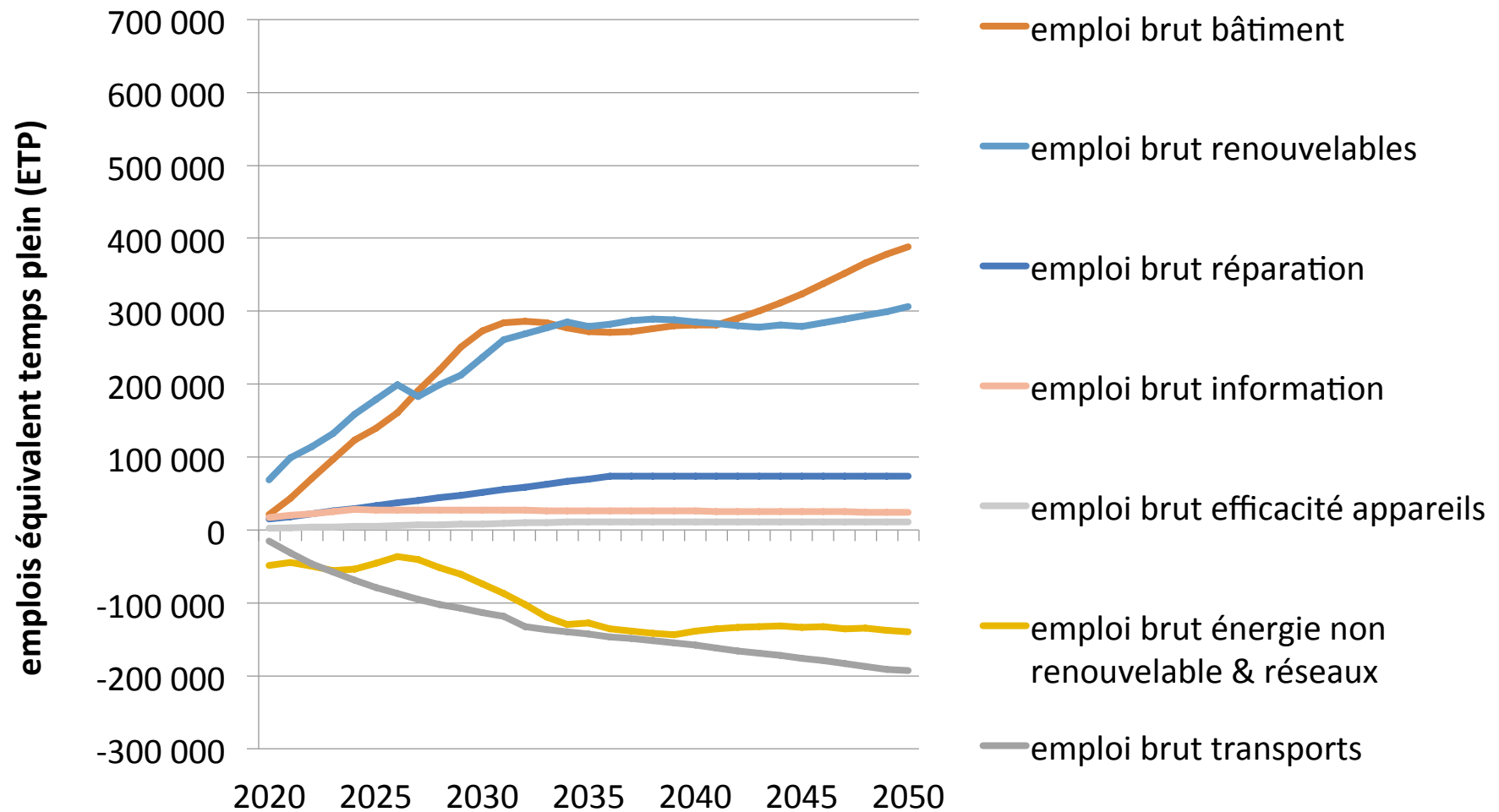


Un effet net très positif sur l'emploi

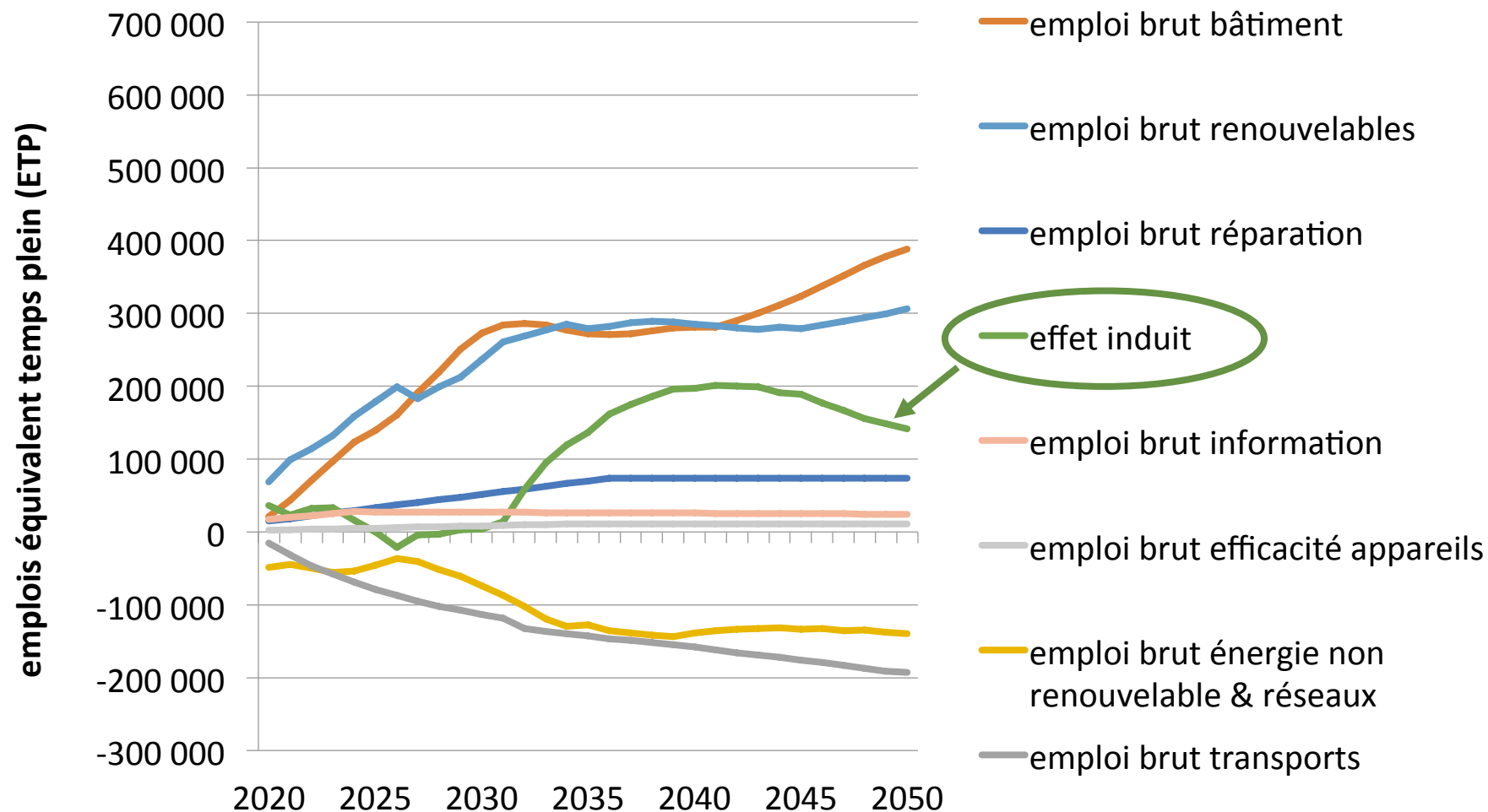




Un effet net très positif sur l'emploi

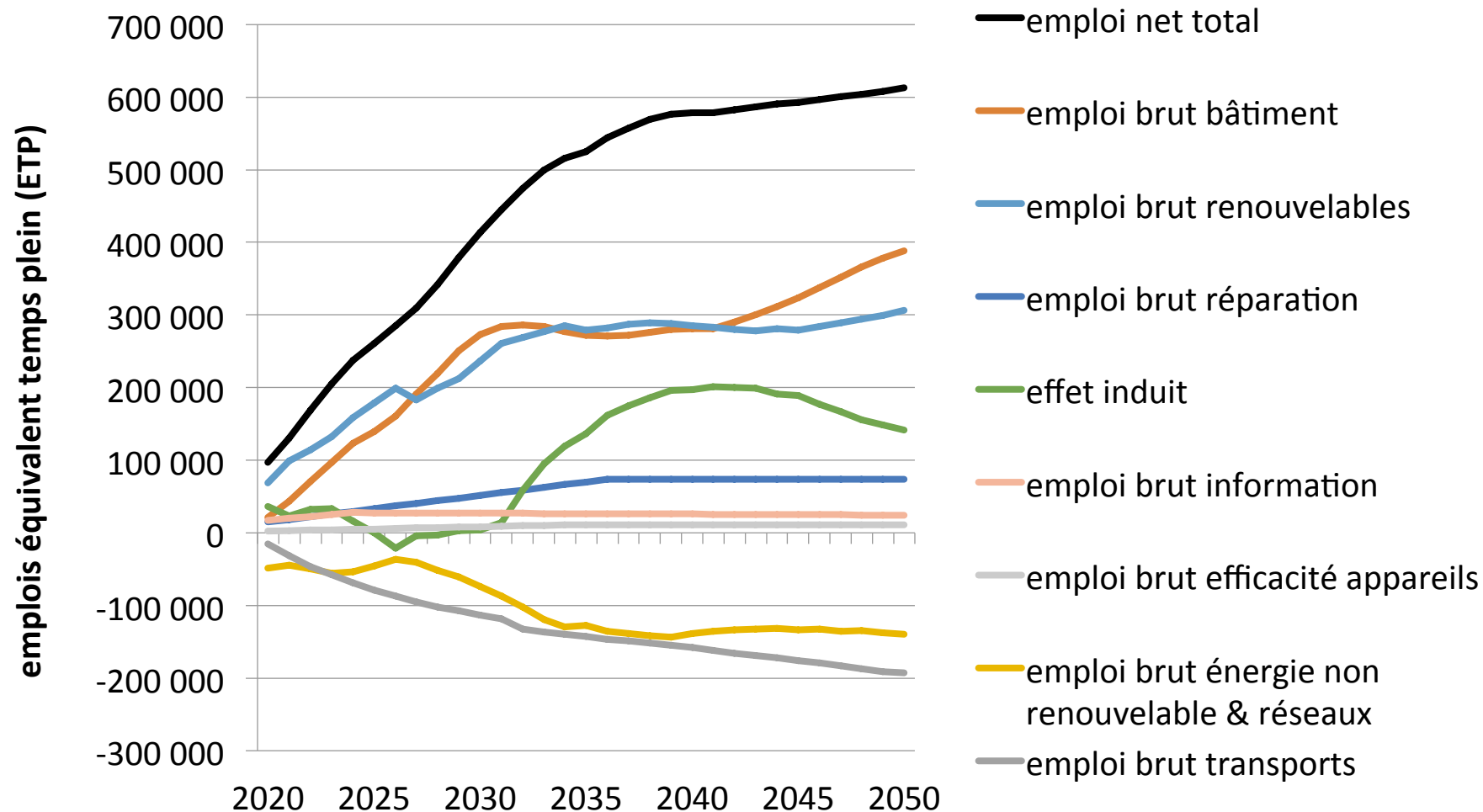


Un effet net très positif sur l'emploi



+ 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

↳ Pour aller plus loin



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

www.negawatt.org

- Deux ouvrages



- Les réponses aux idées reçues sur la transition énergétique



www.decrypterlenergie.org



Annexes



↘ 12 points clés

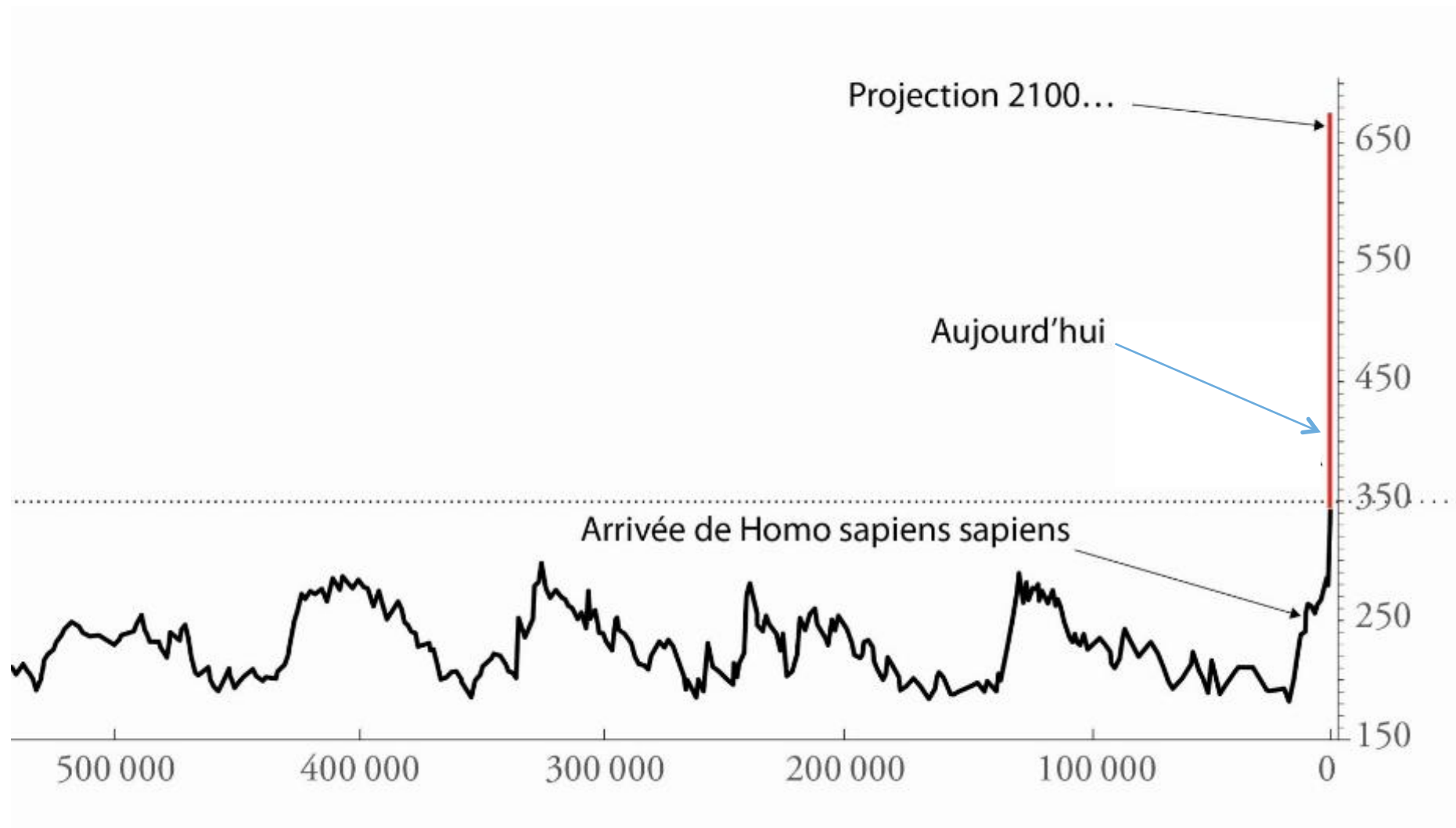


1. La courbe de la consommation s'est inversée
2. Il est possible de diviser par 2 la consommation d'énergie finale d'ici 2050
3. Le 100% renouvelables est possible en 2050
4. La France peut devenir neutre en carbone en 2050
5. La complémentarité entre les vecteurs électrique et gaz est incontournable
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

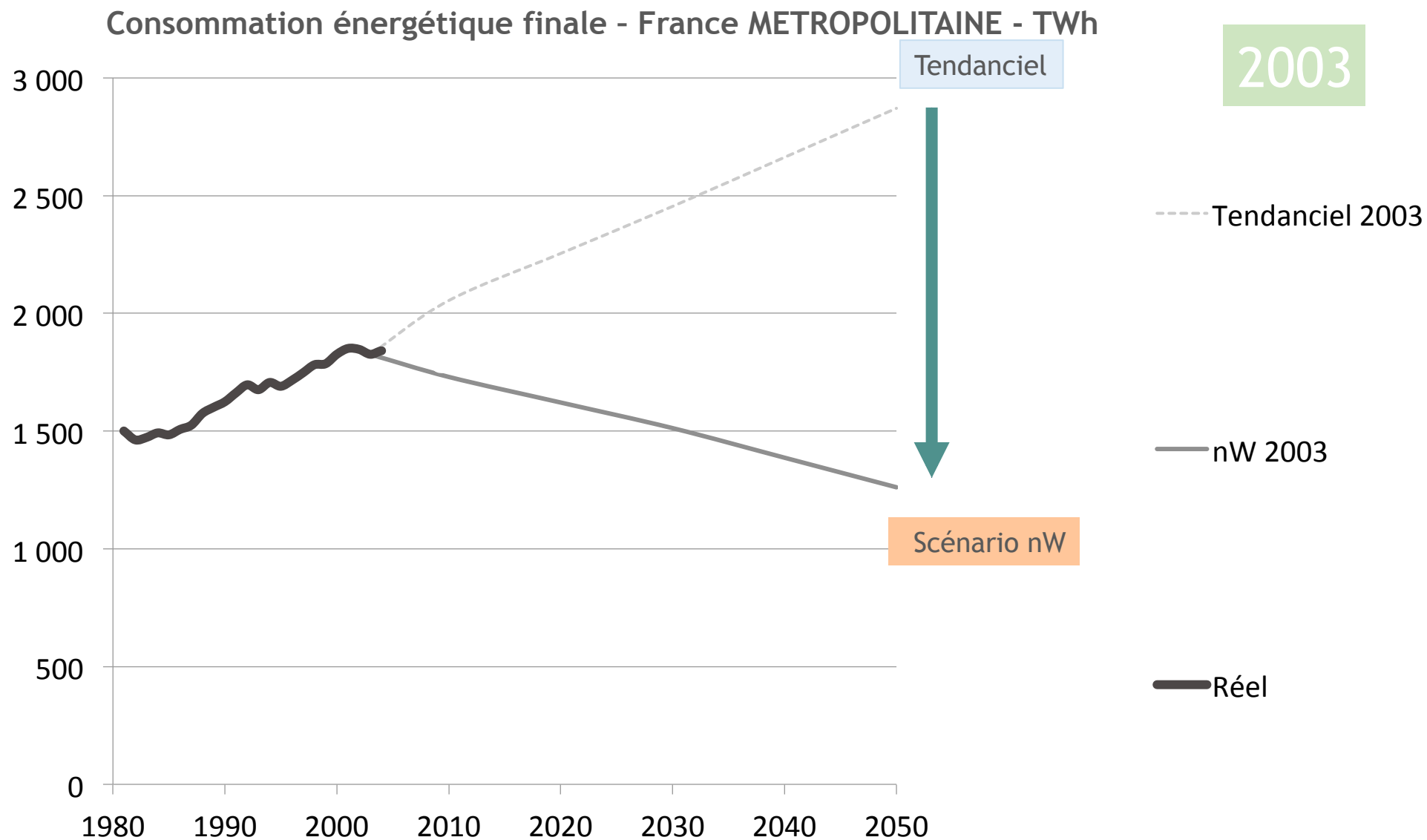


Éléments de contexte

↳ Urgence climatique



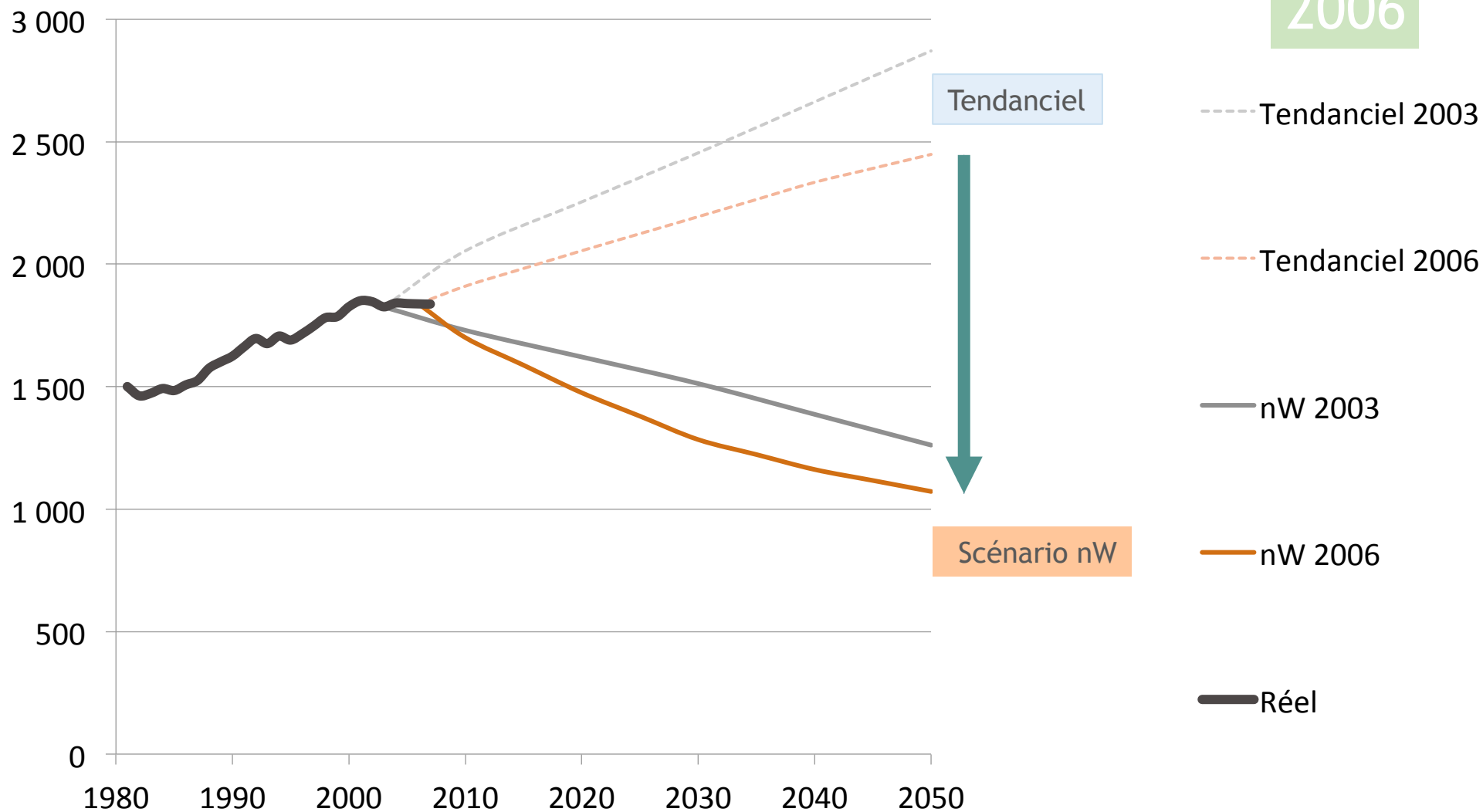
↘ Une révision... du « tendanciel »



↘ Une révision... du « tendanciel »



Consommation énergétique finale - France METROPOLITAINE - TWh



2006

Tendanciel

--- Tendanciel 2003

--- Tendanciel 2006

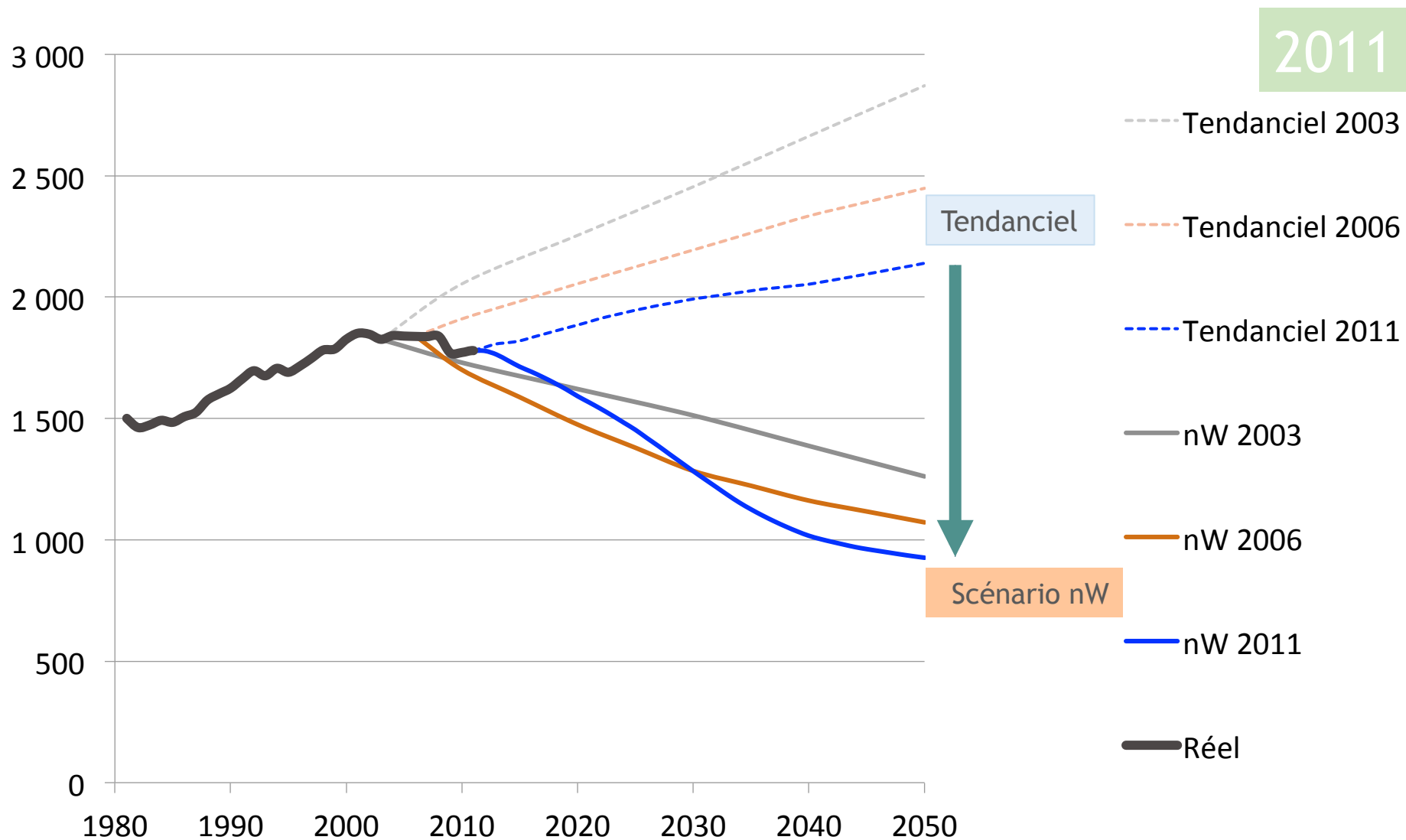
— nW 2003

— nW 2006

— Réel

Scénario nW

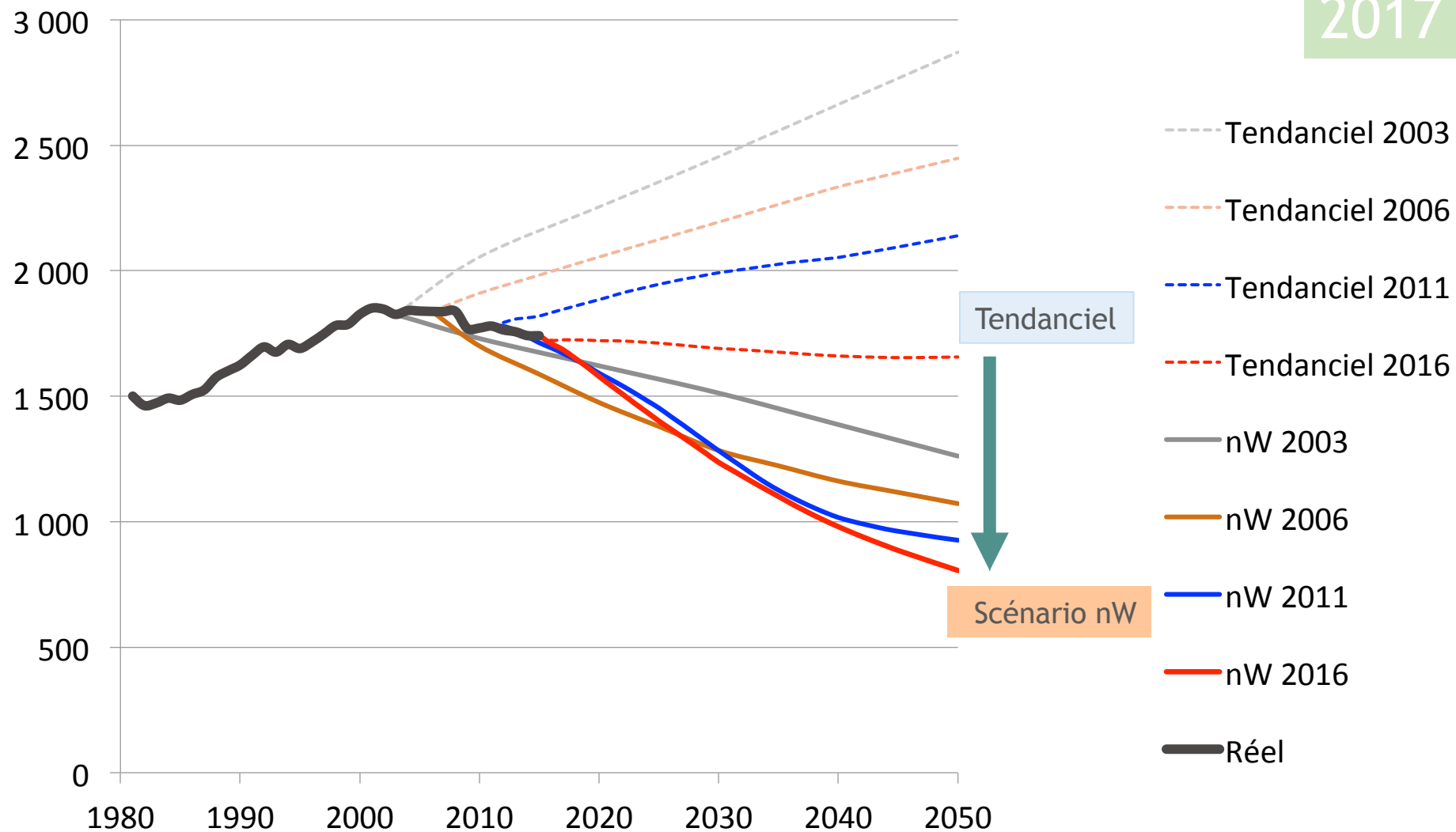
Une révision... du « tendanciel »



Une révision... du « tendanciel »



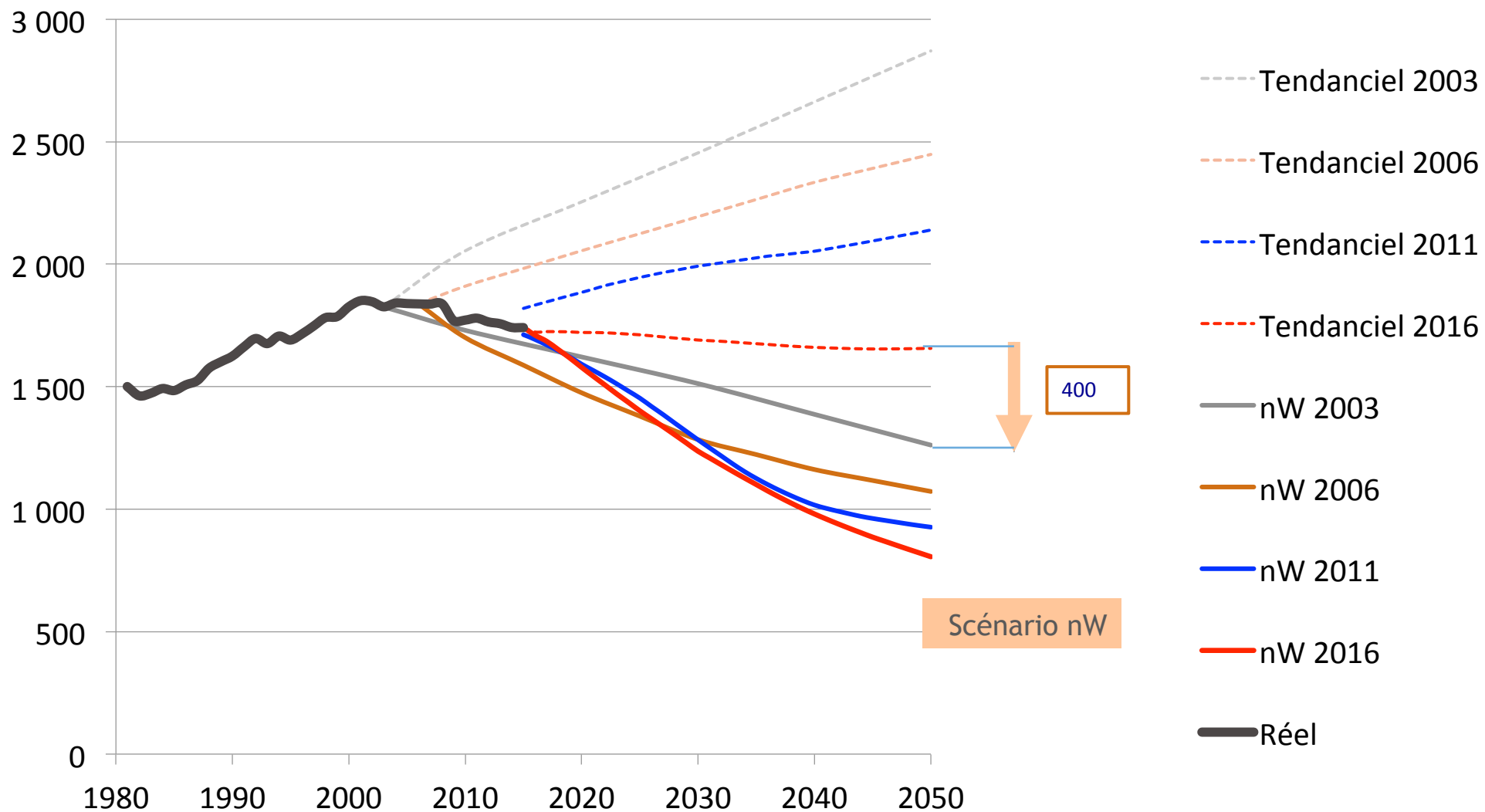
2017



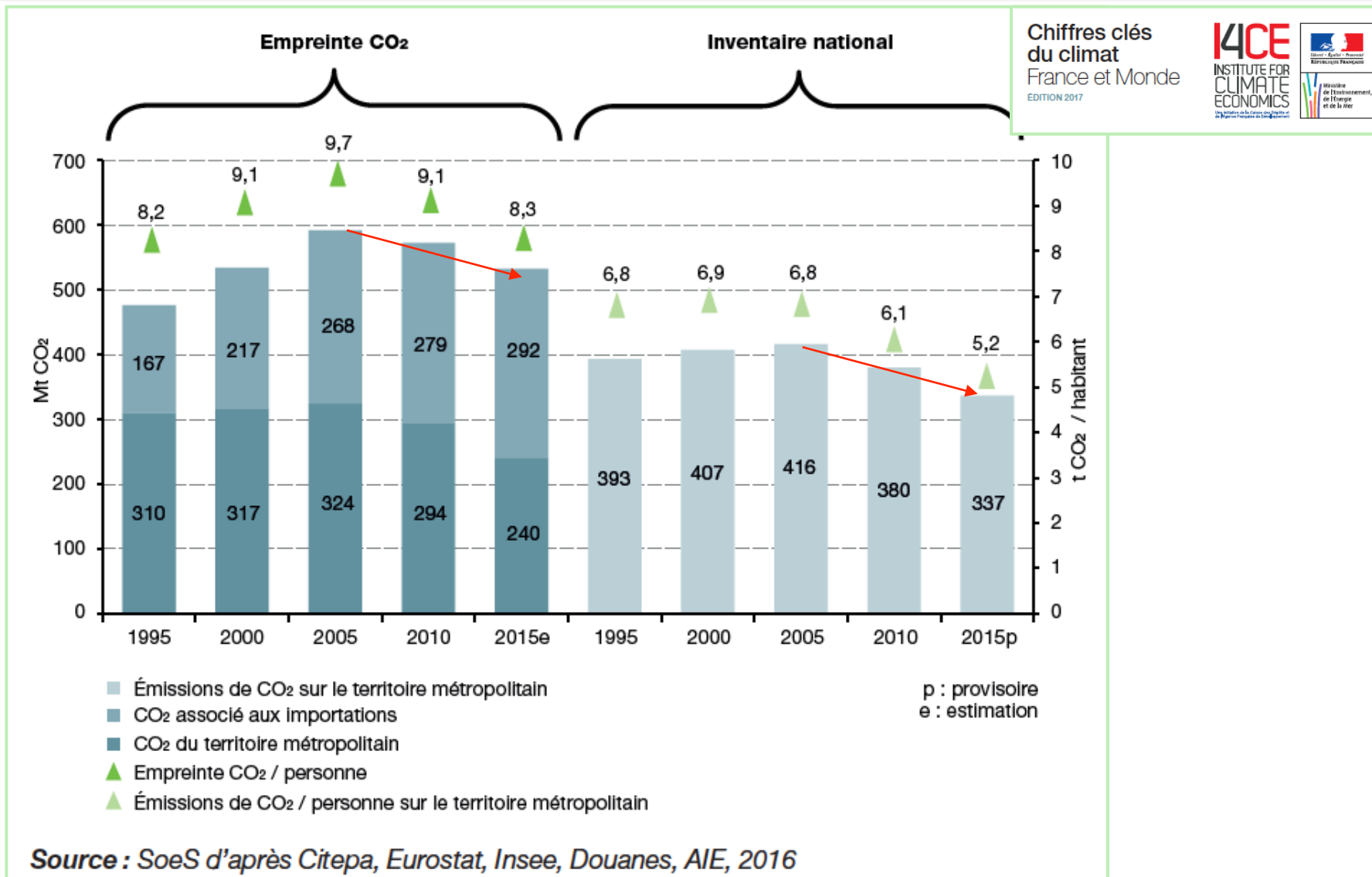
Une révision... du « tendanciel »



Consommation énergétique finale - France METROPOLITAINE - TWh



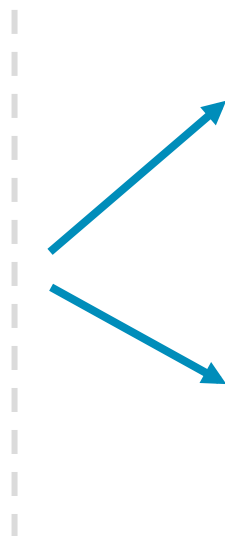
Une empreinte en diminution depuis 10 ans



↳ La précarité énergétique

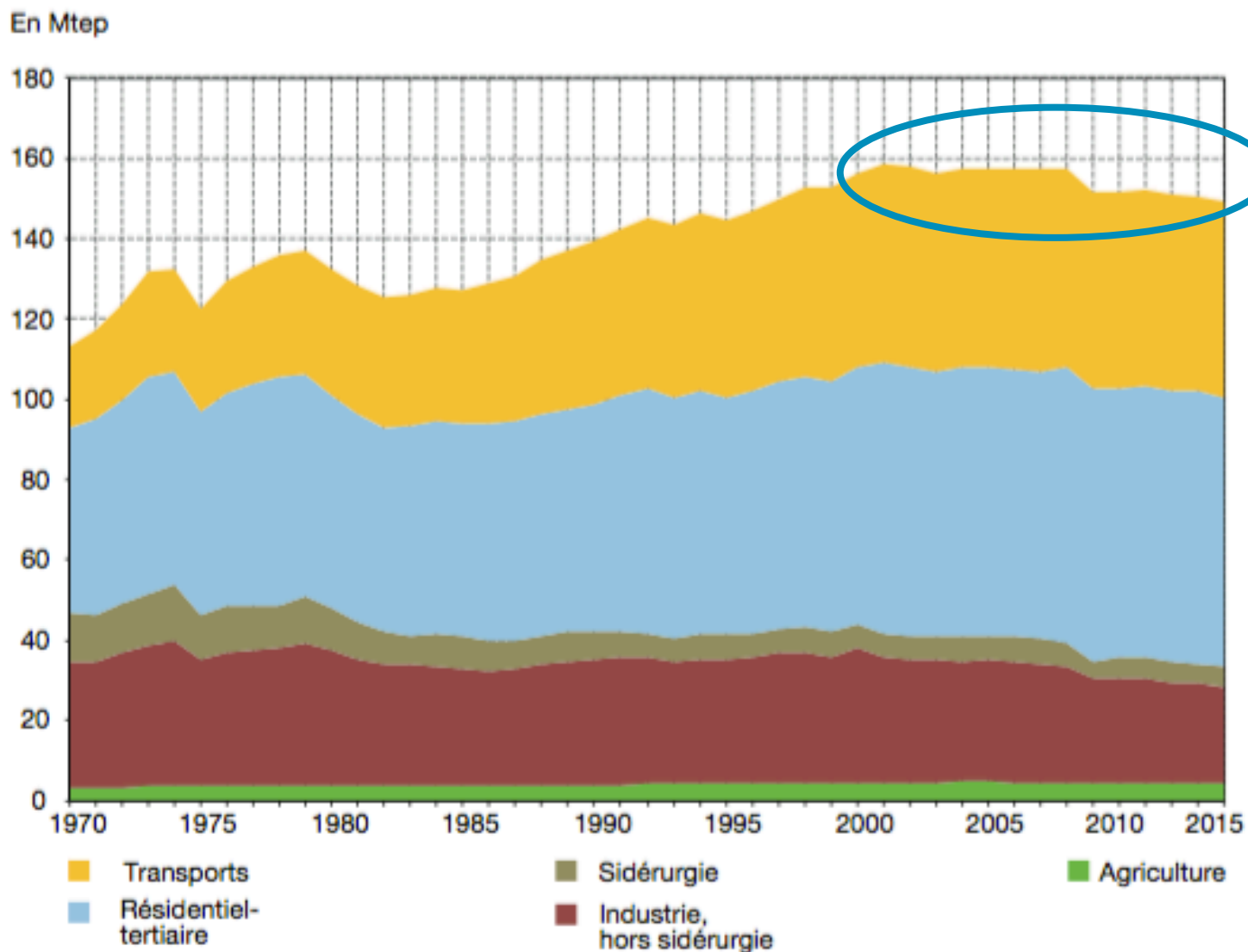


- Épaves thermiques
- Chauffage inadapté
- Hausse des tarifs de l'énergie



- En France plus de **5 millions de familles** en situation de précarité énergétique
- En cas de hausse de 20 % des prix de l'énergie, plus de 2 millions de familles supplémentaires concernées

↘ Baisse de la consommation d'énergie en France



Source : calculs SOeS, d'après les sources par énergie



Objectifs et méthode

↳ 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 (hydraulicité, 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...)

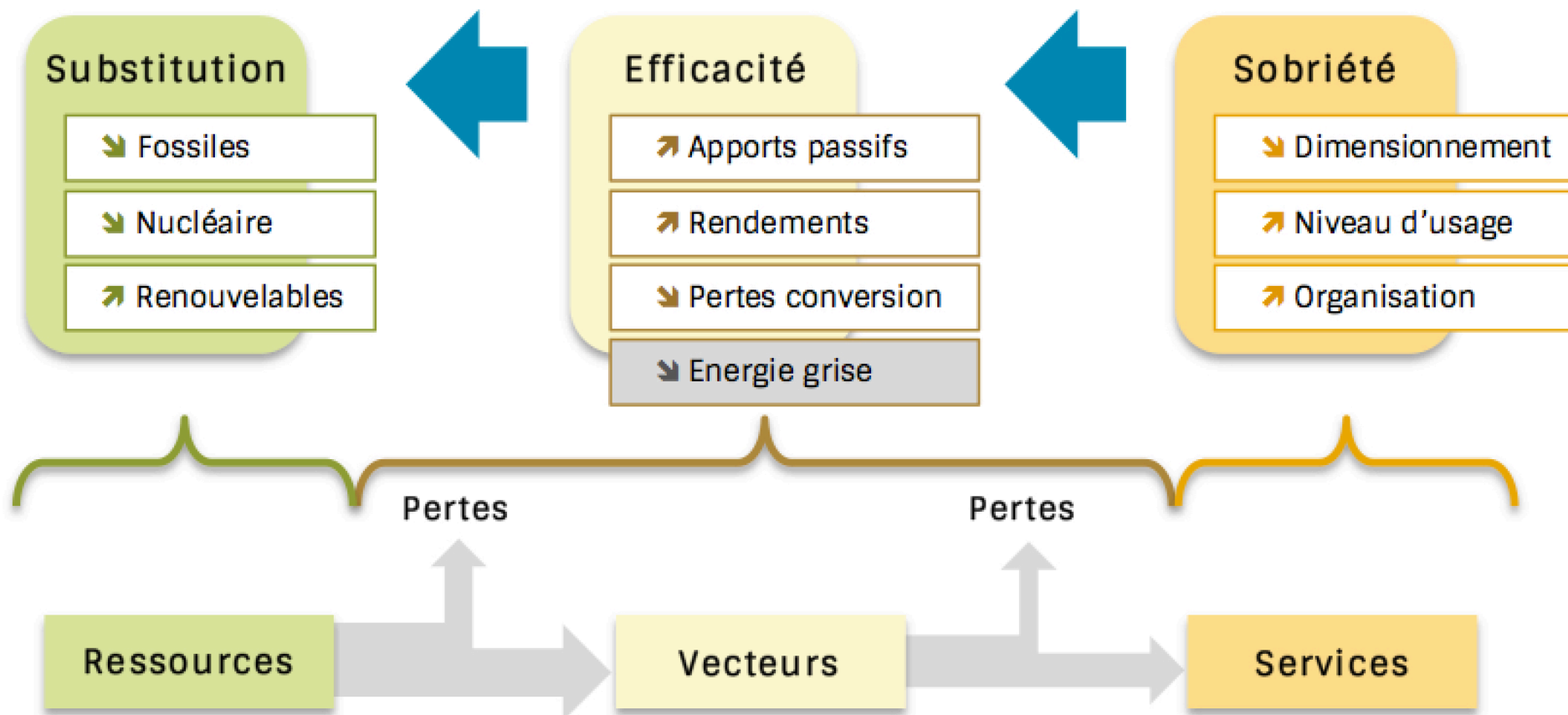
- **Mettre à jour l'évaluation économique**
 - Coûts et investissements
 - Contenu en emplois

- **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

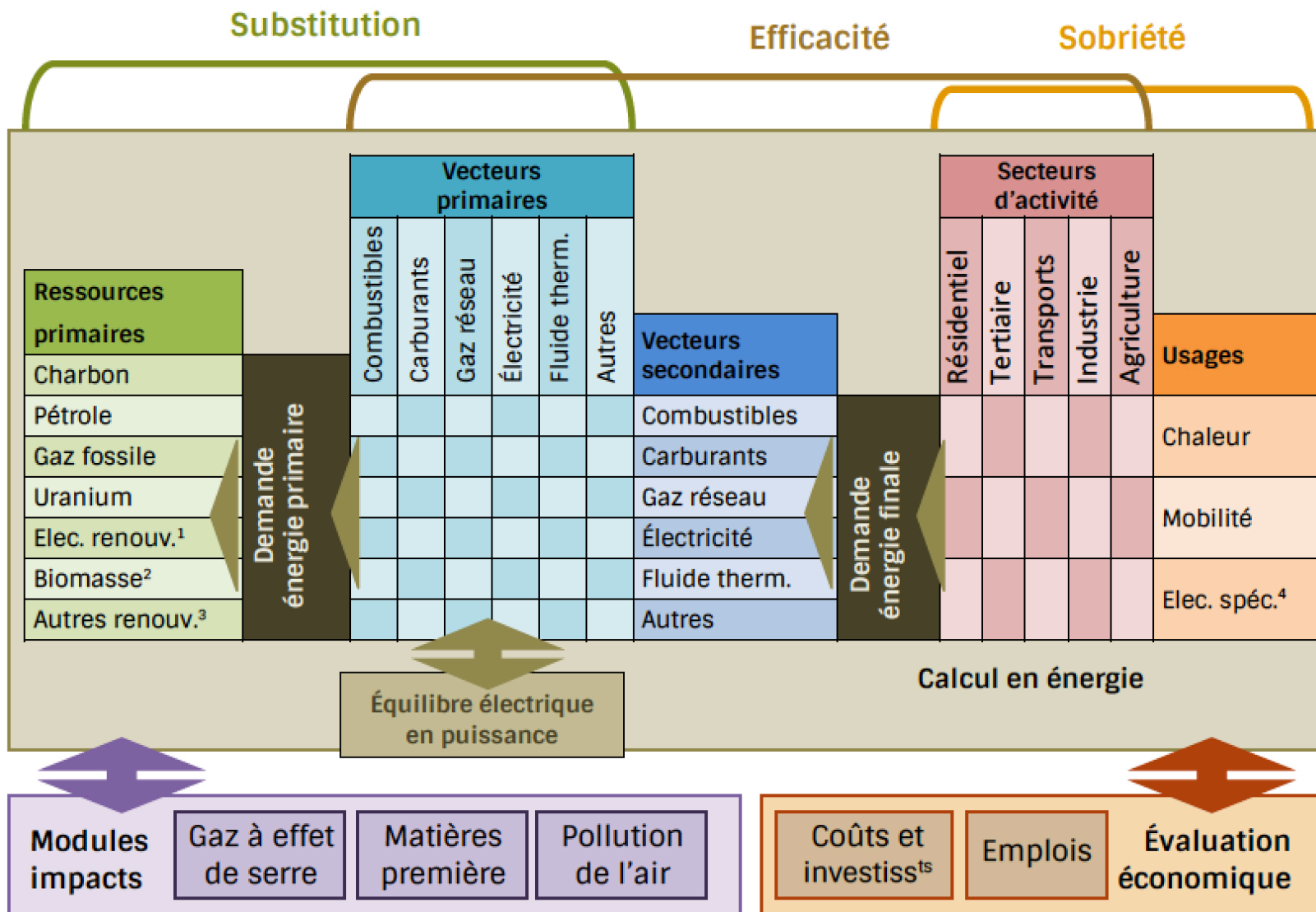
Application de la démarche négaWatt



Objectif Application systématique, dans tous les secteurs, du travail sur les usages, sur les performances techniques et sur les ressources pour s'approcher du **100 % renouvelables**



Modélisation du scénario négaWatt



↳ Intégration prudente de l'innovation



- Une trajectoire robuste sans parier sur d'hypothétiques ruptures technologiques
- ... mais qui intègre, en tenant compte de leur maturité actuelle, les innovations

Maturité des nouvelles technologies			
	Technologique (TRL)	Industrielle (MRL)	Environnementale et sociale (ESRL)
7	Démonstration du système	Prototype en environnement opérationnel	<i>Impacts génériques estimés par modèles</i>
8	Validation par des tests et des démonstrations	Développement et démonstration du système complet réel	<i>Impacts analysés à partir des données réelles du pilote</i>
9	Système réel prouvé à travers des opérations réussies	Déploiement et mise en fabrication	<i>Evaluation systémique toutes échelles</i>
10	<i>Système optimisé</i>	Production à pleine échelle	<i>Impacts mesurés en opération</i>
11		<i>Déploiement massif, intégration système</i>	<i>Acceptabilité sociale et environnementale, mesure des effets indirects</i>

↳ Contenu du scénario



- **Consommation durable**
 - Usages plus sobres et plus efficaces
 - Consommation maîtrisée de biens et de services
- **Maîtrise des bâtiments**
 - Surfaces occupées
 - Rénovation énergétique
- **Occupation de l'espace**
 - Évolution modale
 - Urbanisme, aménagement
- **Production durable**
 - Industrie plus efficiente
 - Agriculture résiliente, sylviculture durable
- **Substitutions d'énergies**
 - Priorités sur les vecteurs
- **Mobilisation des renouvelables**

↳ Contenu du scénario



○ Consommation durable

- Usages plus sobres et plus efficaces
- Consommation maîtrisée de biens et de services

○ Maîtrise des bâtiments

- Surfaces occupées
- Rénovation énergétique

○ Occupation de l'espace

- Évolution modale
- Urbanisme, aménagement

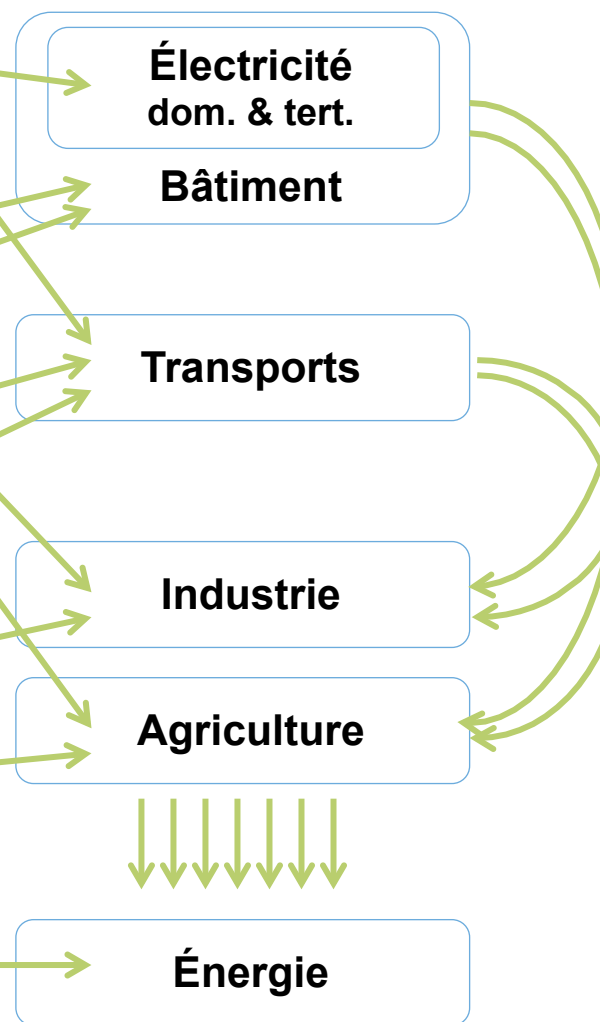
○ Production durable

- Industrie plus efficiente
- Agriculture résiliente, sylviculture durable

○ Substitutions d'énergies

- Priorités sur les vecteurs

○ Mobilisation des renouvelables





Bâtiment

↳ Sobriété et efficacité dans le résidentiel / tertiaire



○ Sobriété :

• Maîtrise des surfaces neuves par :

- Inflexion du nombre de nouveaux logements, de leurs surfaces, et de la part des MI → tendances 2010 – 2015 dans le bon sens
- Inflexion de la tendance à la décohabitation (colocations, logements intergénérationnels,)
- Ajustement pour le tertiaire selon l'augmentation de la population

• Maîtrise des températures intérieures (été ET hiver)

• Réduction des consommations d'eau chaude

• Limitation des besoins de climatisation (protections solaires, réduction des apports internes)

○ Efficacité sur les enveloppes dans l'existant :

- Isolation
- Etanchéité à l'air
- Ventilation

et le neuf :

- Aller vers le passif

sur les systèmes :

- Diffusion des appareils les plus performants
- Part modale des énergies utilisées

○ Prise en compte de l'énergie grise et utilisation des matériaux à faible contenu énergétique

↳ Un exemple concret : DORéMI



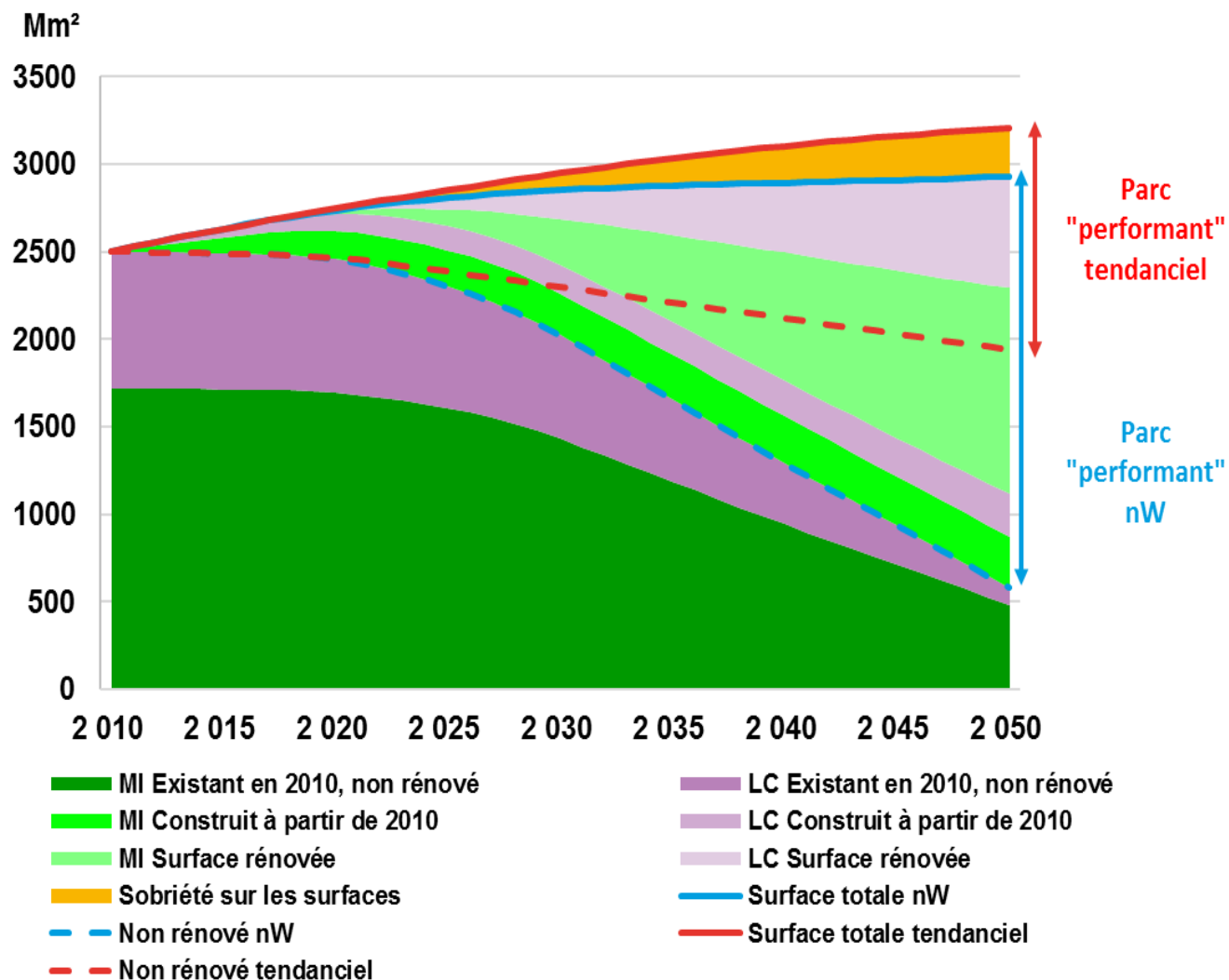
- Expérimenté depuis 2012 par l'Institut négaWatt
- Objectif : former et accompagner des groupements d'artisans afin qu'ils puissent proposer aux propriétaires de maisons une offre de rénovation performante, cohérente et à prix maîtrisé.
- Dispositif actuellement déployé sur 25 territoires en France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



Un chantier ambitieux pour la rénovation



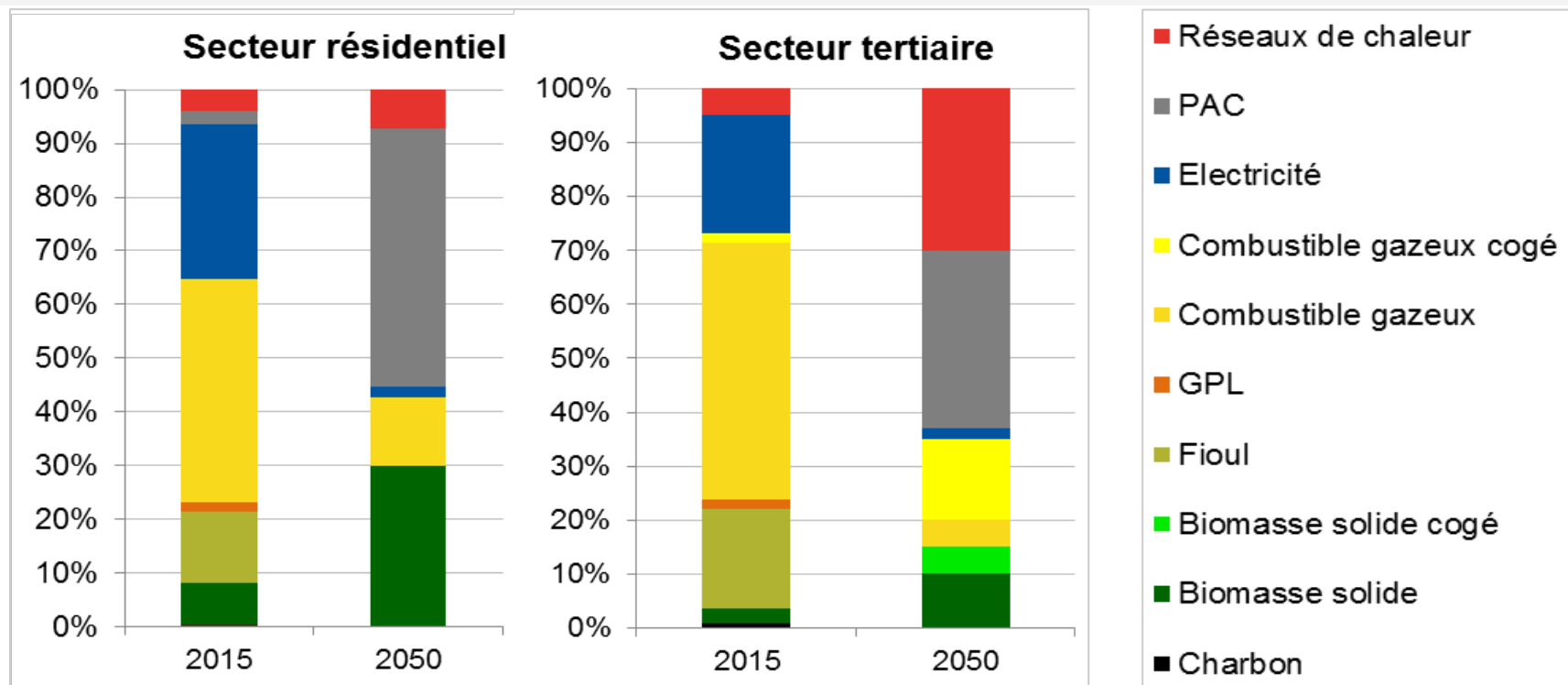
Evolution des surfaces résidentielles



- **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

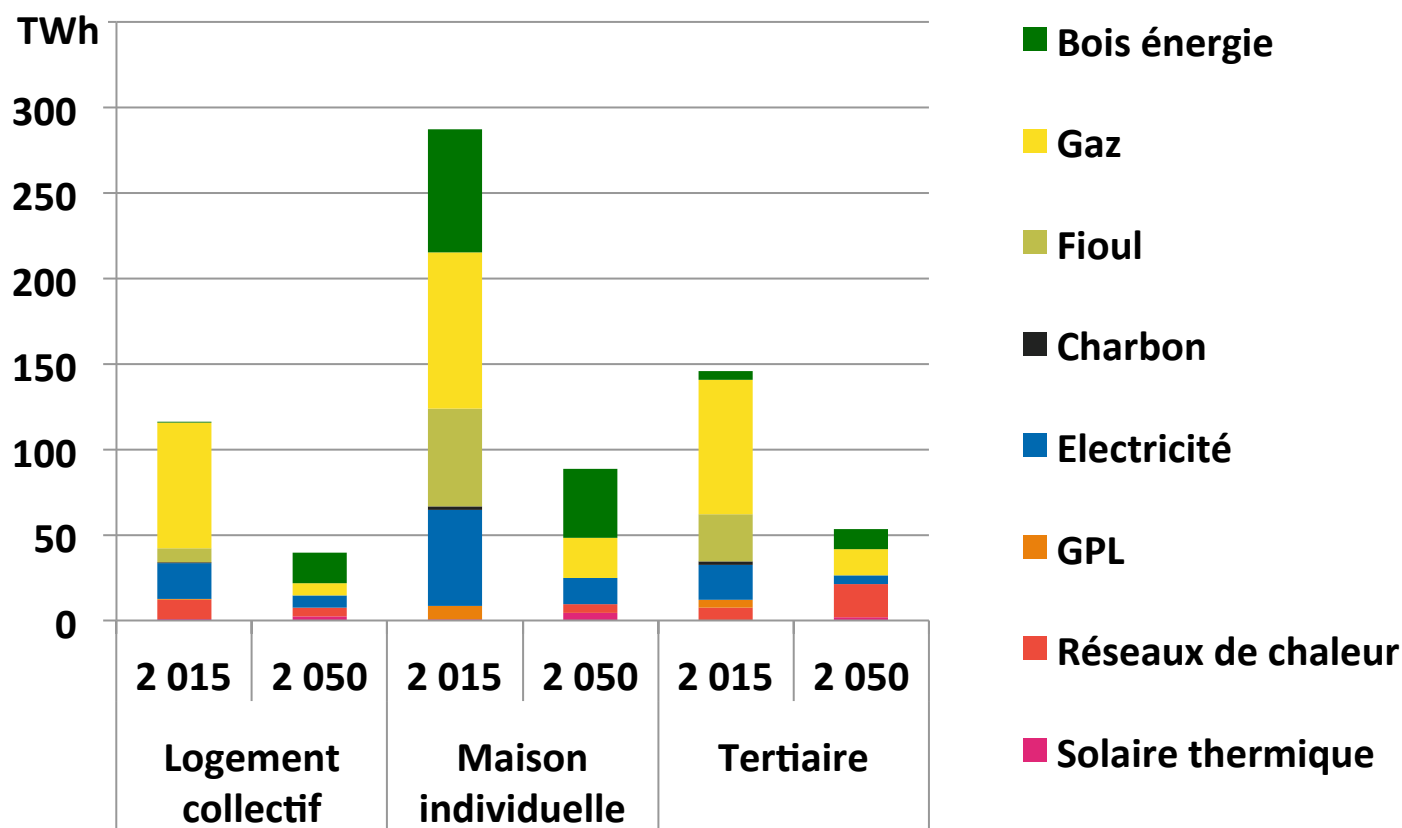


- **Modification des parts modales des énergies de chauffage**
 - Fort développement des PAC, quasi-disparition de l'électrique direct
 - Développement marqué de la biomasse
 - Disparition du fioul, diminution du gaz réseau (dont la part ENR augmente)
 - Introduction de cogénération dans le tertiaire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

↳ Résultats dans le résidentiel / tertiaire

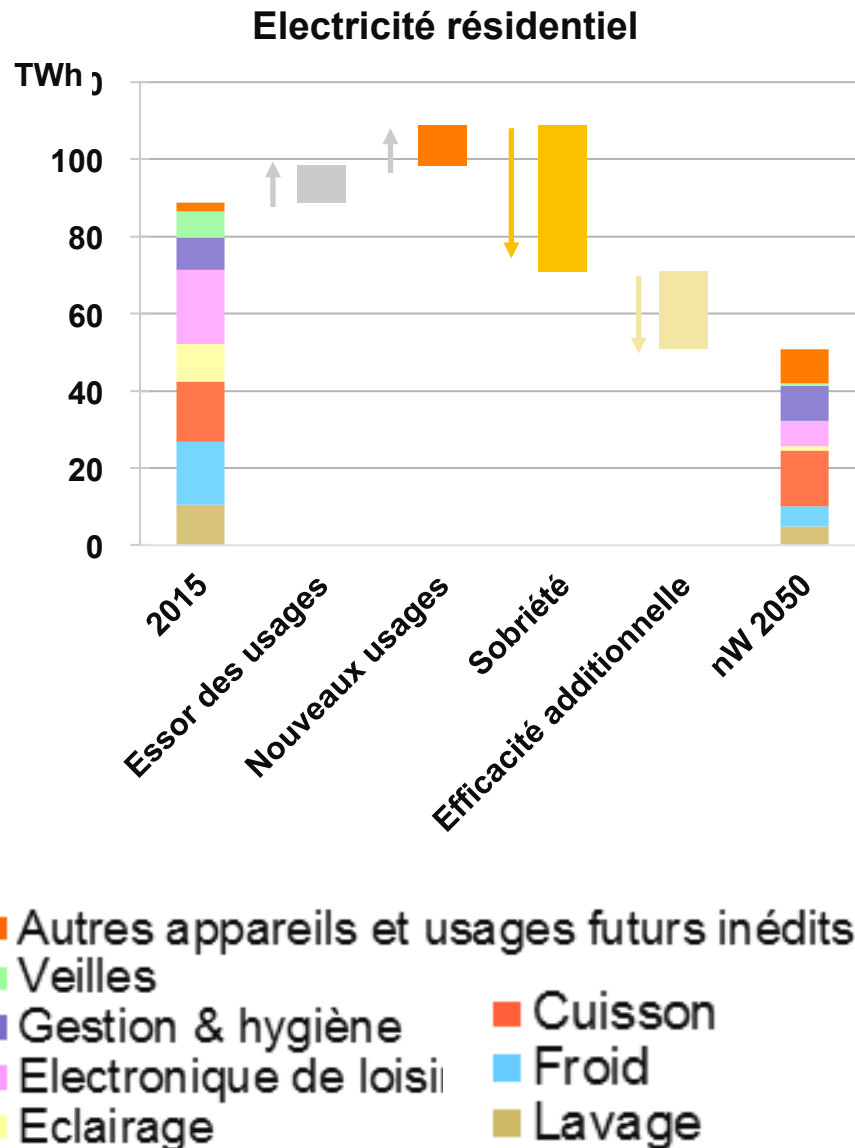


Energie finale chauffage et eau chaude sanitaire



- Division des consommations par un facteur 3, malgré l'augmentation des surfaces
- Part réduite pour l'électricité, grâce aux pompes à chaleur

Appareils électriques



○ Augmentation tendancielle (augmentation des équipements, nouveaux usages)

○ Scénario nW :

- Modération de la taille et du nombre des équipements, et de leur usage
- Réduction de consommation inutile (écrans publicitaires...)
- Réglementations renforcées sur les produits
→ efficacité additionnelle

sobriété

~ Réduction de la consommation moyenne des ménages d'un facteur supérieur à 2

○ Evolutions similaires sur le tertiaire



Transports



↳ Mobilité des personnes : méthodologie suivie



- Une répartition des voyageurs.km en 25 catégories et sous-catégories
 - Mobilité régulière et locale
 - 10 typologies d'urbanisme
 - Mobilité longue distance
 - Distinction mobilité personnelle / mobilité professionnelle
 - Distinction selon la longueur du déplacement
 - Autres types de déplacement
- 12 modes de transport modélisés
- Hypothèses de sobriété, d'efficacité énergétique et d'évolution des vecteurs énergétiques utilisés



Industrie

↘ La démarche négaWatt dans le secteur industriel



PRODUCTION

**INTENSITE
ÉNERGÉTIQUE**

ÉNERGIE

Mt

x

MWh/t

=

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*

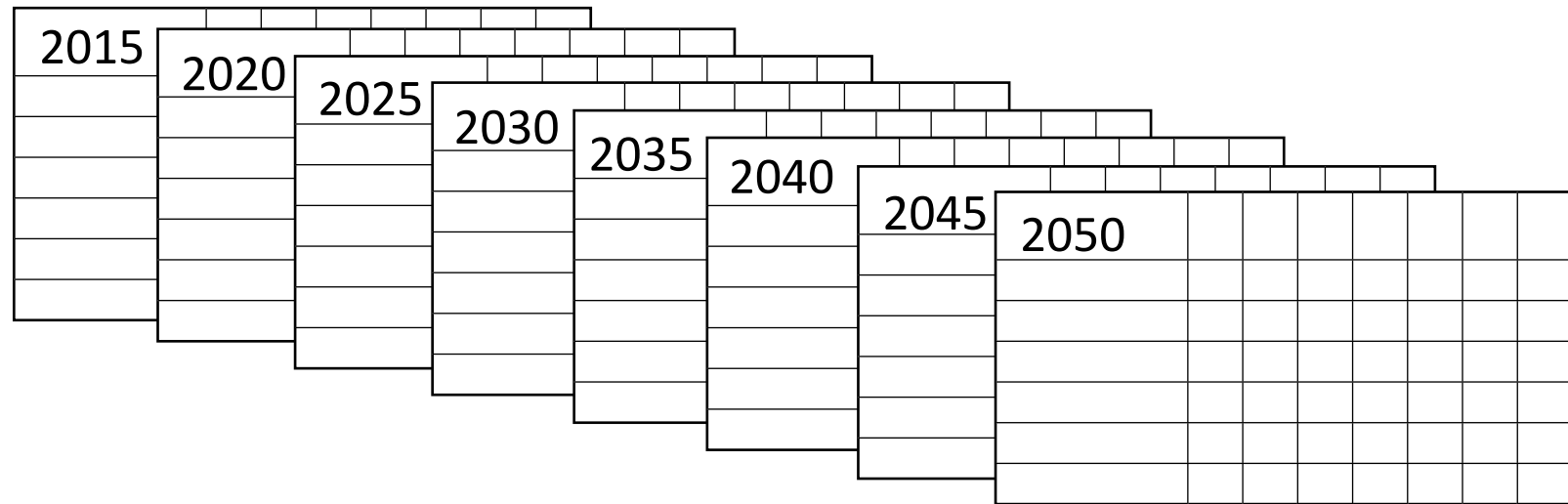
RENOUVELABL

E

- Biomasse
- Solaire thermique
- Electricité ER



Quels besoins à l'horizon 2050 ?

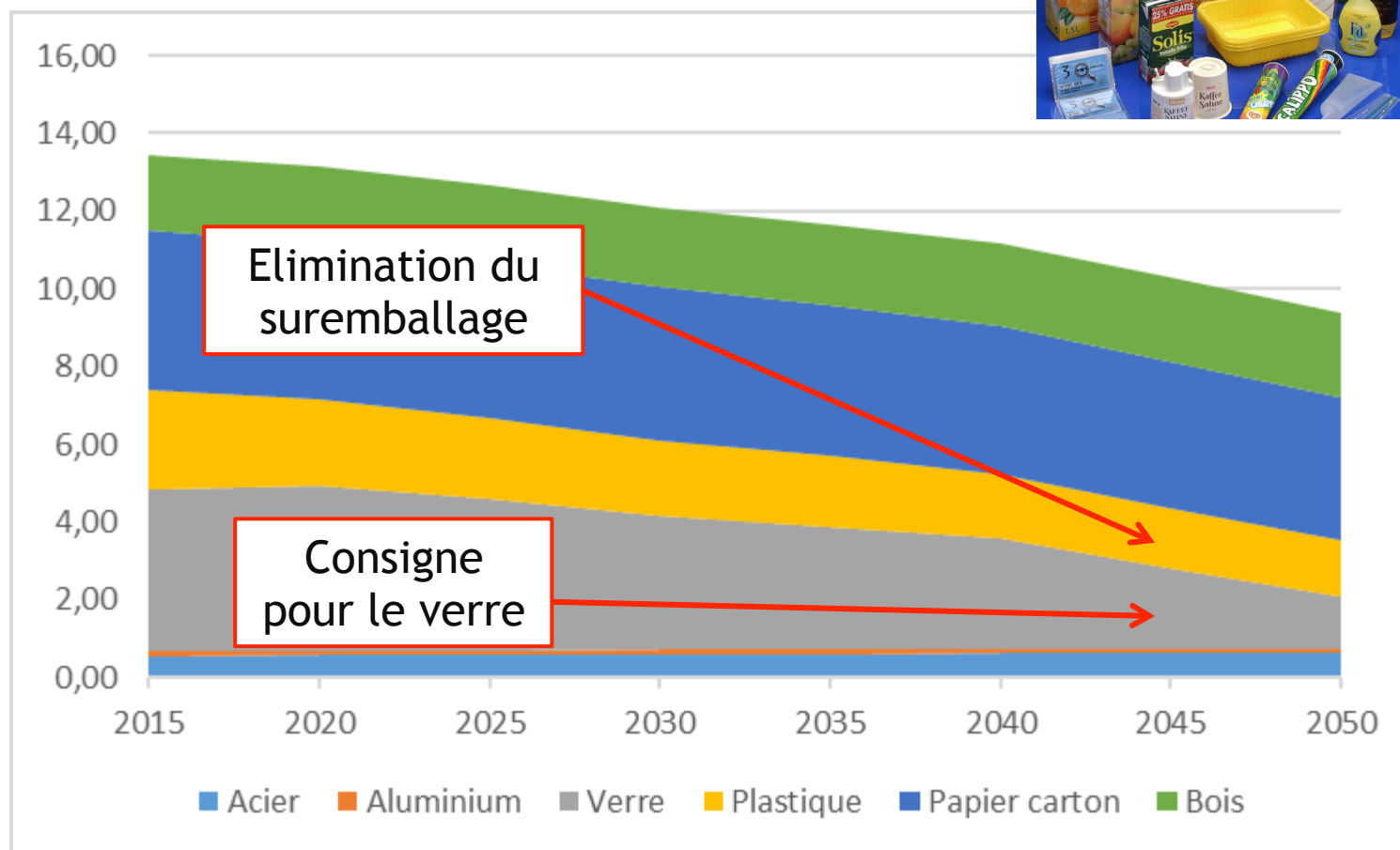


- Augmentation de la **population**
- **Sobriété** sur les usages
- Possibilité optionnelle d'adapter la production à la consommation

Un exemple de sobriété : les emballages



Evolution des quantités en Mt

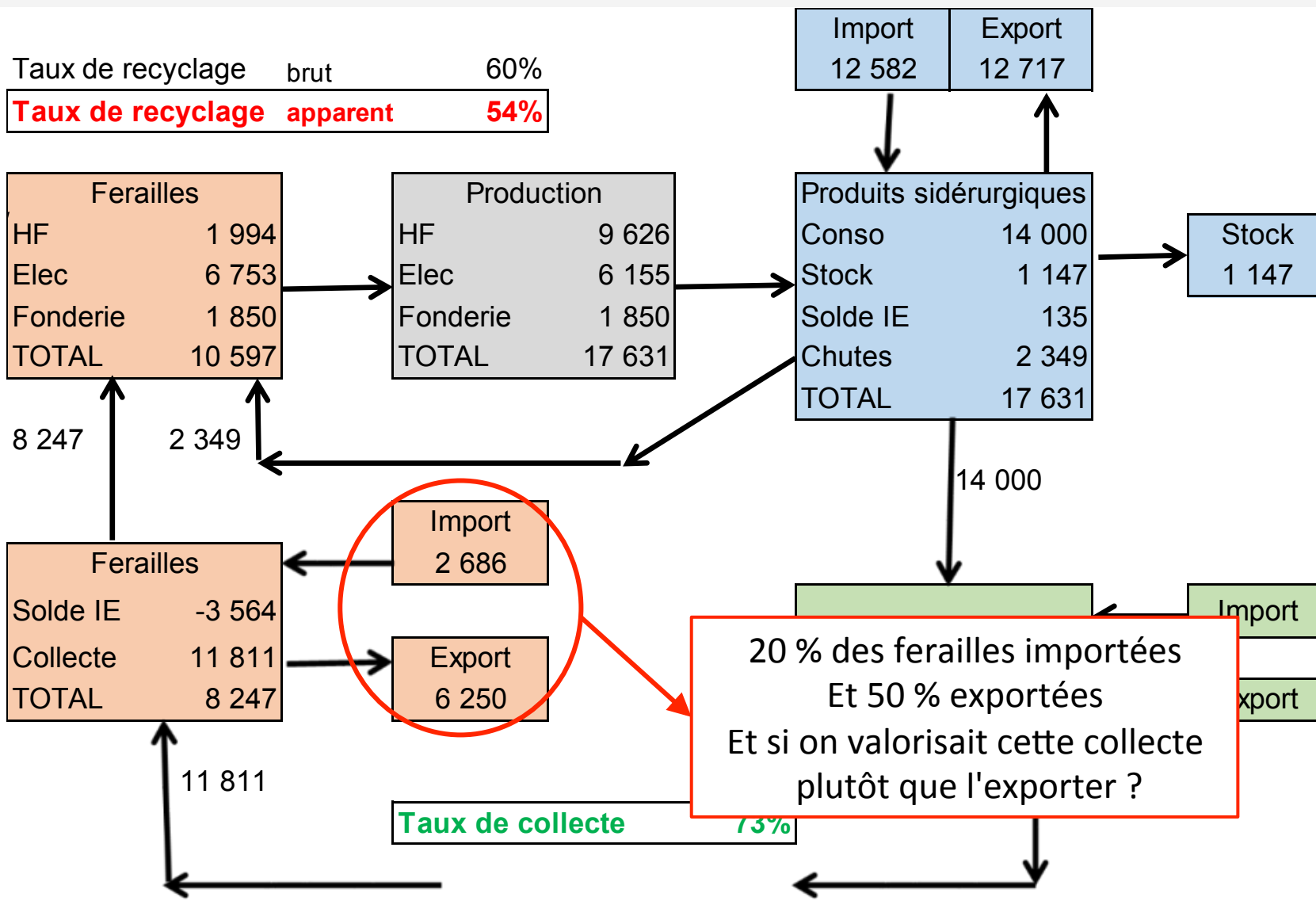




Exemple de bilan d'approvisionnement pour l'acier en kt



Taux de recyclage brut 60%
Taux de recyclage apparent 54%





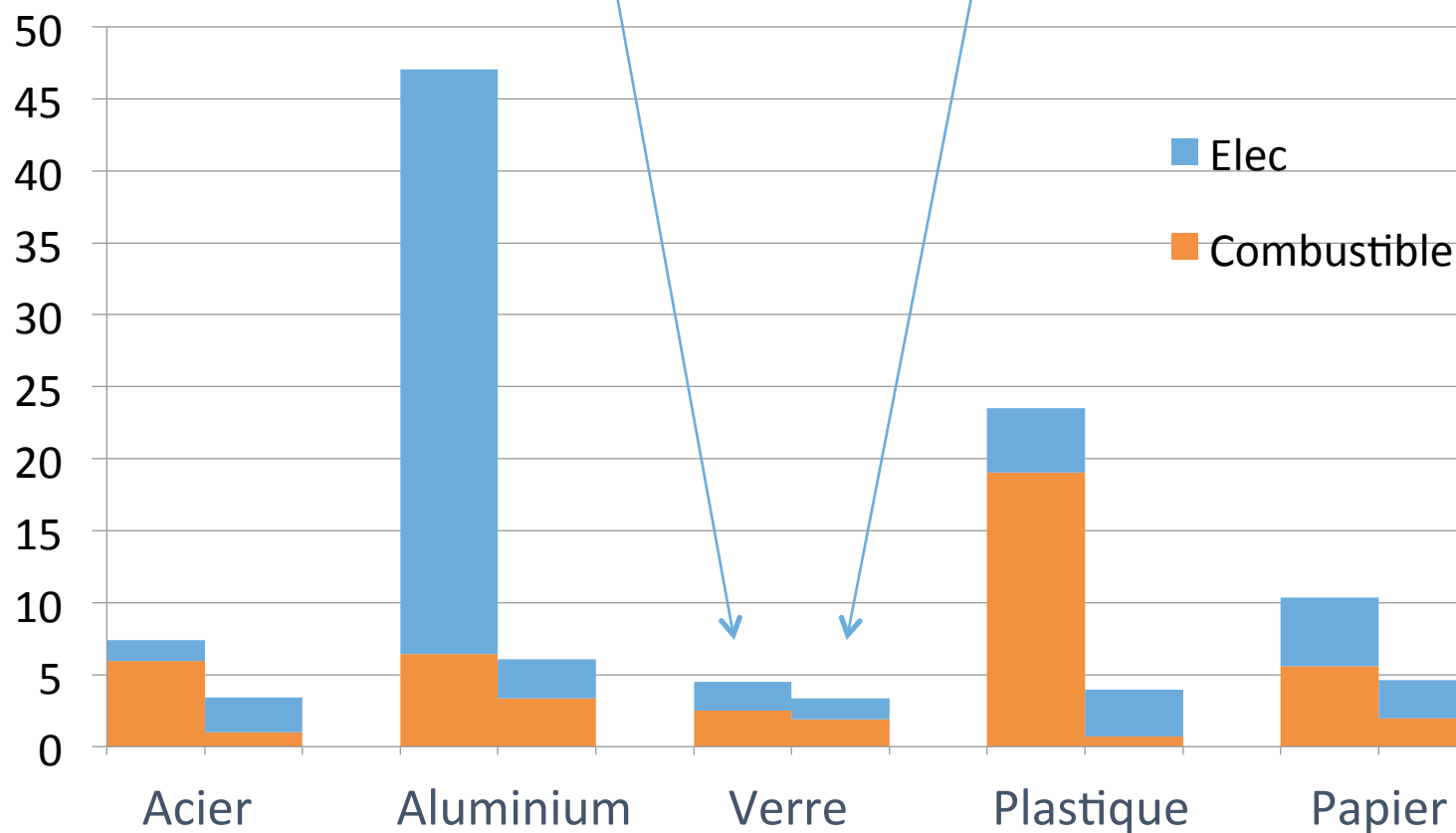
D'importantes économies avec le recyclage



Consommation
d'énergie
MWh/ep / tonne

A partir de matières
premières

À partir de
matériaux recyclés





Collecte et recyclage



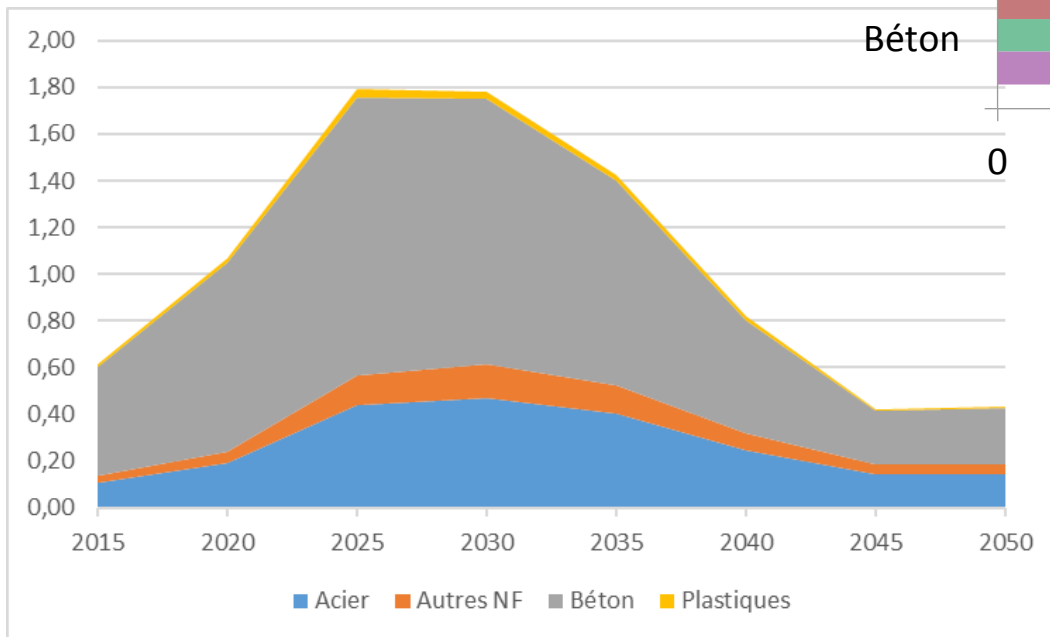
	Taux de collecte 2015	Taux de recyclage 2015	Taux de recyclage prévu en 2050
Valoriser la collecte plutôt que l'exporter			
Acier	74%	52%	90%
Aluminium	26%	44%	86%
Verre	42%	45%	90%
Améliorer la collecte			
Papier carton	15%	9%	30%
Papier carton	74%	56%	80%
Huiles		30%	80%
Pneus		0%	50%
Bitume		4%	85%



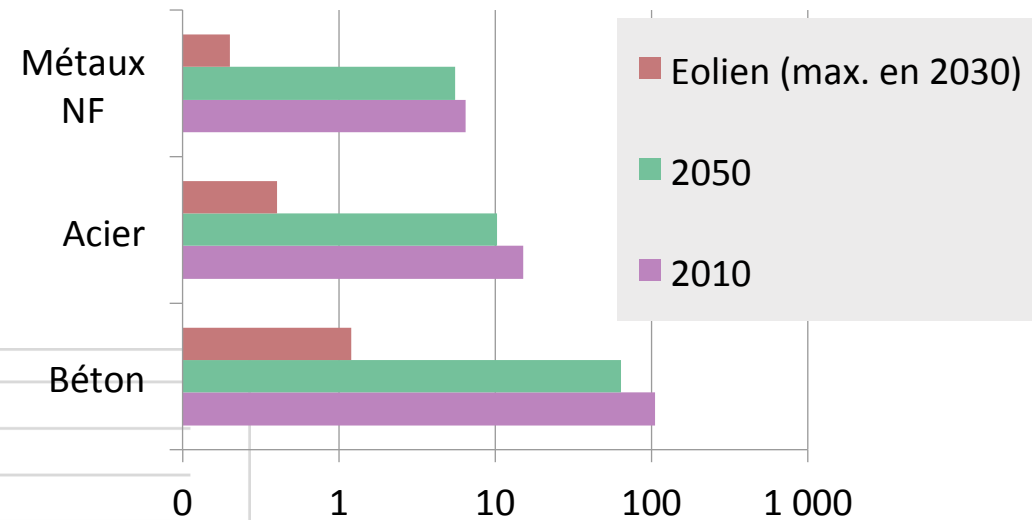
Impact du développement des renouvelables sur la consommation de matériaux



Exemple : quantité de matériaux pour l'éolien en Mt



Comparaison avec la consommation nationale en Mt (échelle logarithmique)

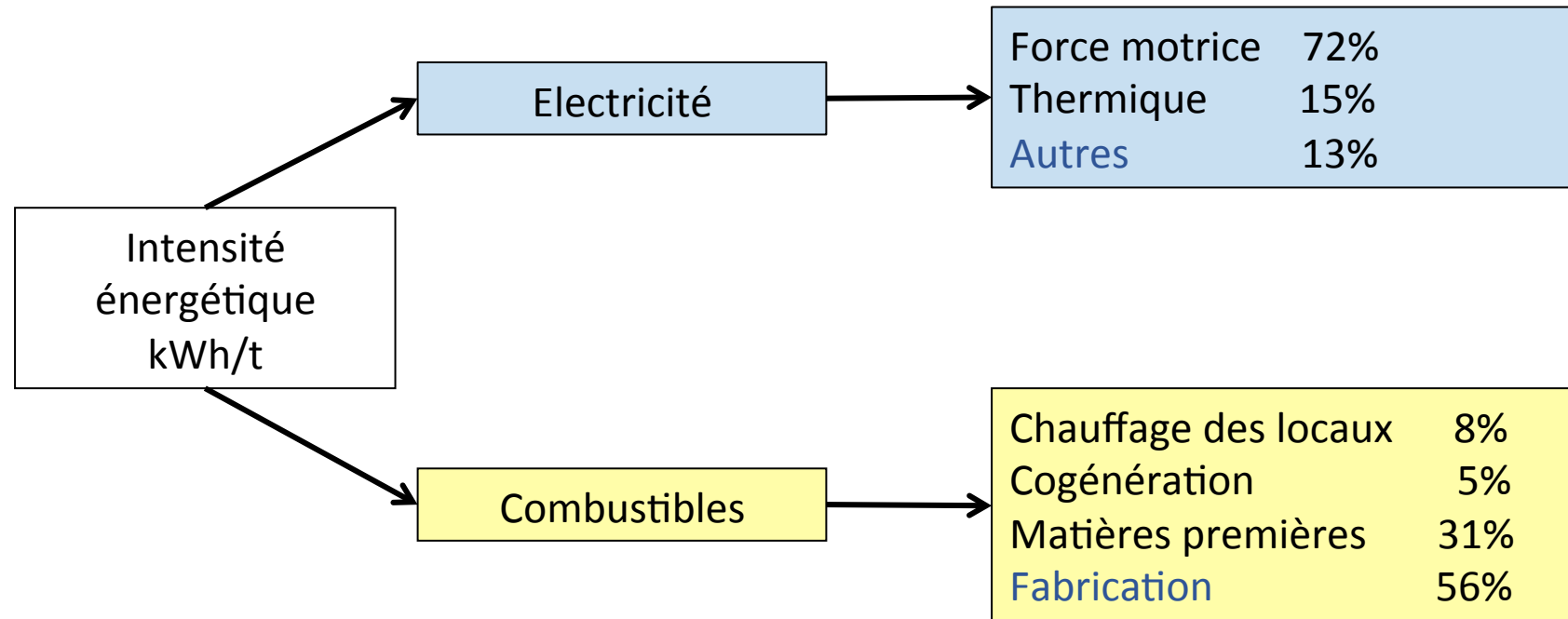


Consommation induite par éolien (1,2 Mt) = 3% des économies de béton dues à la sobriété (40 Mt)

NOUVEAUTE 2017



L'efficacité énergétique



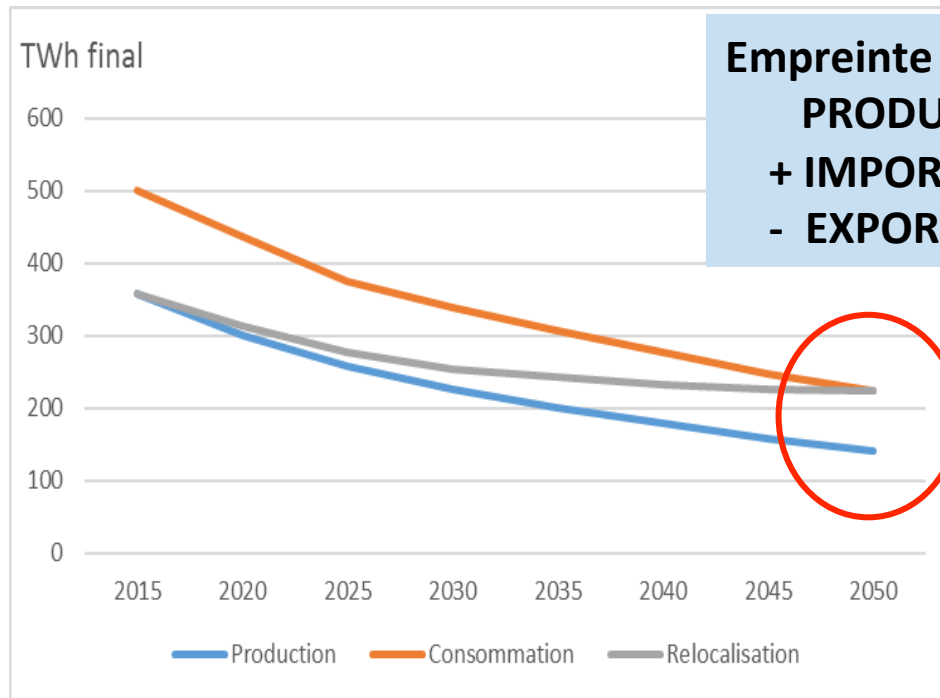
- Economies transversales
- Economies structurelles et meilleure technique disponible
- Substitution combustible électricité : CMV, PAC, induction

- **Acier et ammoniac avec hydrogène par électrolyse**

NOUVEAUTE 2017



Possibilité d'évaluer l'empreinte liée à la consommation



Empreinte énergétique = Energie de fabrication de :
PRODUCTION
+ IMPORTATIONS
- EXPORTATIONS

Environ 80 TWh de différence
qui pourraient être produits
avec un surcroît d'ER

NOUVEAUTE 2017

ANALYSE FINE DES EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES

En 2015

ORDINATEURS

MOBILES

Production

30 000

0

Consommation

8 millions !

24 millions !

20 TWh SUPPLEMENTAIRES POUR L'EMPREINTE

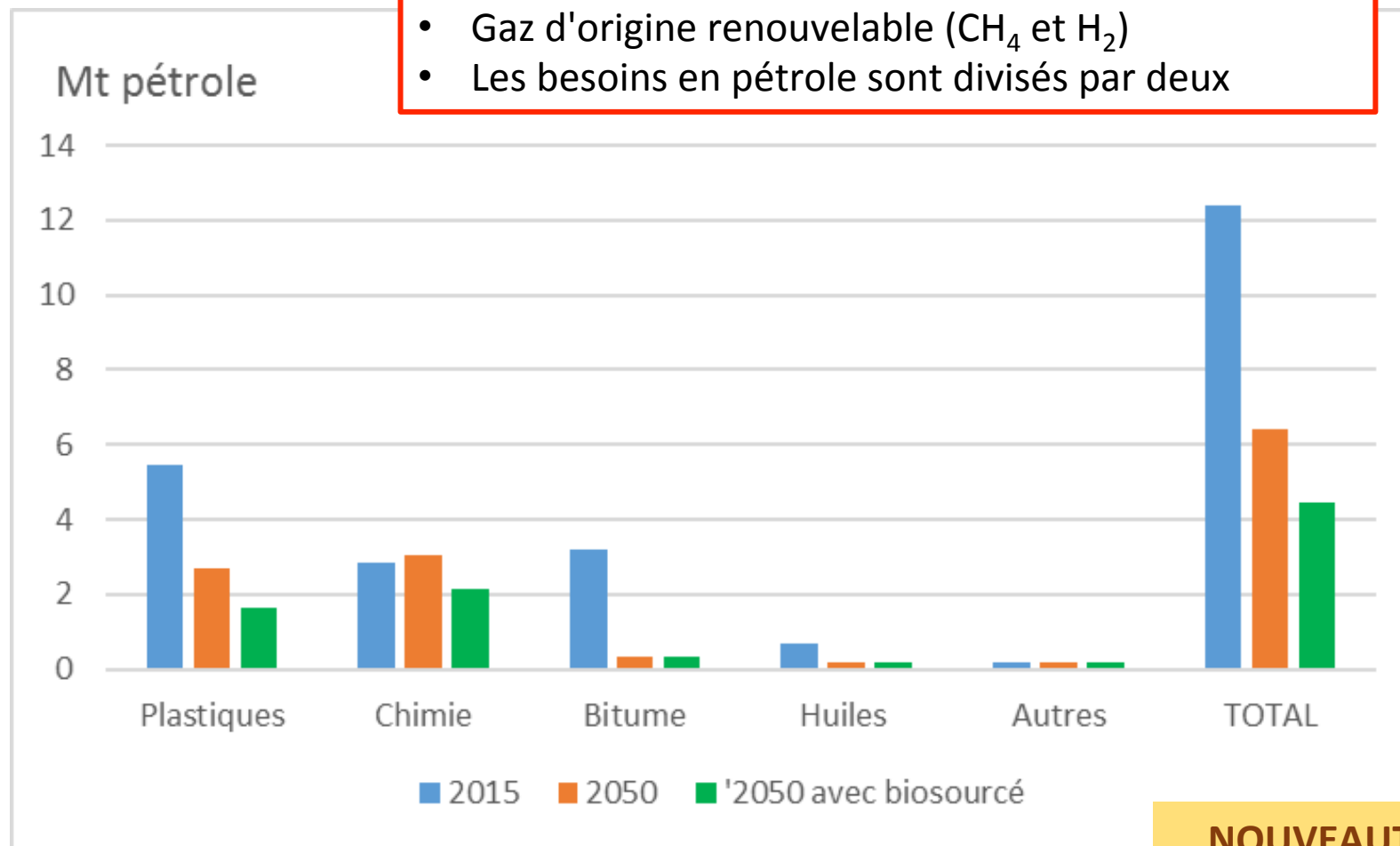


Les combustibles fossiles à usage non énergétique



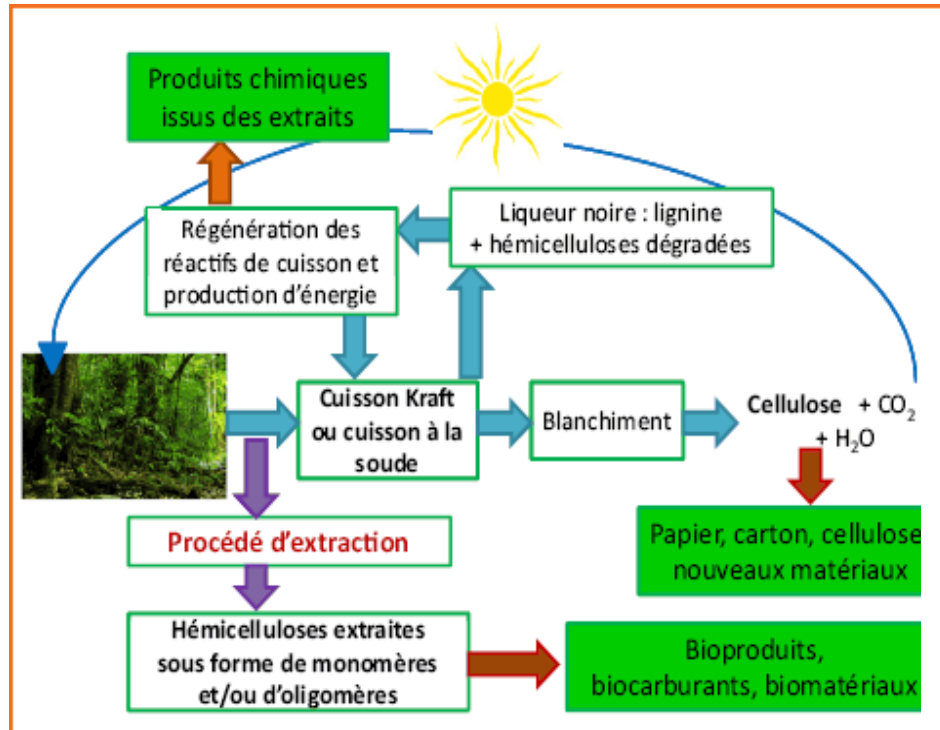
En 2050

- Disparition quasi totale du charbon
- Gaz d'origine renouvelable (CH_4 et H_2)
- Les besoins en pétrole sont divisés par deux

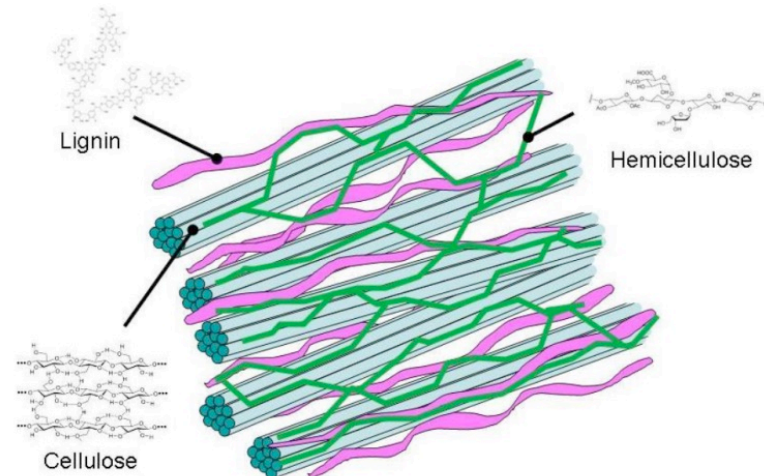


NOUVEAUTE 2017

Les matériaux biosourcés



Source PAGOR Grenoble NP



NOUVEAUTE 2017

Evaluation prudente vu l'état des connaissances aujourd'hui



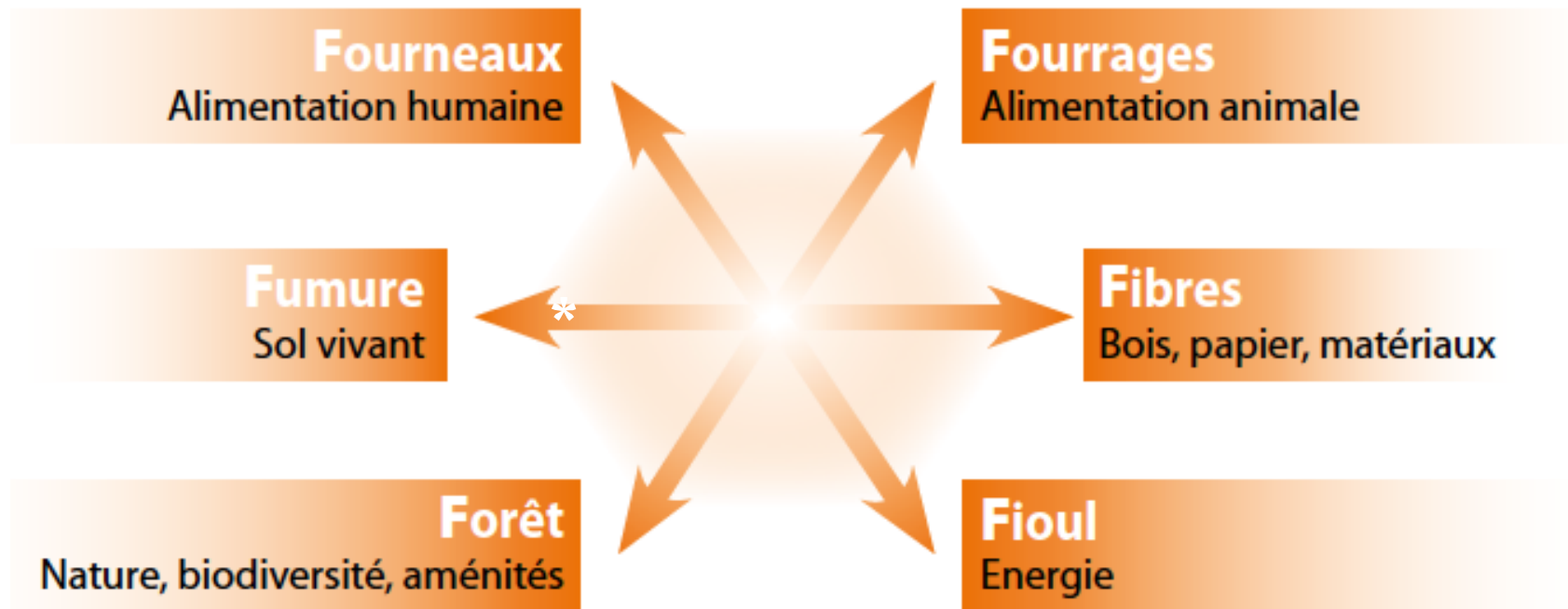
Alimentation, agriculture, forêt



↘ **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



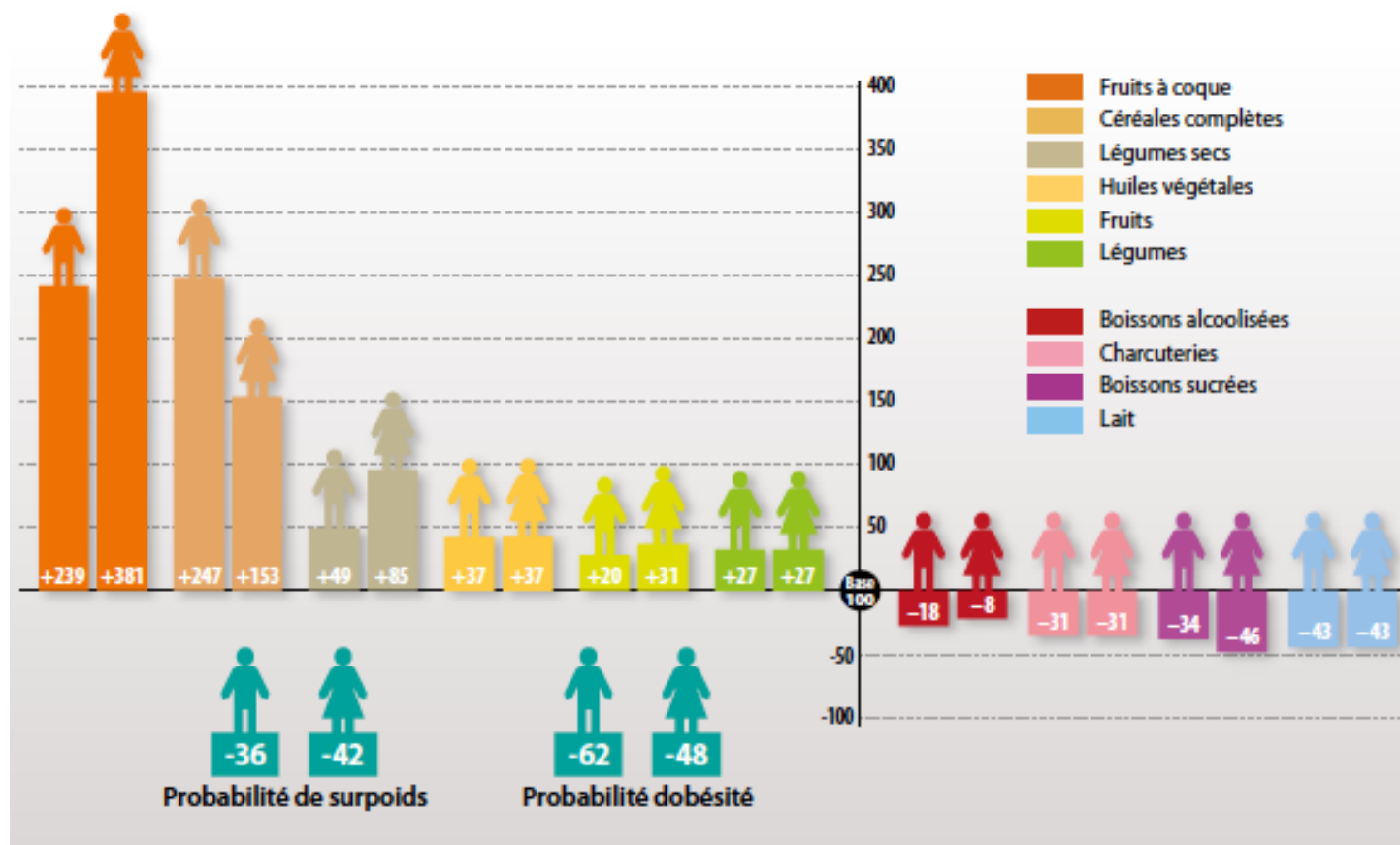
* *Foresta* (VII^e Siècle) : « territoire soustrait à l'usage général » ;
« terrain sur lequel on a prononcé un ban, une proscription de
culture, d'habitation »



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





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

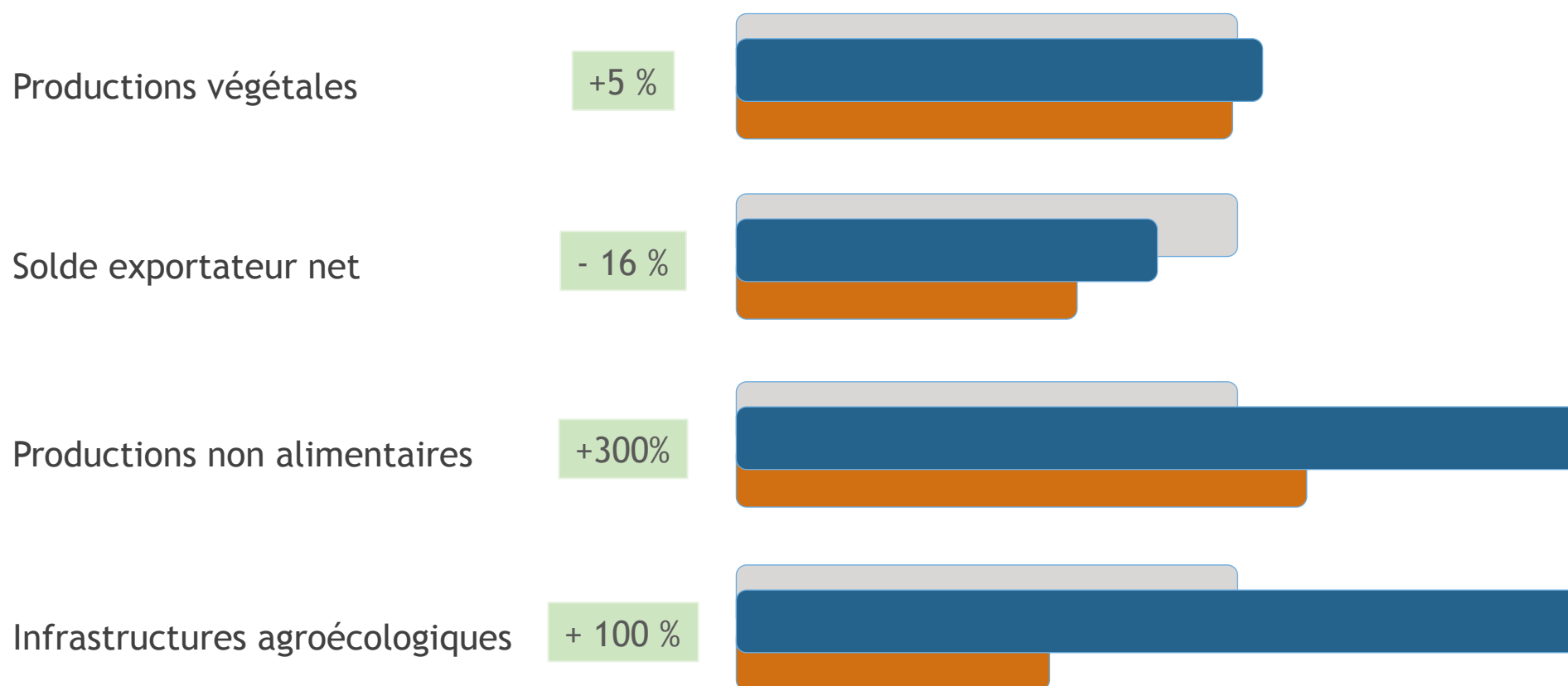
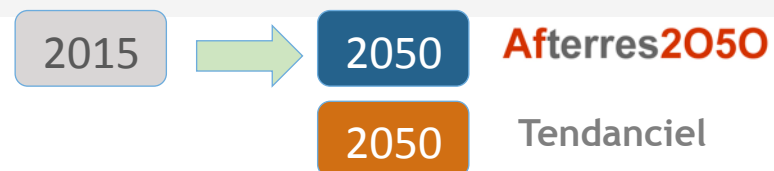
SEMIS DIRECT SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE

PRÉS-VERGER

SEMENCE PAYSANNE



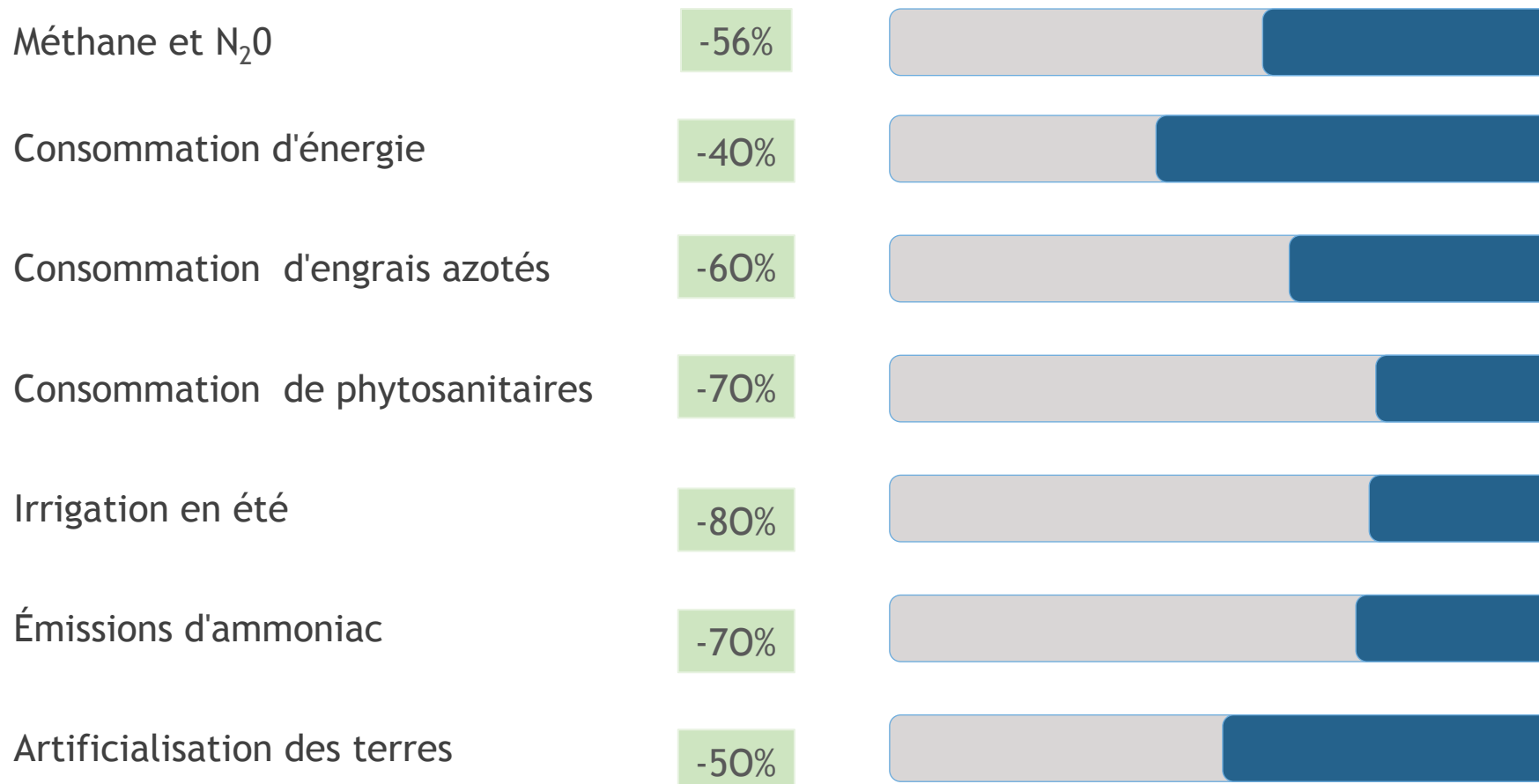
↘ Une production réorientée



↘ 2 à 5 fois moins d'impact



2015 → 2050 **Afterres2050**





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



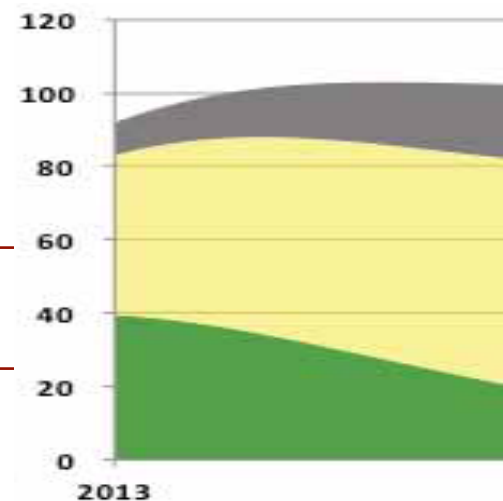
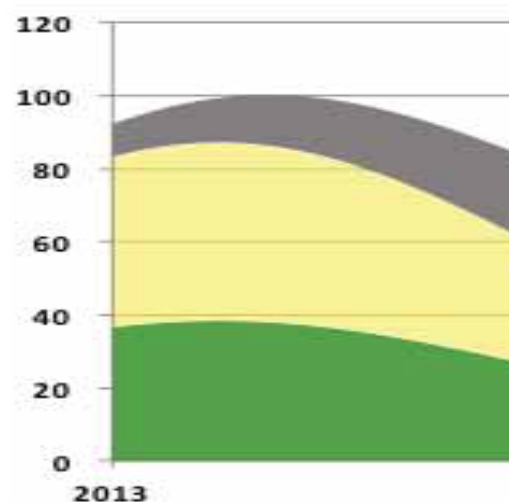
Scénario sylviculture constante

Scénario sylviculture dynamique

➡ **Afterres2050**

Mm³

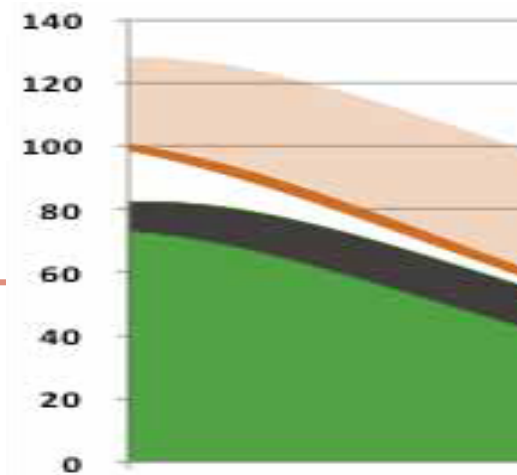
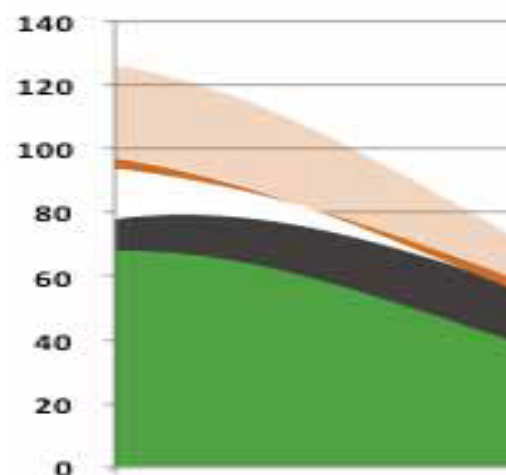
- Mortalité
- Prélèvements
- Accumulation



Production

MtCO₂

- substitution
- produits
- sols
- bois mort
- croissance



Puits de carbone

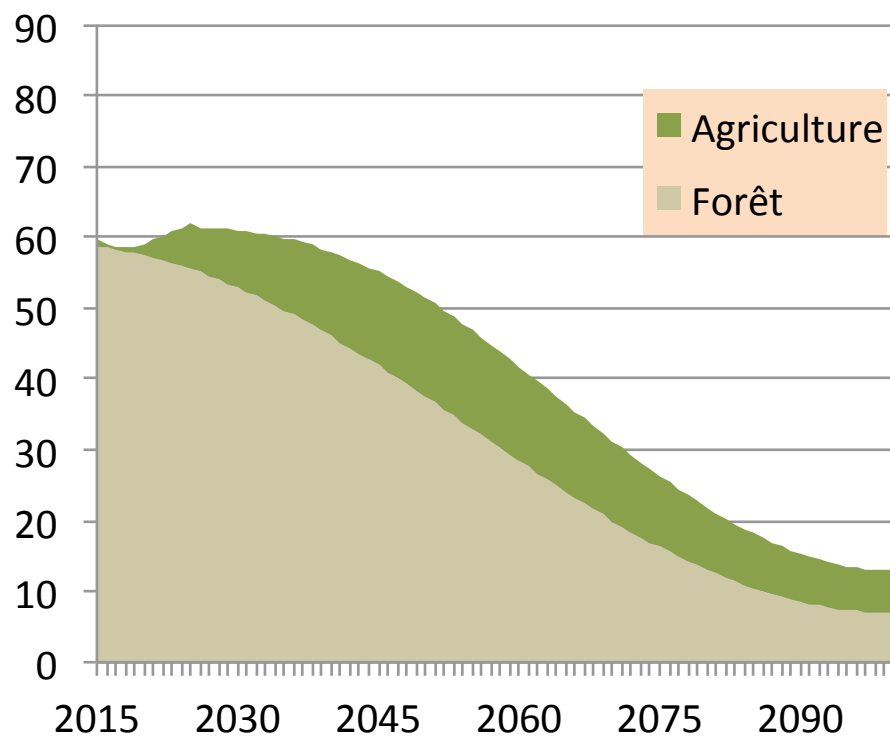
Source : *travaux exploratoires* de J-L. Peyron, ECOFOR, in « Climat, Forêt, Société – Livre Vert », Y. Caulet, Nov. 2015

↘ Puits de carbone

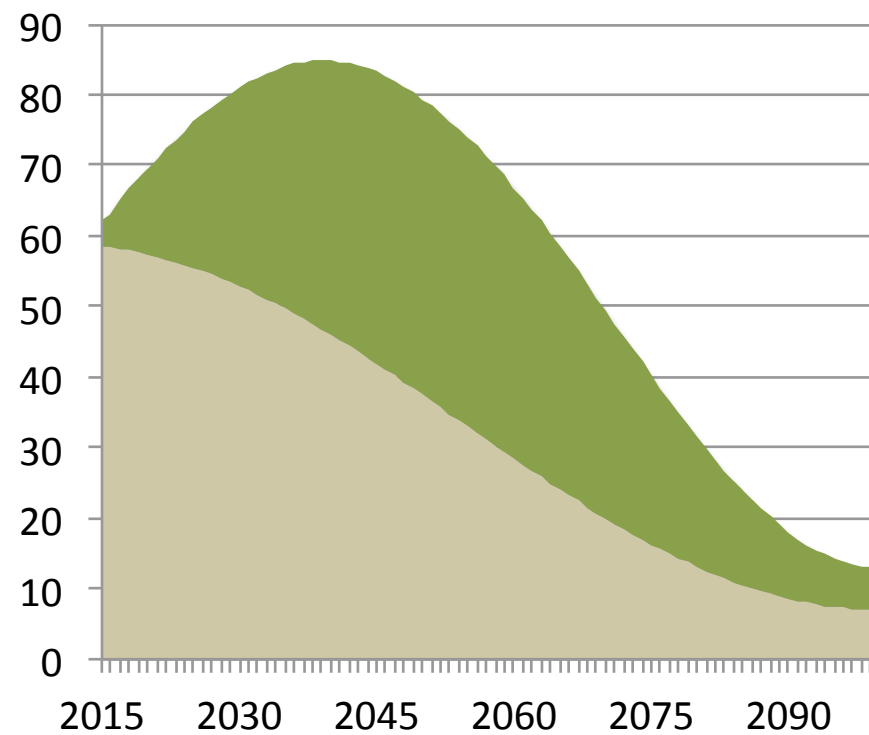


MtCO₂

Tendancierel



Afterres / négaWatt





Bioénergies





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

↘ 4 fonctions majeures de la méthanisation



Produire de l'énergie

Biométhane

Carburant

Fournir du CO2

Méthanation

Favoriser la transition agroécologique

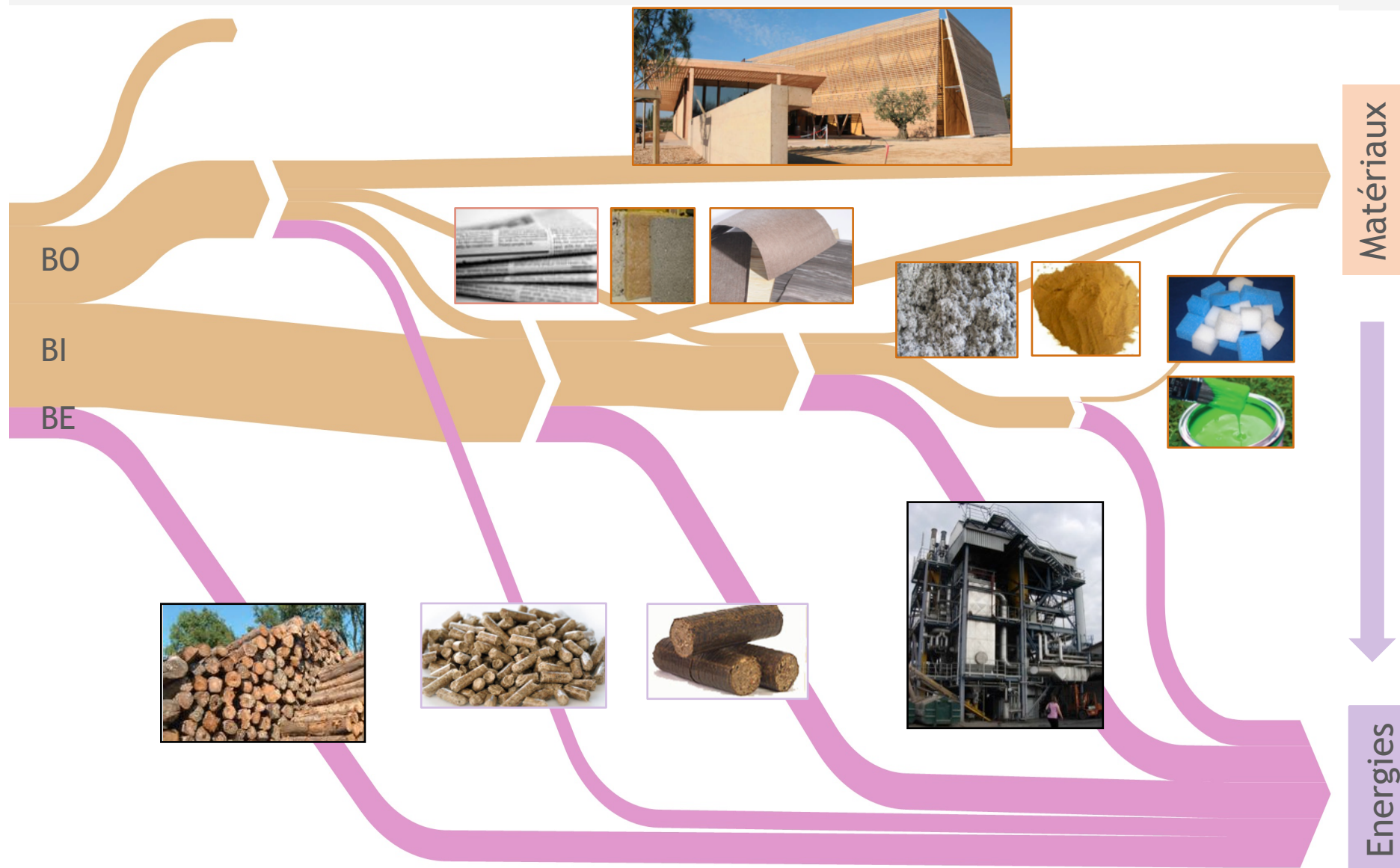
Recyclage nutriments (NPK)

Optimisation matière organique

Créer un outil socio-économique

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

↳ Filière bois : nouveaux matériaux, nouvelles énergies

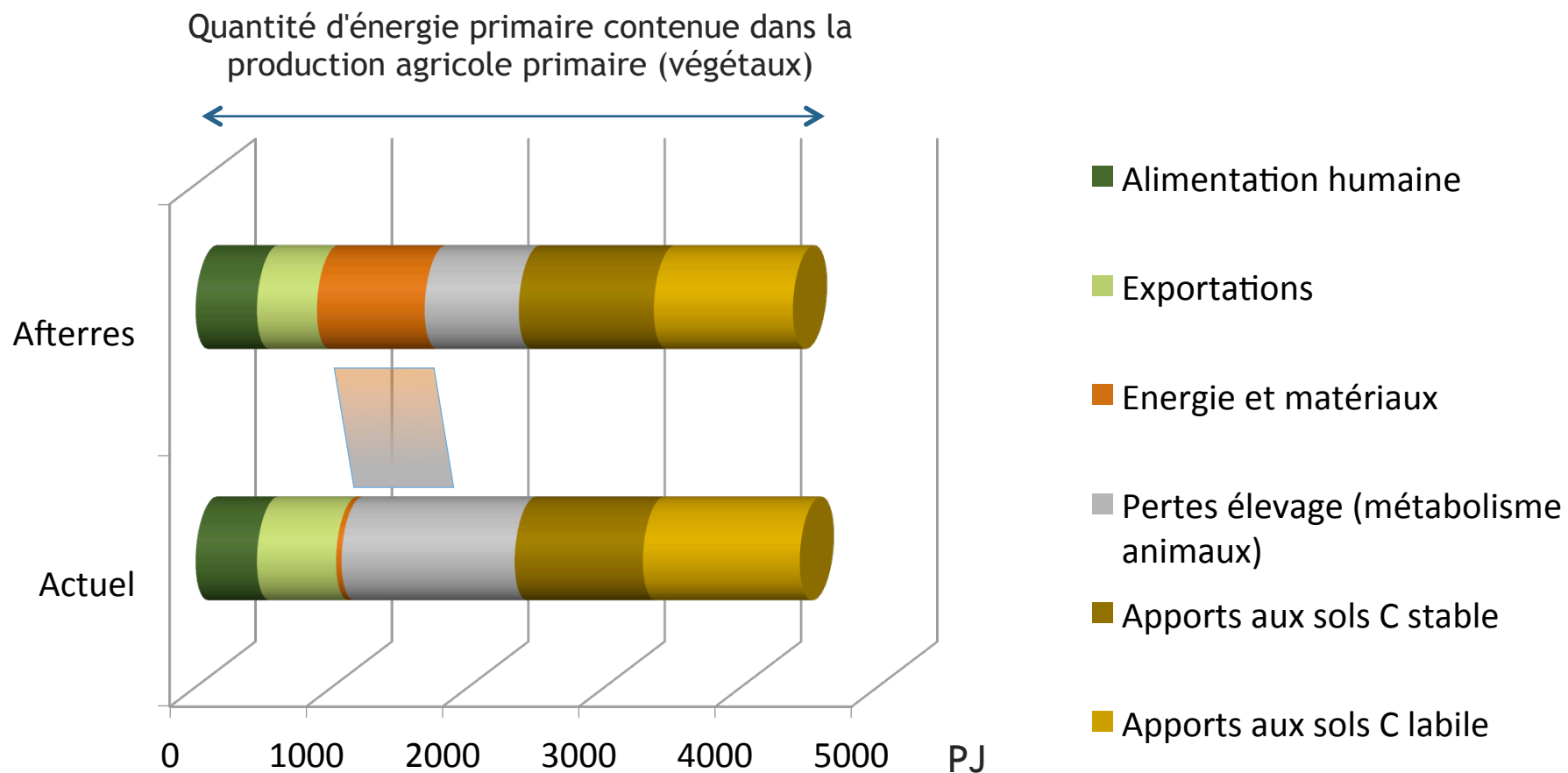


Matériaux



Energies

↘ Bioénergies d'origine agricole

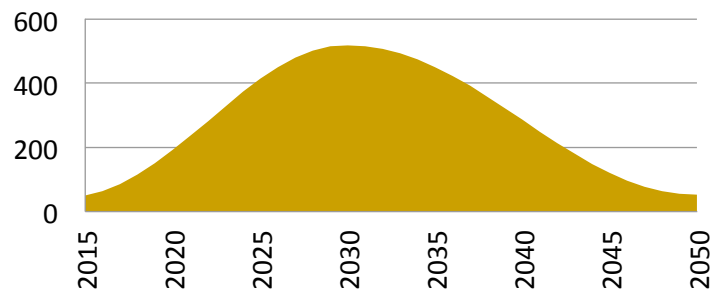


Destination finale des flux d'énergie primaire (via la photosynthèse) en PJ / an – France métropolitaine

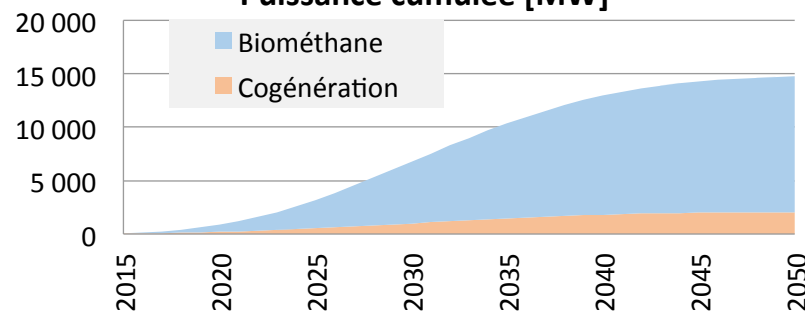
↘ **10.000 méthaniseurs, 13 GW_g + 2 GW_e**



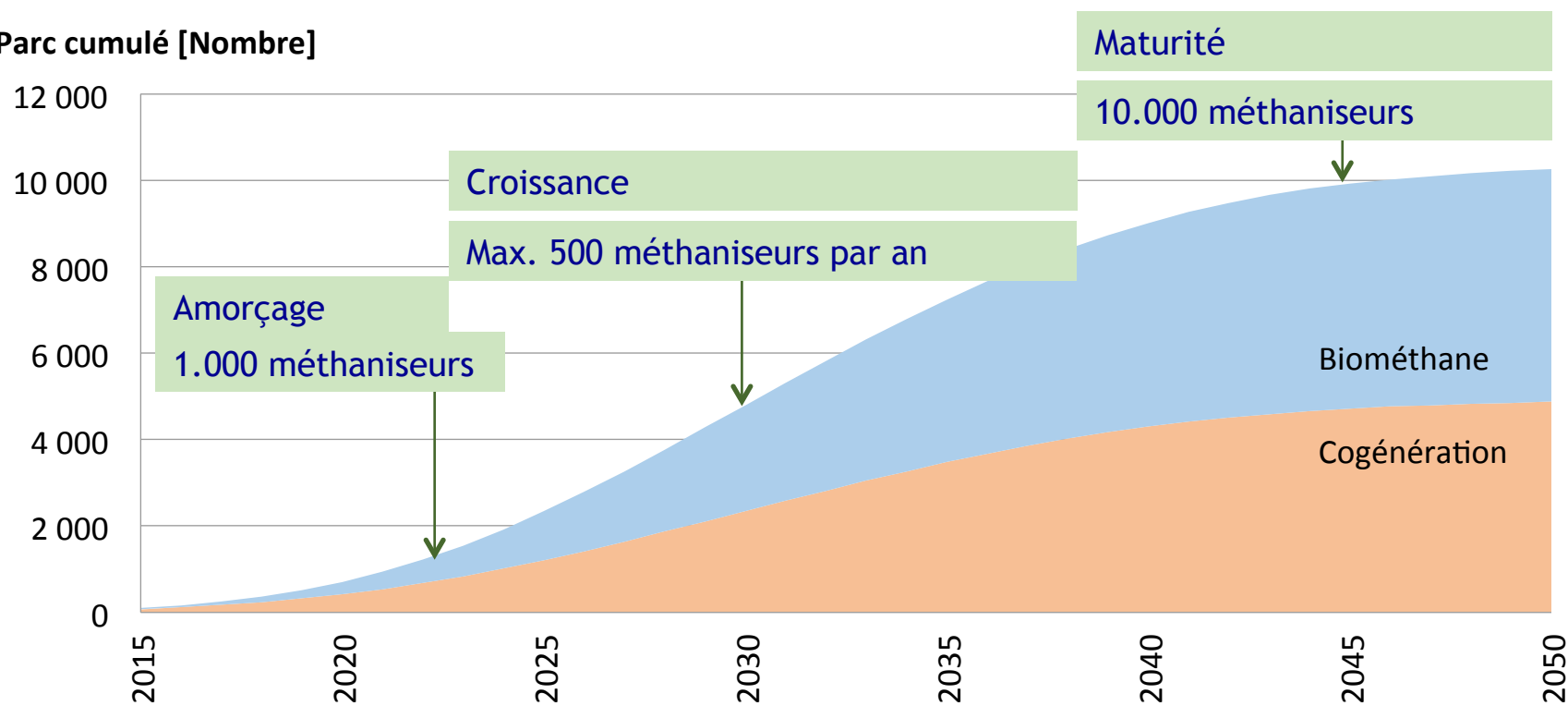
Nombre de nouvelles unités par an



Puissance cumulée [MW]



Parc cumulé [Nombre]



↘ Biokérosène 1G : opérationnel mais limité



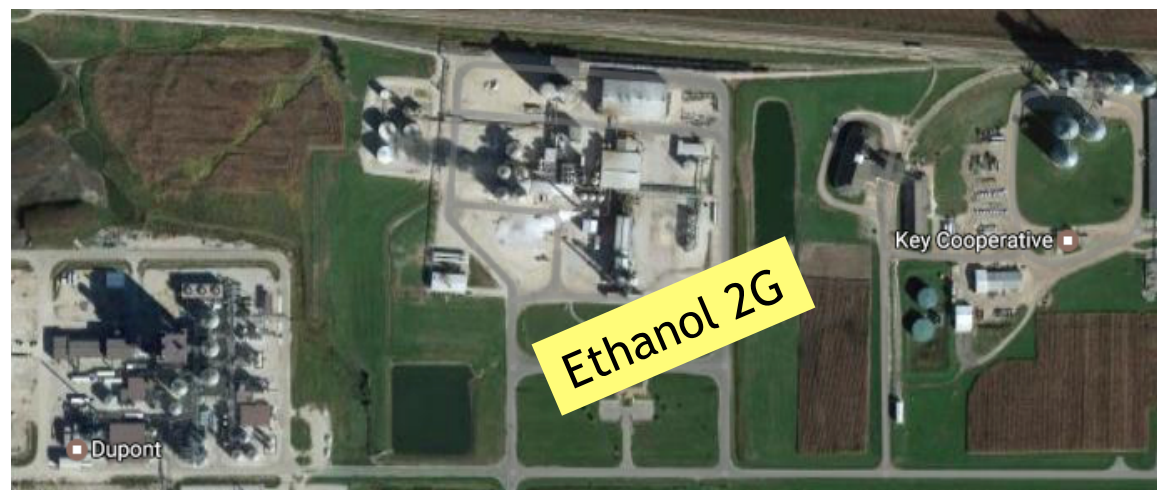
- Filières huile
 - Mature, nombreux vols commerciaux depuis 2011
 - Problème : disponibilité limitée de la ressource
- Filière Farnésène (Airbus – Total)
 - Produit au Brésil
 - 1 an de vol Toulouse – Paris en 2014-2015



↘ Biocarburants 2nde génération



LIBERTY, Iowa - 275 M€ - Mise en service 2014



BioTFuel, Dunkerque - 180 M€ - Mise en service 2016

Algues



- Des travaux récents

Etude CRIGEN pour GrDF, 2013

Etude ENEA/INRIA pour Ademe, 2014

- Potentiel 2050

Produits haute et moyenne valeur : Oméga3, biop

Co-production de biogazole et bioéthanol

Biogaz avec les résidus

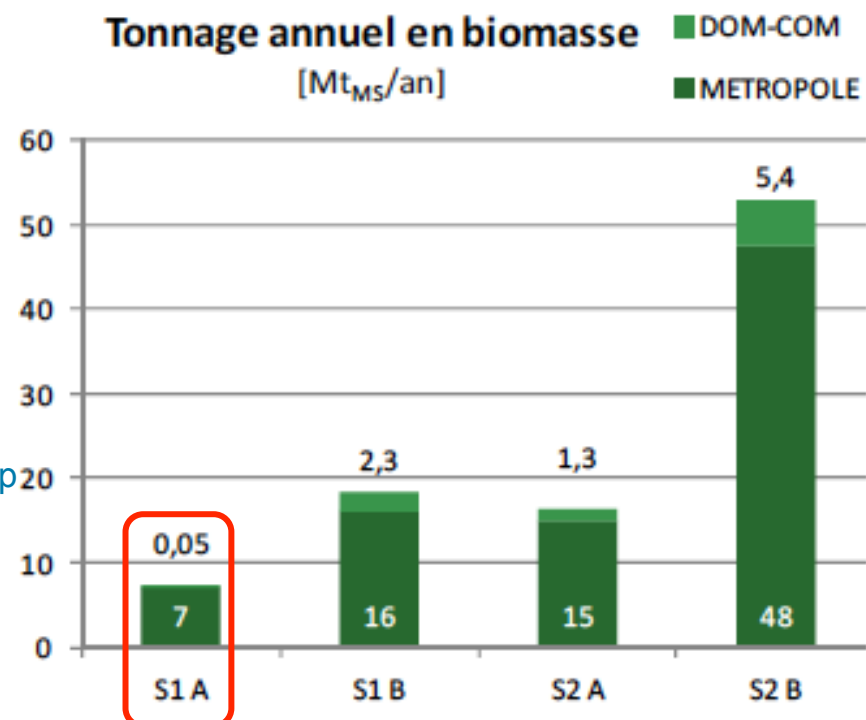


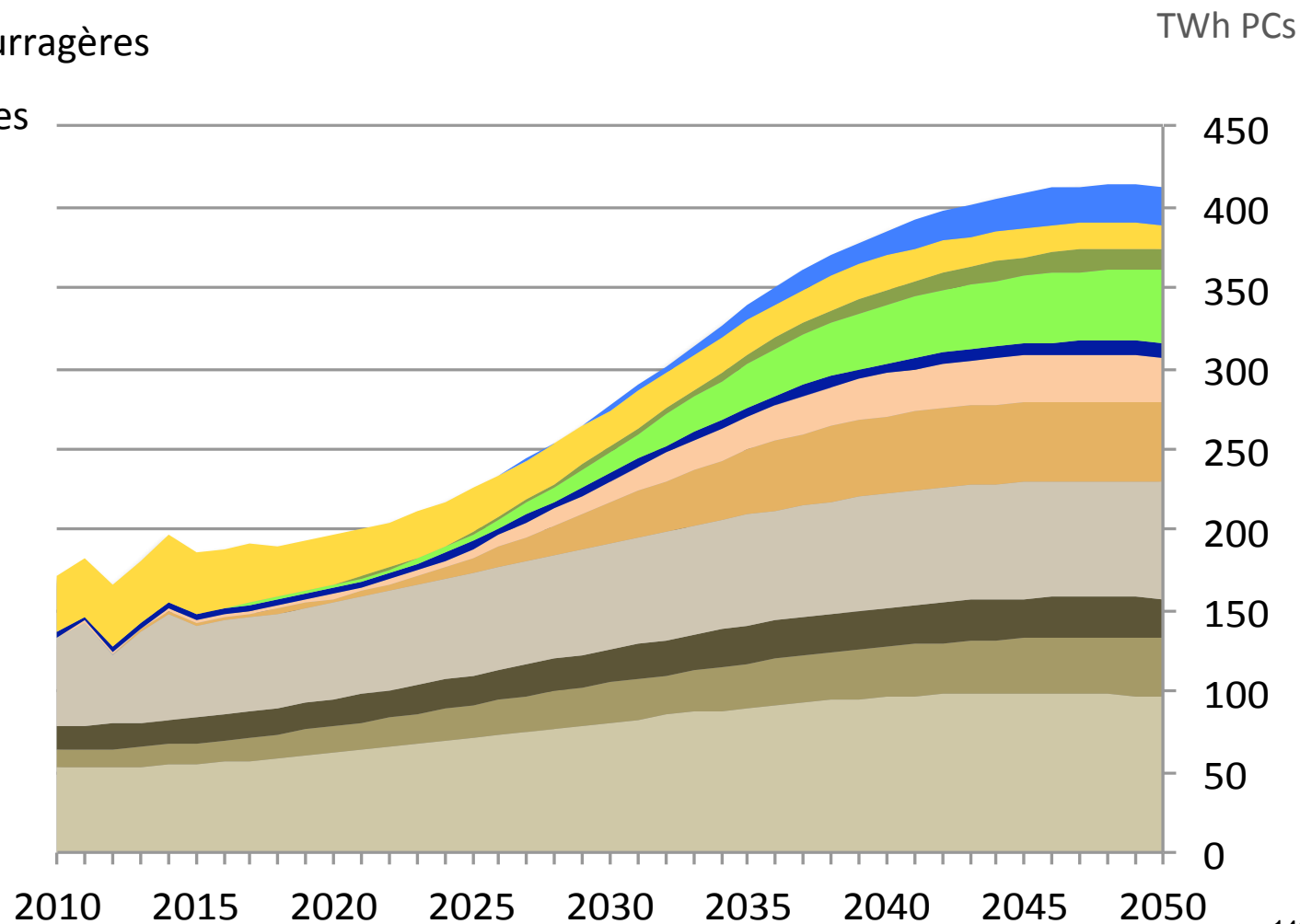
Figure 1 – Potentiel physique annuel de biomasse algale généré pour les scénarios autotrophes

↘ 420 TWh de Bioénergies



- Algues
- Cultures annuelles
- Herbes et cultures fourragères
- Cultures intermédiaires
- Biodéchets
- Déjections d'élevage
- Résidus de culture
- Dérivés du bois
- Produits connexes
- Bois hors forêt
- Bois forêt

Pas de cultures dédiées
Pas de concurrence avec autres usages

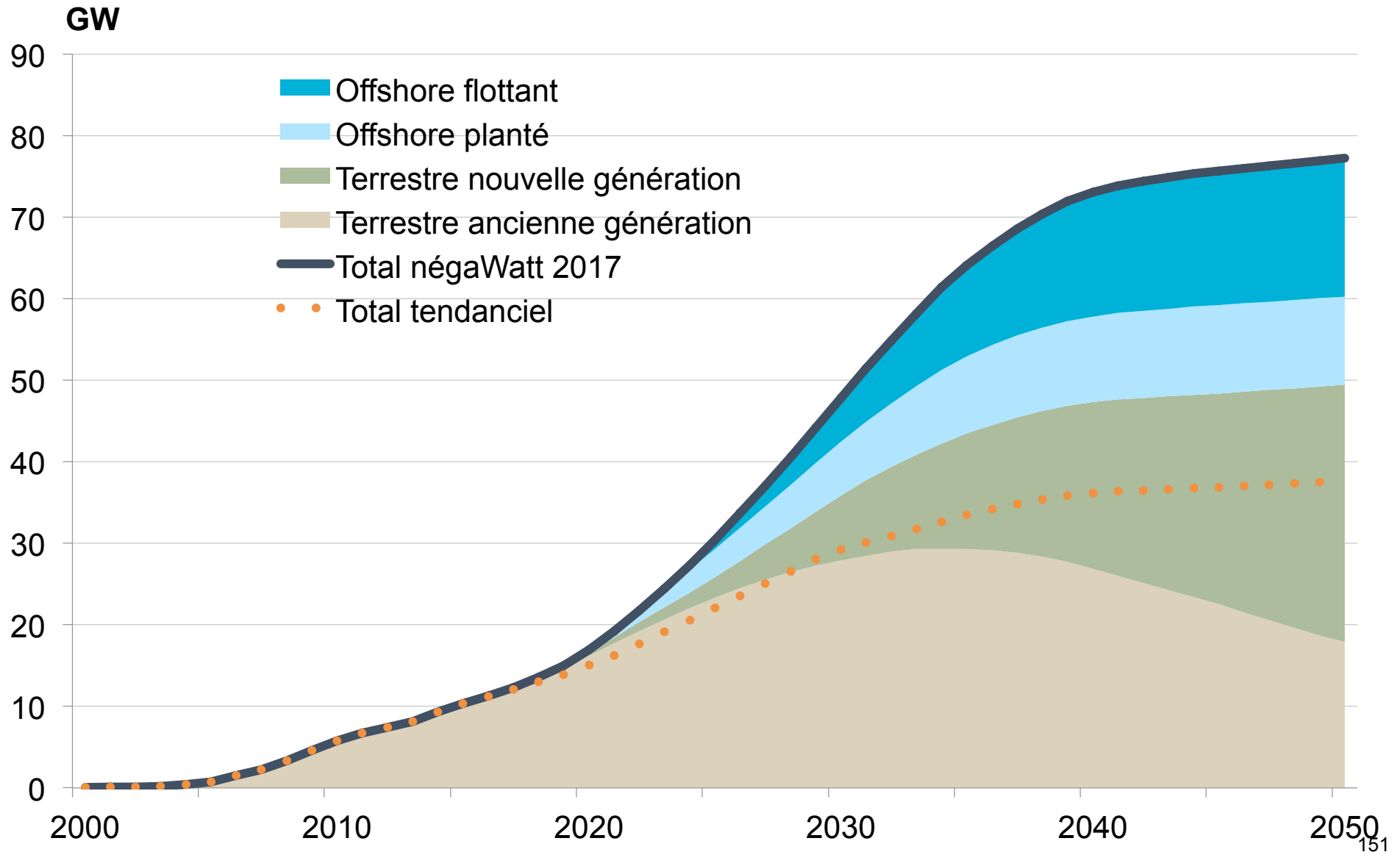




EnR électriques

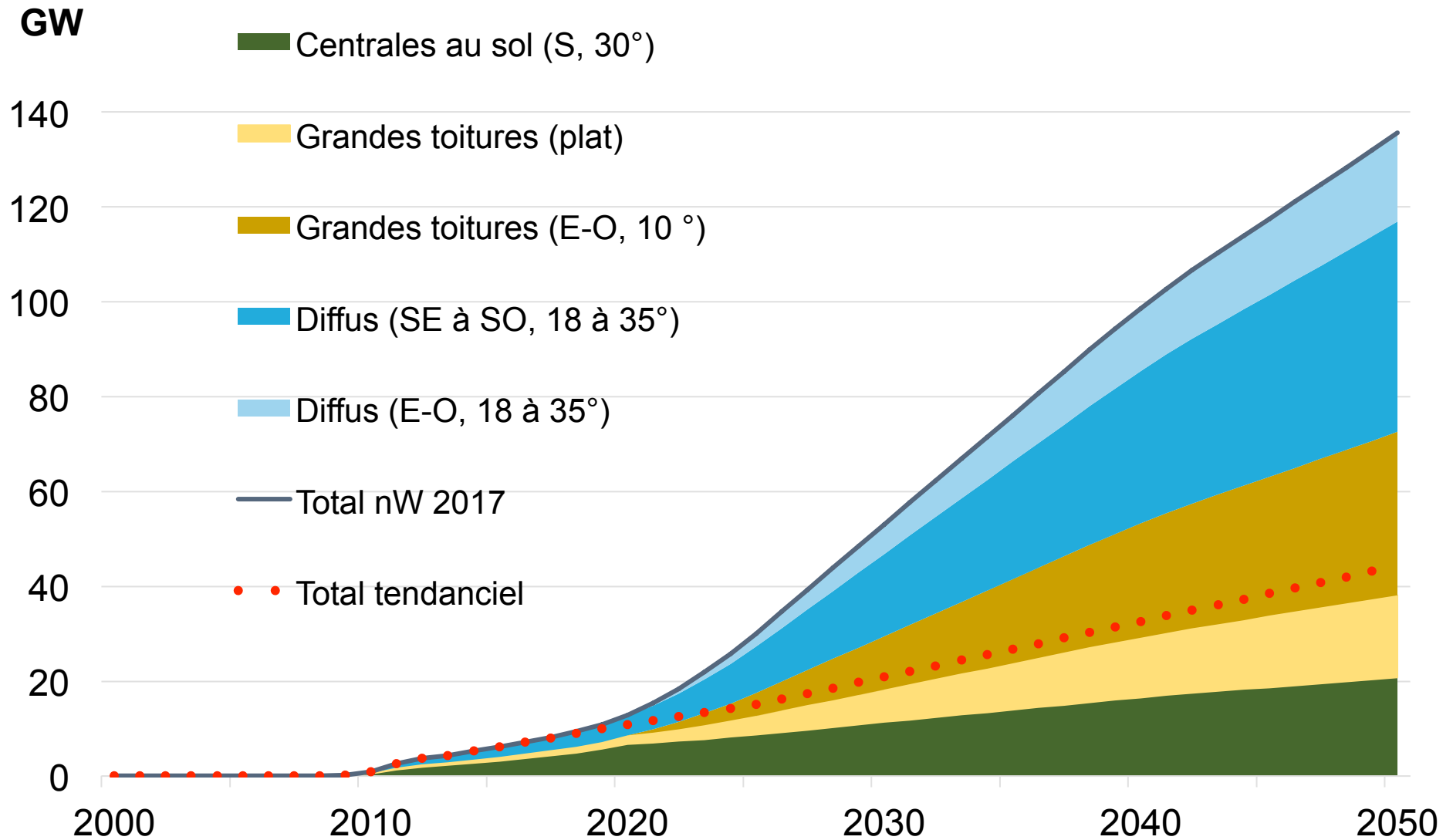


↘ Éolien : 80 GW, 250 TWh en 2050





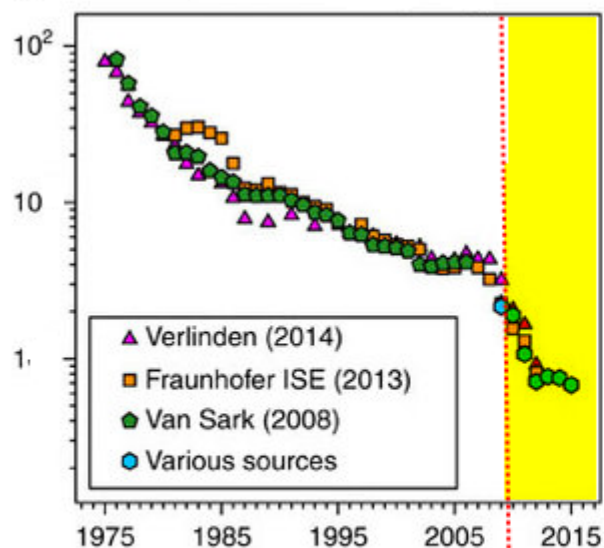
Photovoltaïque : 140 GW, 150 TWh



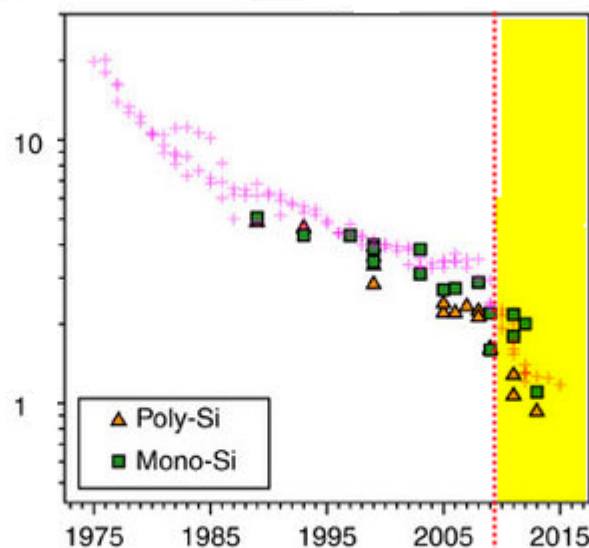
Electricité : la révolution PV



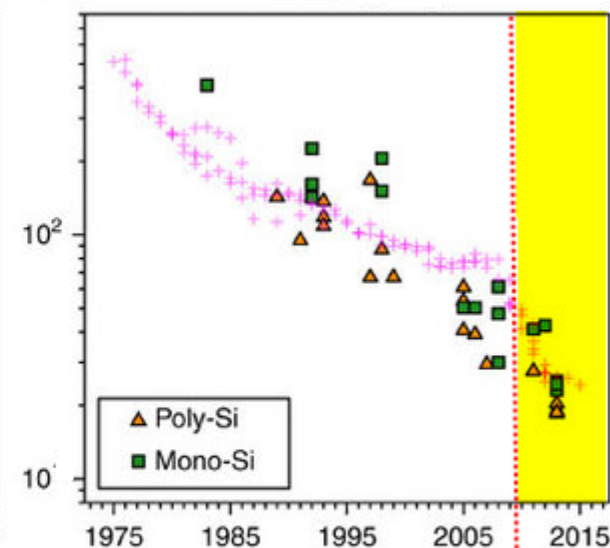
De 2011 à 2016, une rupture radicale par rapport à la courbe d'apprentissage 1975-2010: la limite du PV est celle du stockage



Coût
en \$ 2015 par Wc



Temps de retour énergie
en années



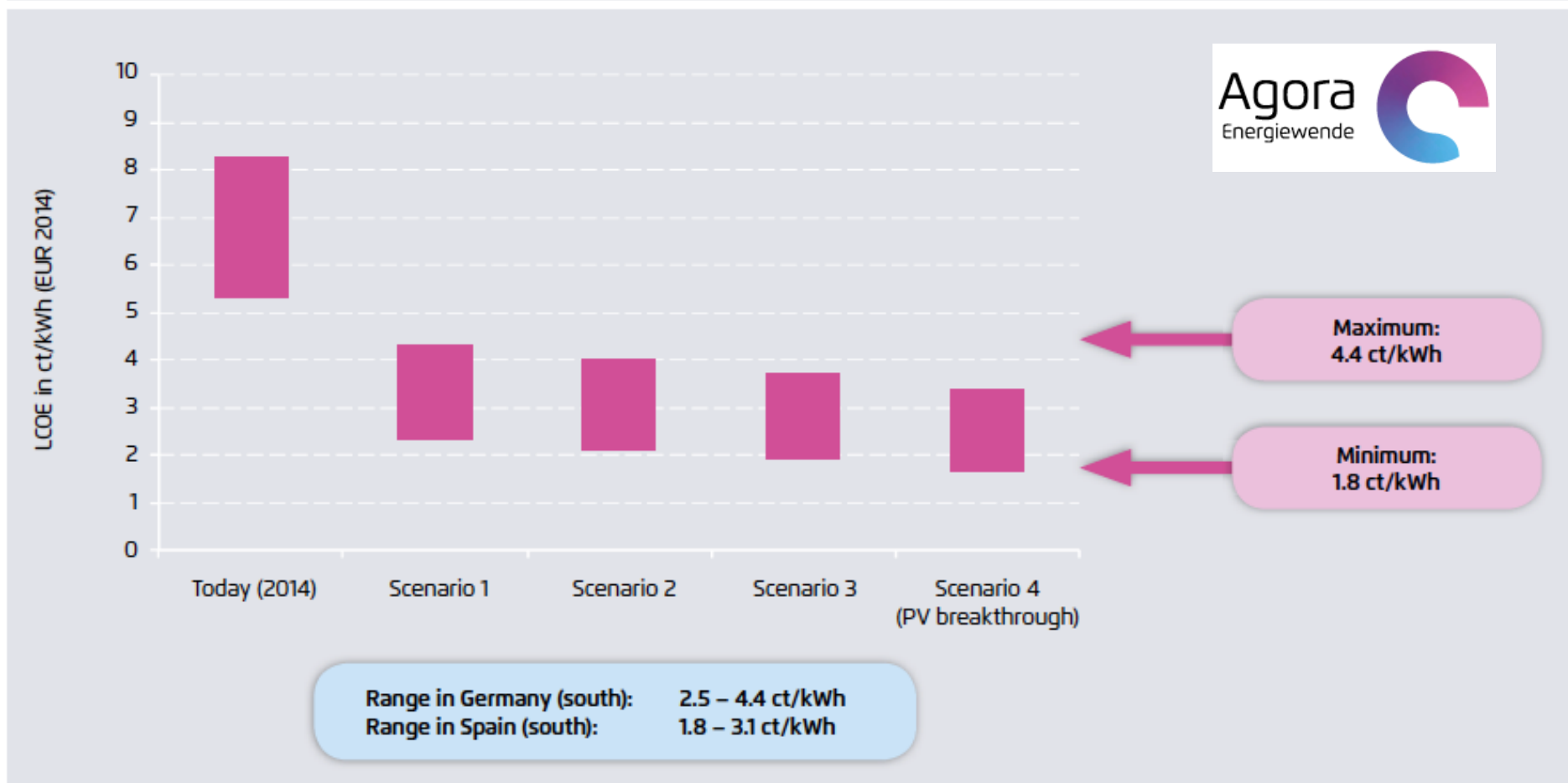
Effet de serre
en gCO2 par kWh

Des évolutions majeures sur les coûts



Cost of power produced by ground-mounted PV systems in 2050, southern Germany to southern Spain

Figure 43





Nucléaire



Situation du parc nucléaire



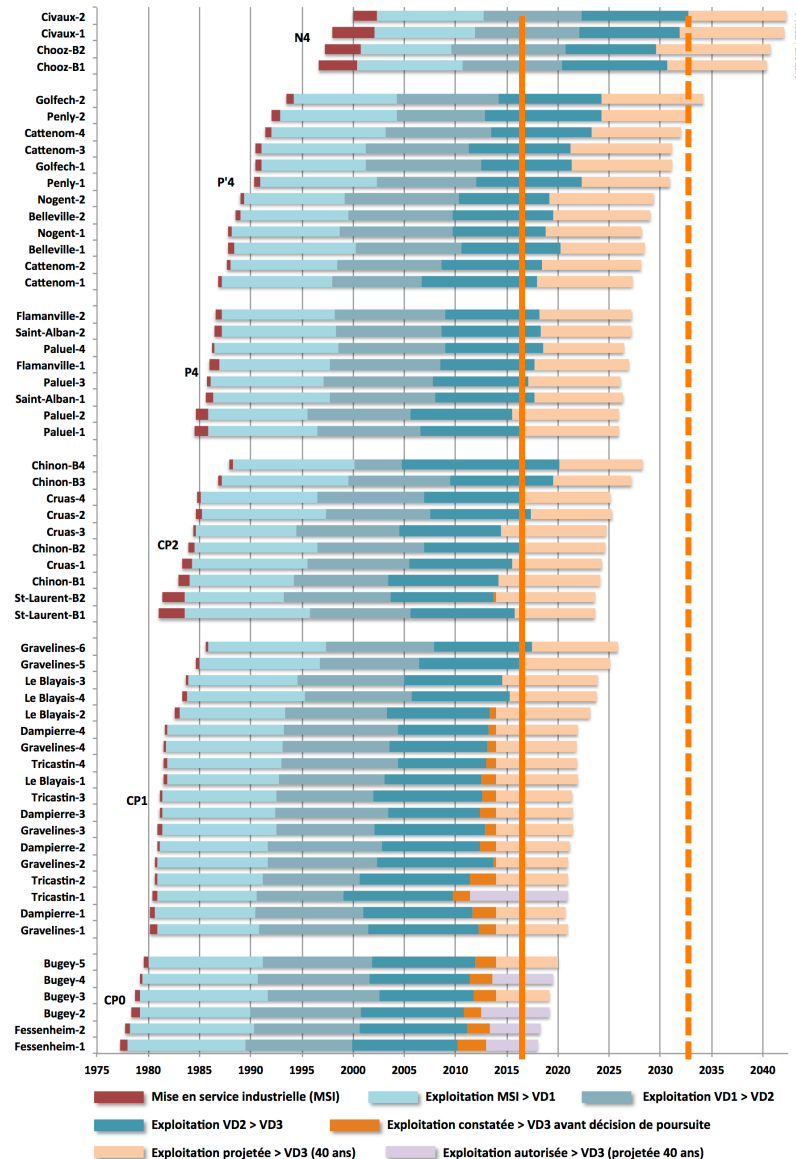
Un parc peu ajustable

- 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



↘ Décisions sur les réacteurs



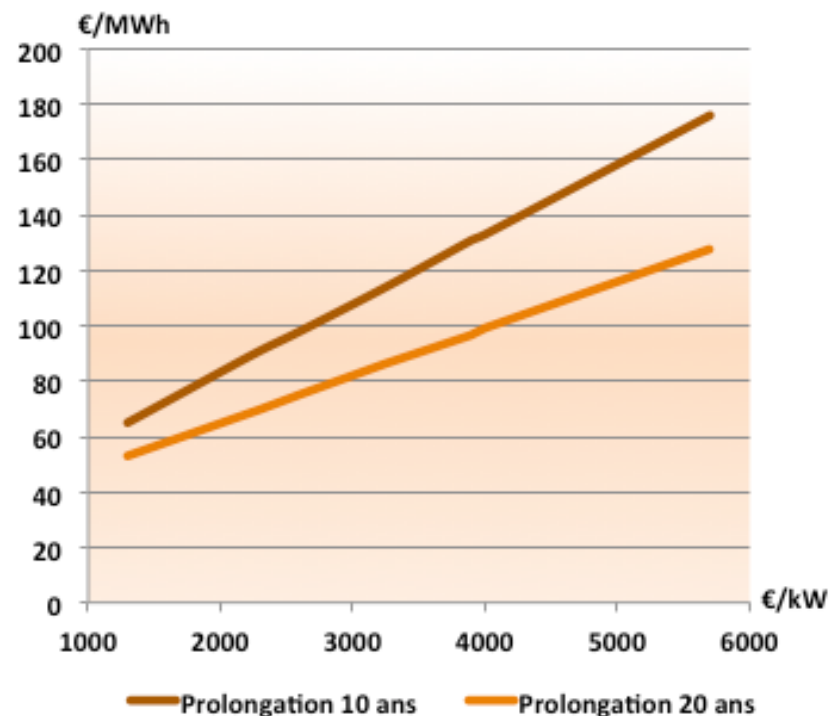
La prolongation de fonctionnement :

- 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

L'arrêt avant la VD4 est la règle, la prolongation l'exception

Évolution du coût courant économique (CCE) selon le coût de renforcement par kW installé



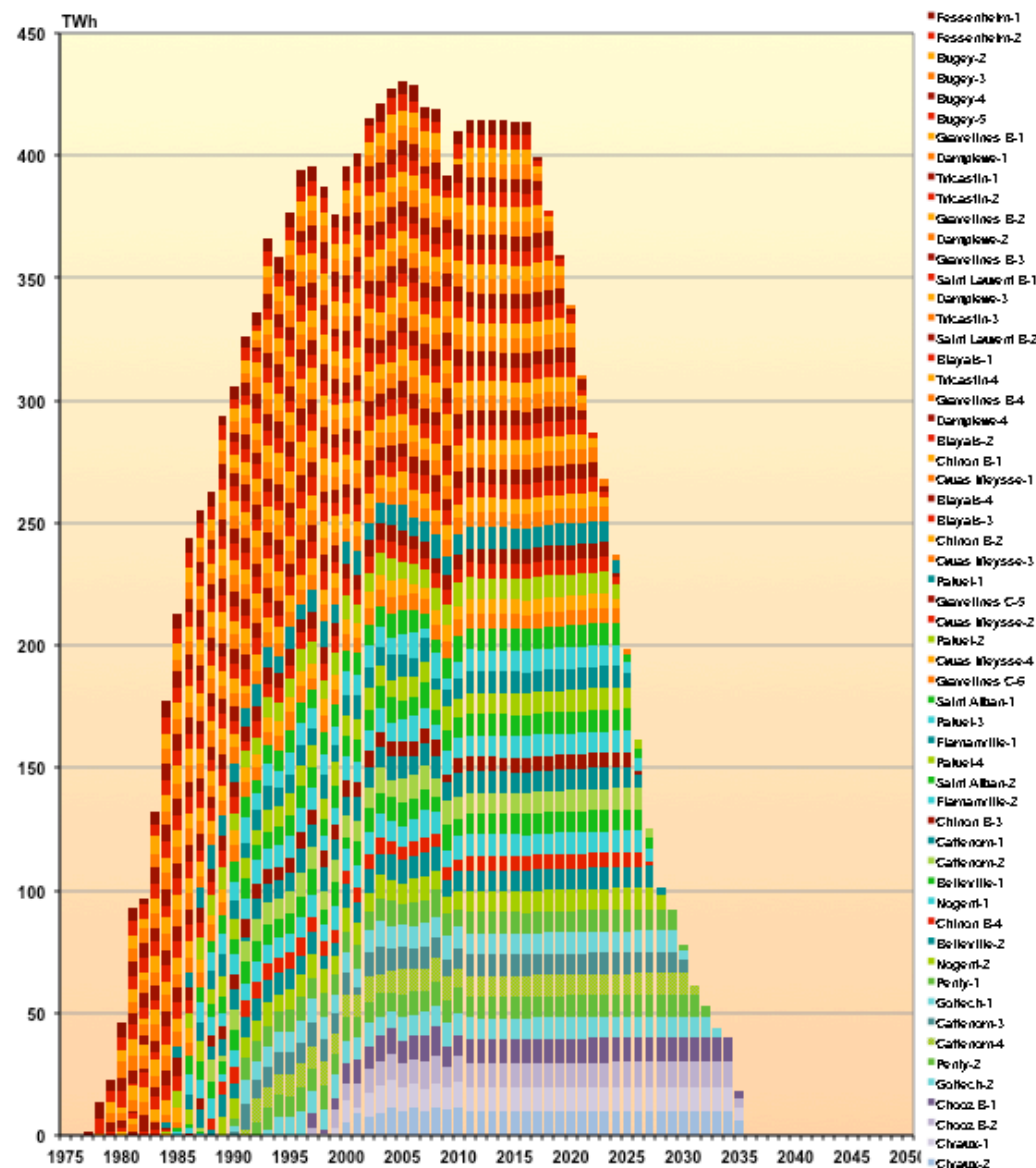
↘ Une fermeture progressive



Une fermeture pilotée :

- sur le plan énergétique, par le rythme d'action sur la consommation et le développement des renouvelables
- sur le plan industriel, par la nécessité d'articuler l'évolution du parc avec l'environnement industriel et institutionnel nécessaire à sa sûreté

Au final, pas de prolongation au-delà de la VD4, arrêt en 2035

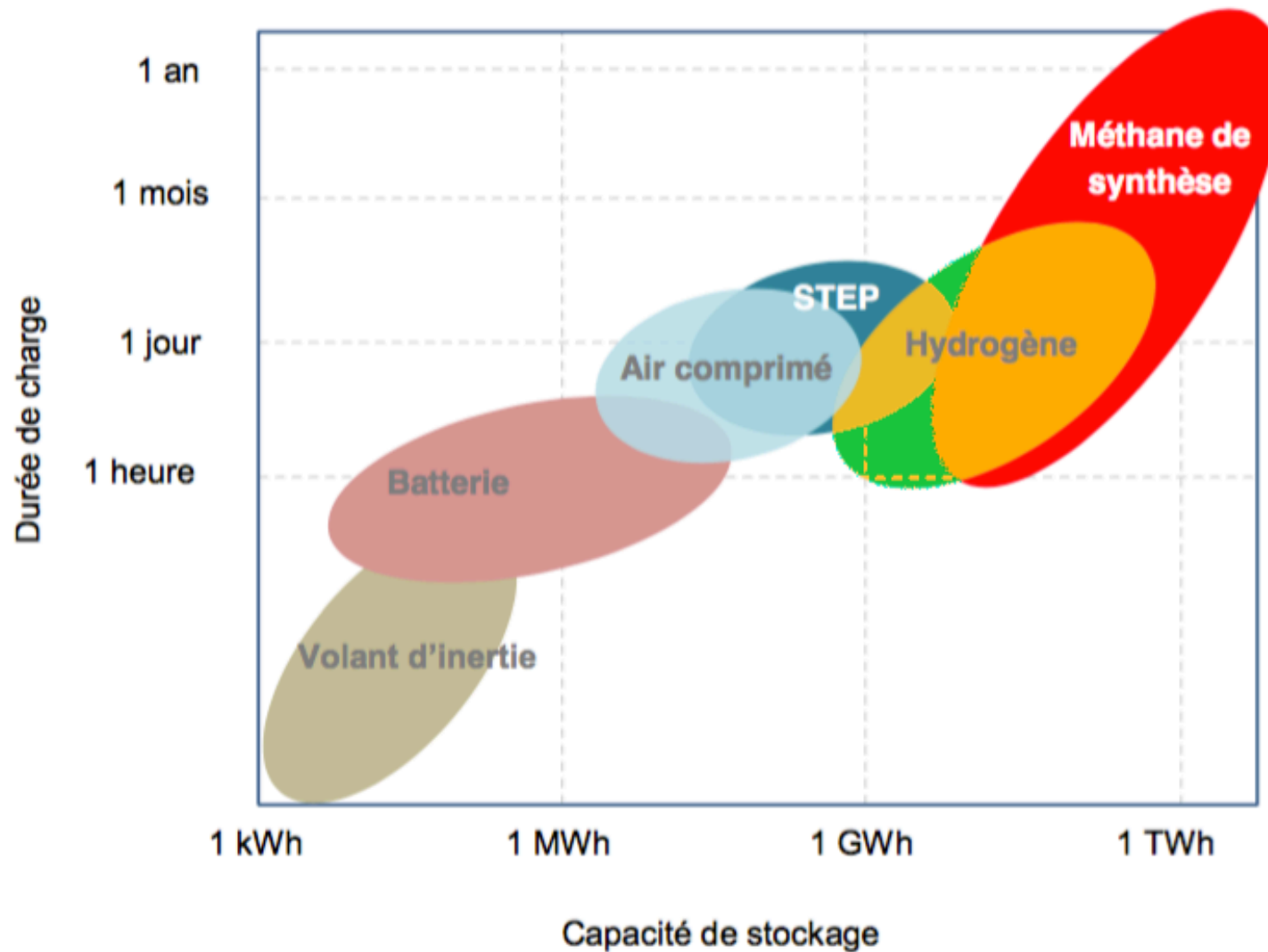




Vecteurs, réseaux, équilibres

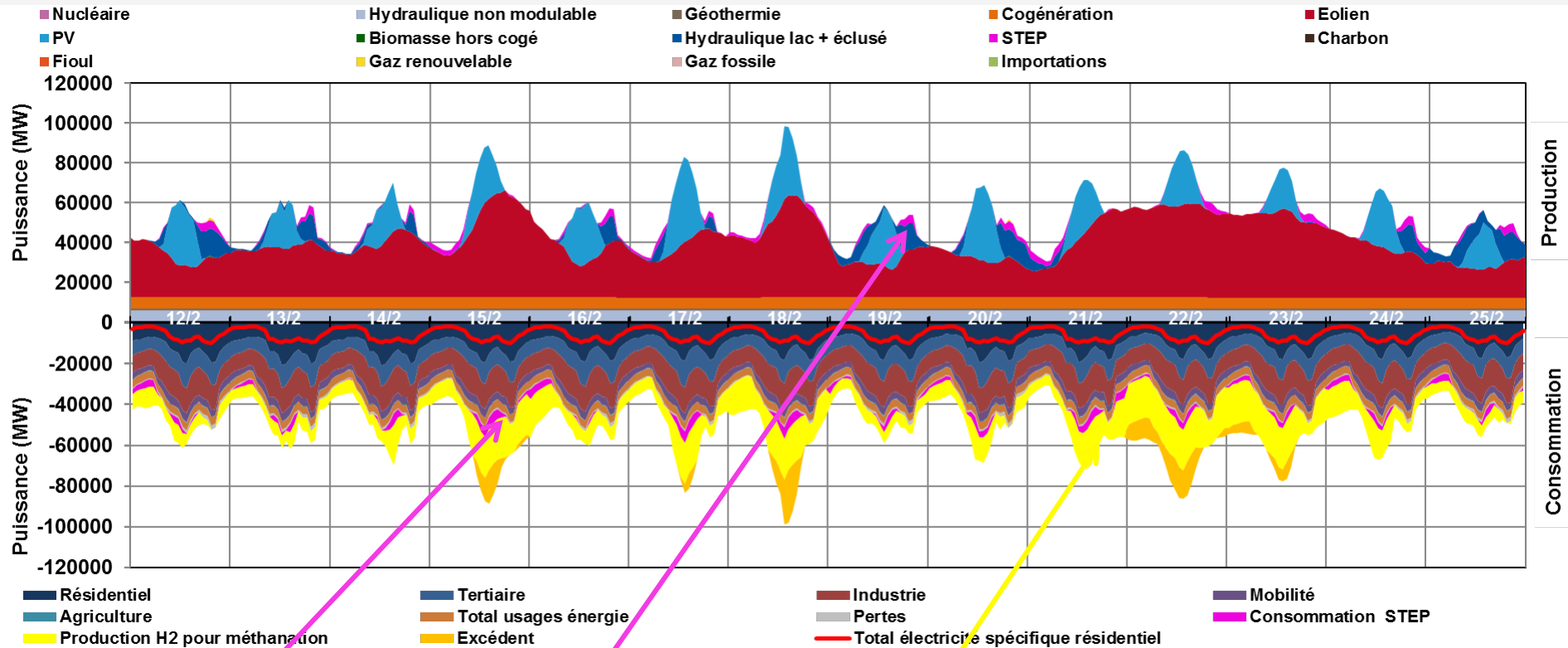


↘ **Stockage de l'électricité : quelle solution pour quel besoin ?**





Puissances appelées et fournies au pas horaire



○ Stockage dans les STEP

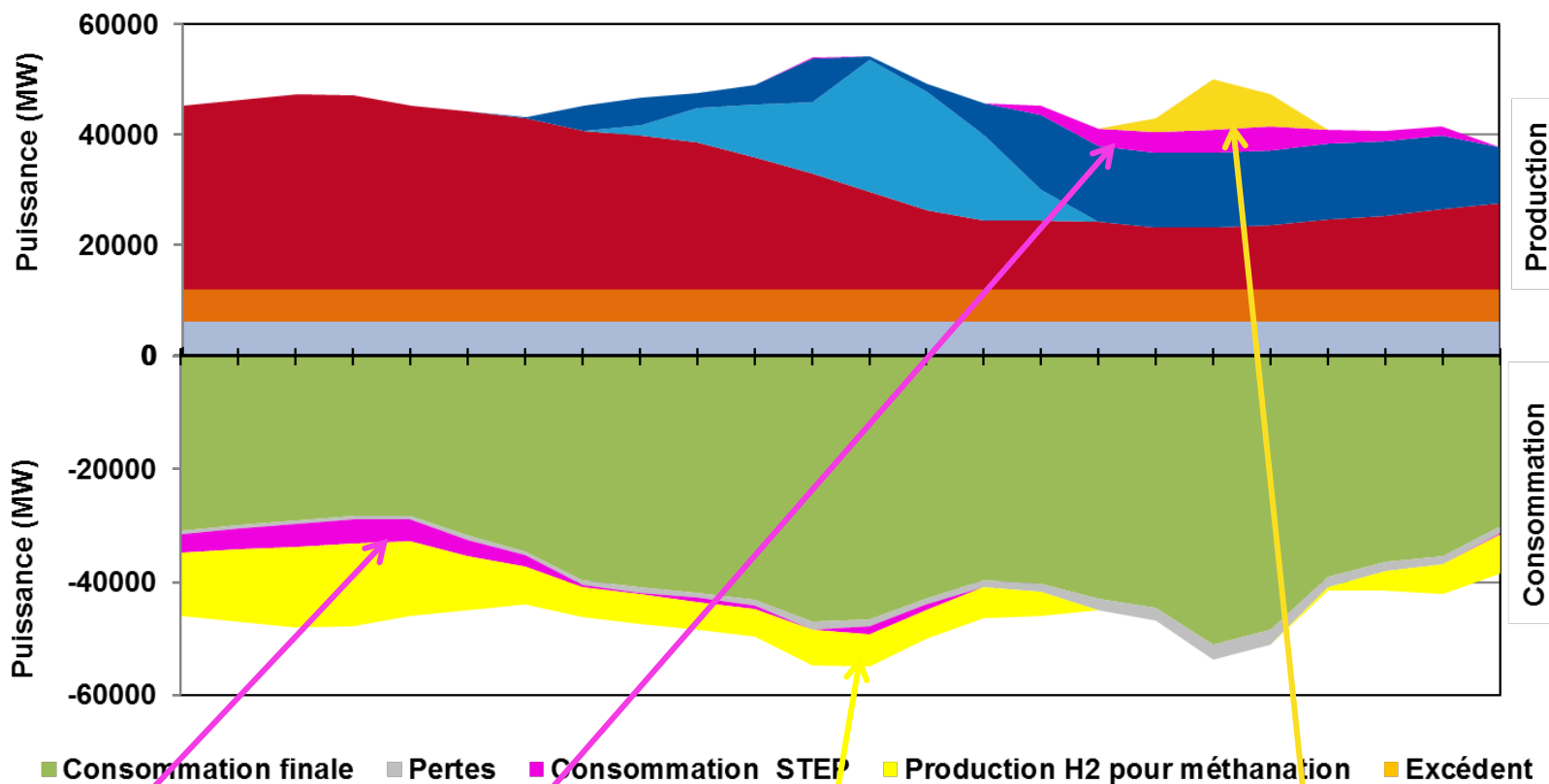
○ Déstockage des STEP

○ Production d'hydrogène

↳ Puissances appelées et fournies au pas horaire



■ Hydraulique non modulable ■ Cogénération ■ Eolien ■ PV ■ Hydraulique modulable ■ STEP ■ Gaz renouvelable



○ Stockage dans les STEP

○ Déstockage des STEP

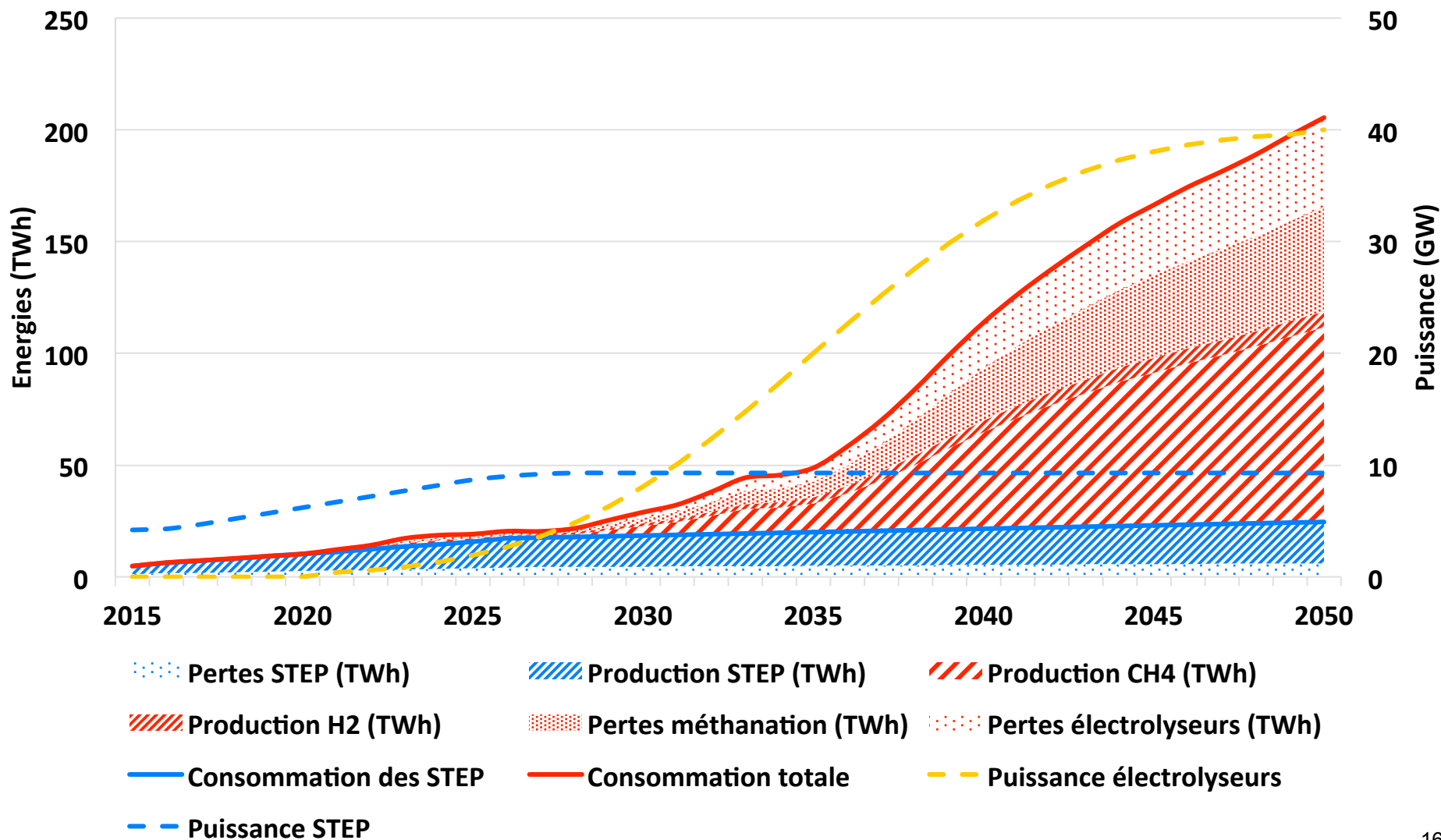
○ Production d'hydrogène

○ Centrales à gaz renouvelable

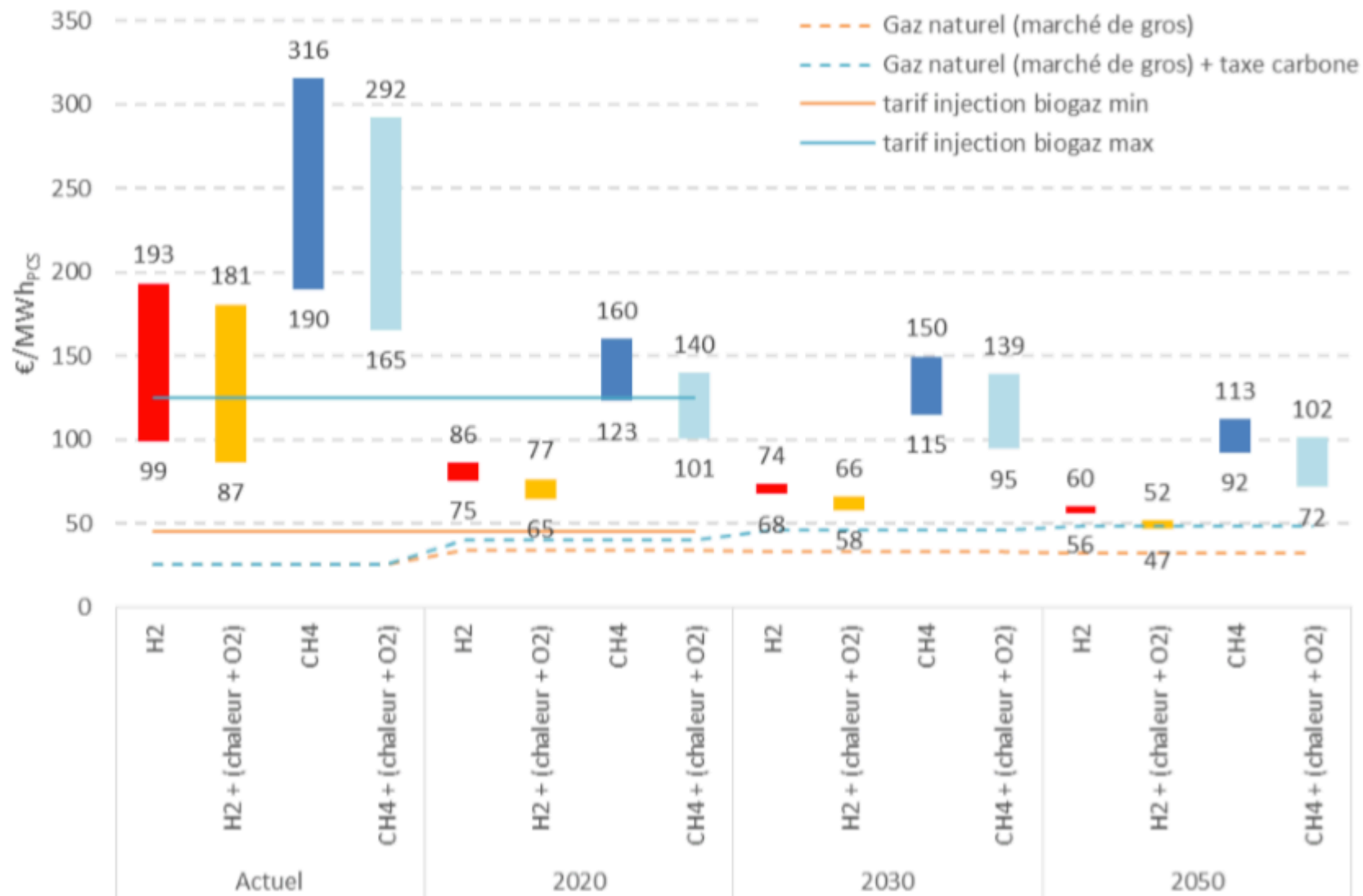
Power-to-Gas et STEP dans le scénario négaWatt



Stockage d'électricité



Power-to-Gas : évolution des coûts 2030-2050

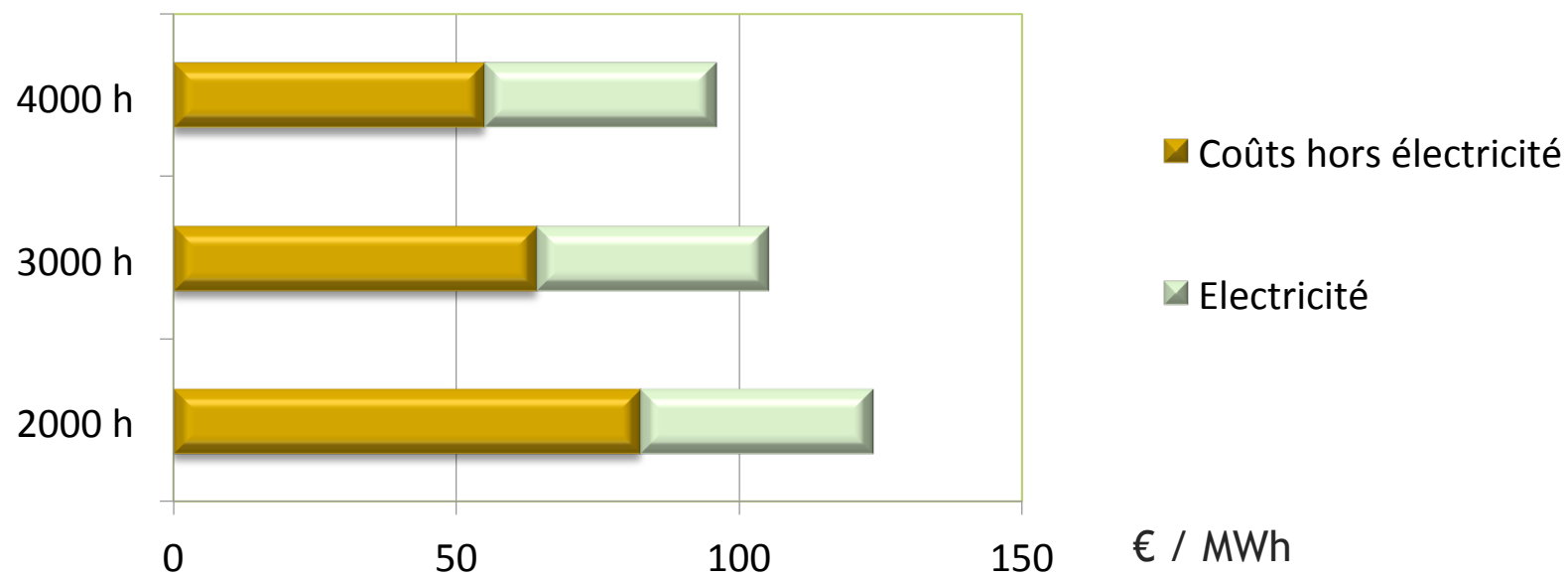


Source ADEME-GRT-Gaz-GRdF

↘ Coût de la méthanation



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



↳ État de l'art Power-to-Gas : électrolyse



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

ITM POWER
Energy Storage | Clean Fuel

MILLI-STRUCTURED REACTOR DEVELOPEMENT

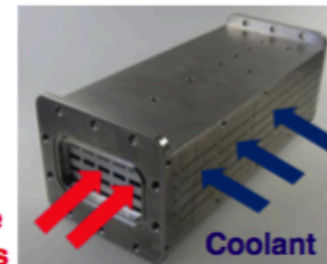
- **Prototype milli-structured reactor (0.35 Nm³/h CH₄)**

- ✓ 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

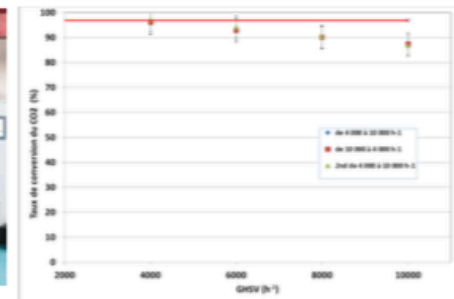
Reactive channels



Coolant channels

- **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)



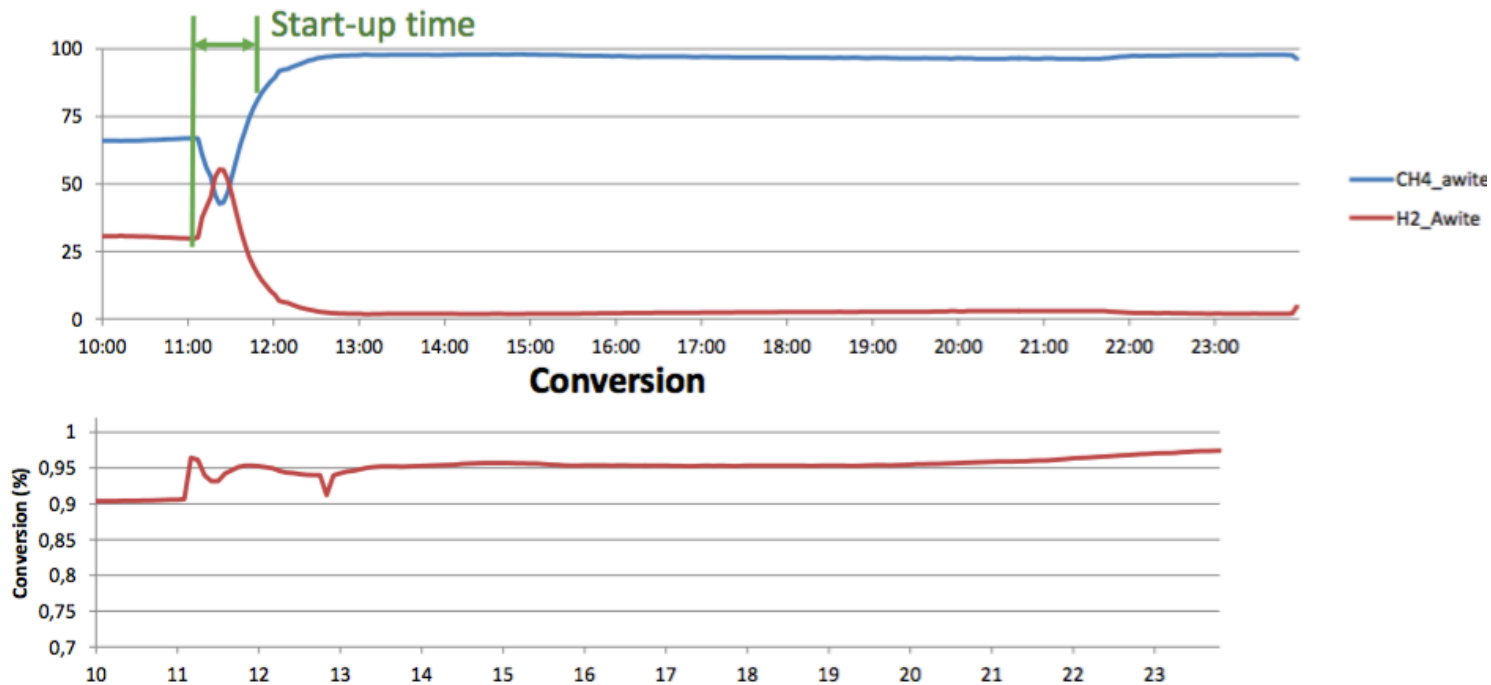
Project SYDGAHR, Institut CARNOT Energies du futur (2012-2014)
J.Ducamp PhD Thesis, CEA, 2015

↳ État de l'art : méthanation biologique



Operational results

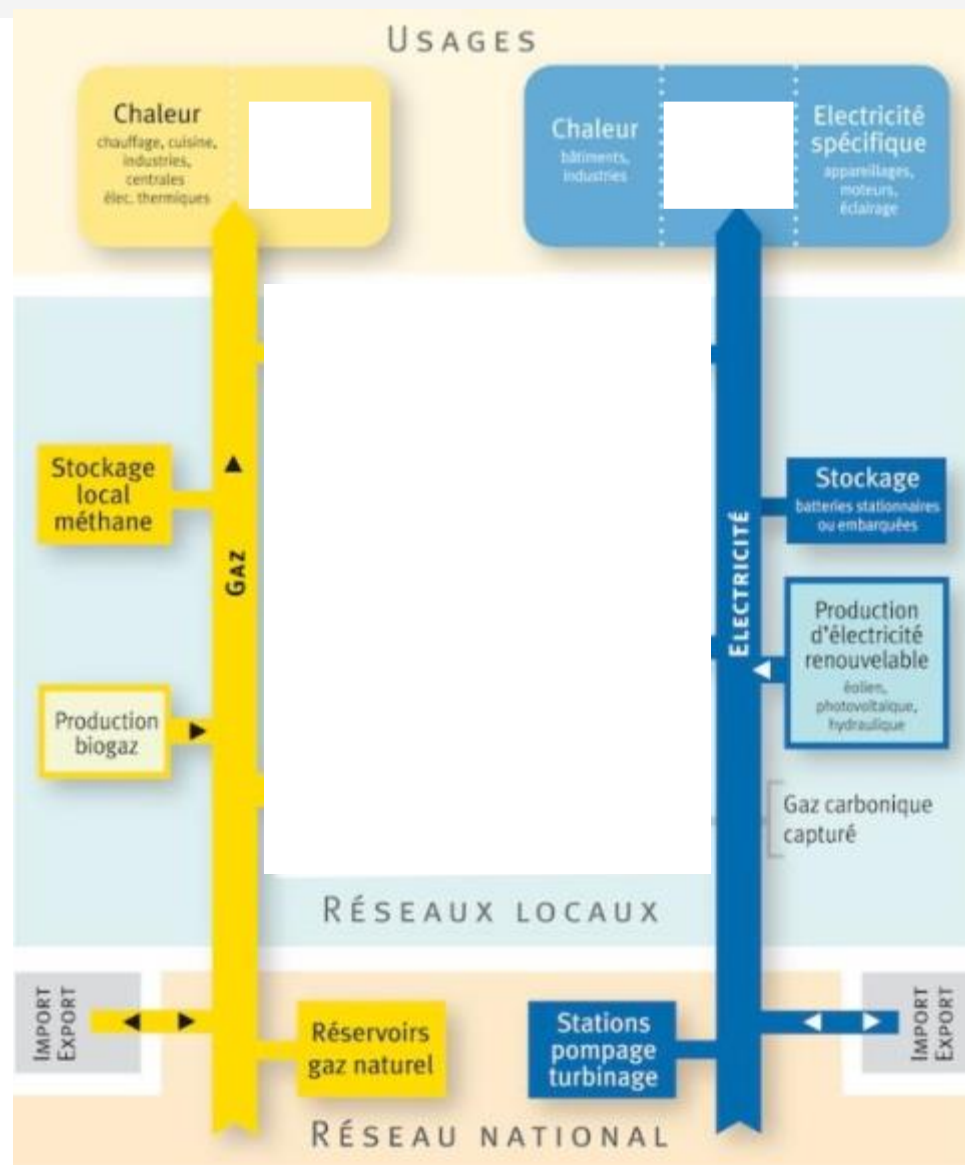
- Cold start in 45 minutes after 60 hours idle
- Methane content > 97% before polishing
- CO₂ conversion > 98%



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



- Aujourd'hui

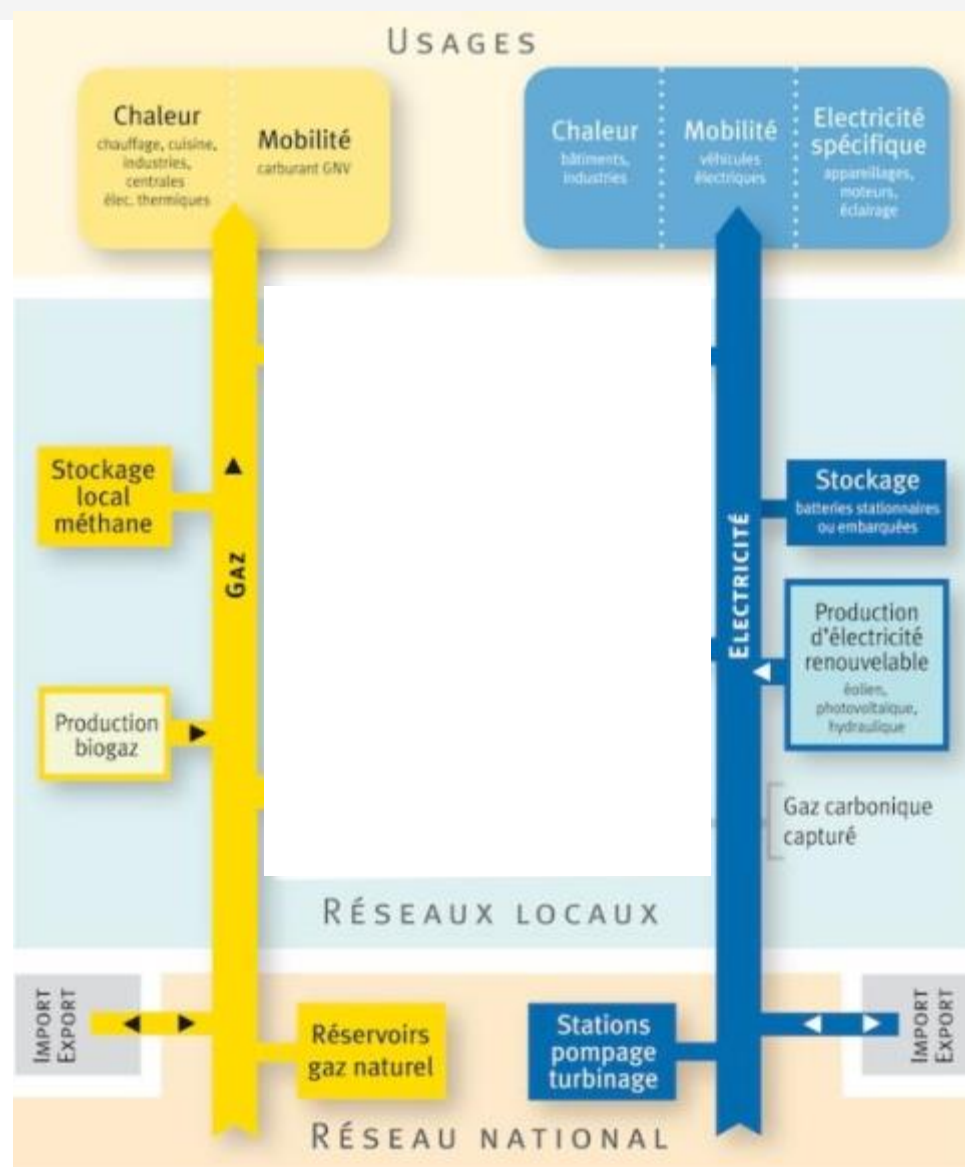


↳ Power-to-Gas : le mariage électron-méthane



○ Demain

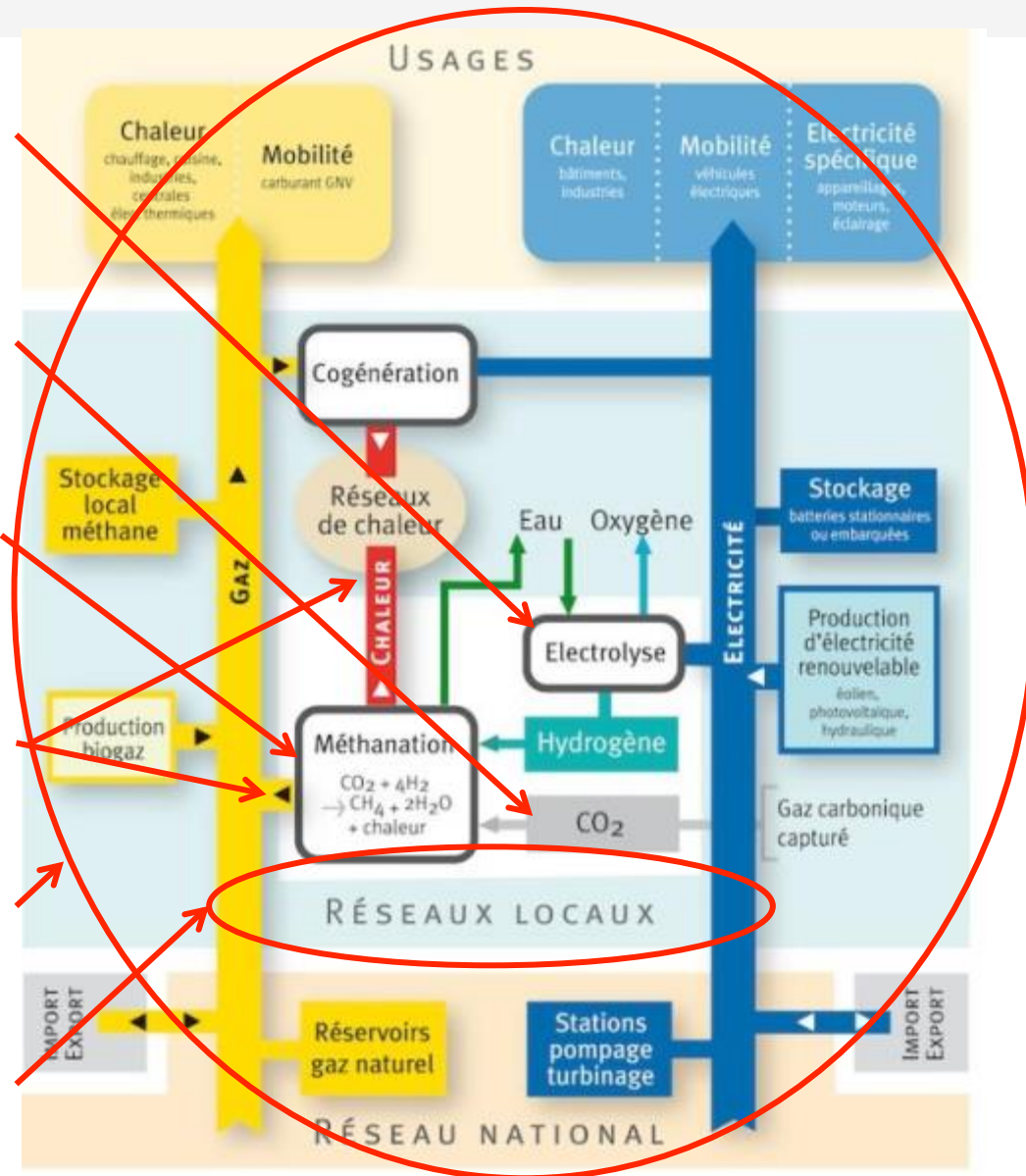
- Des usages diversifiés
- Des réseaux connectés



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



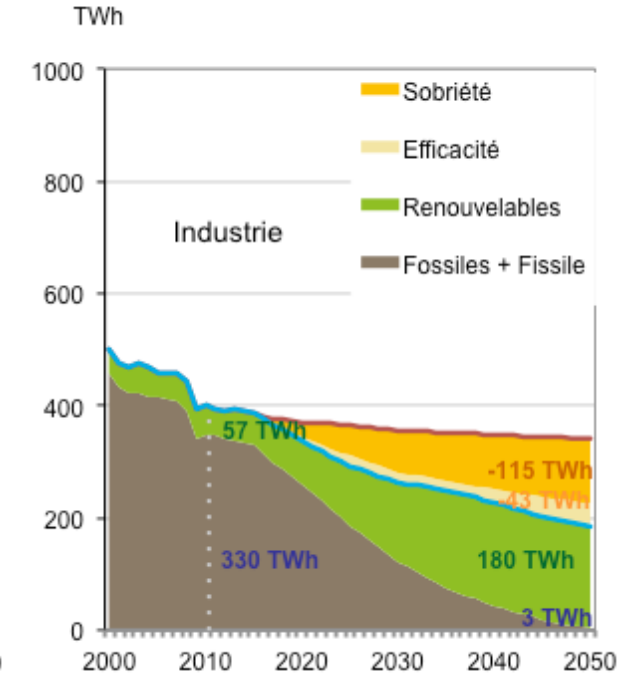
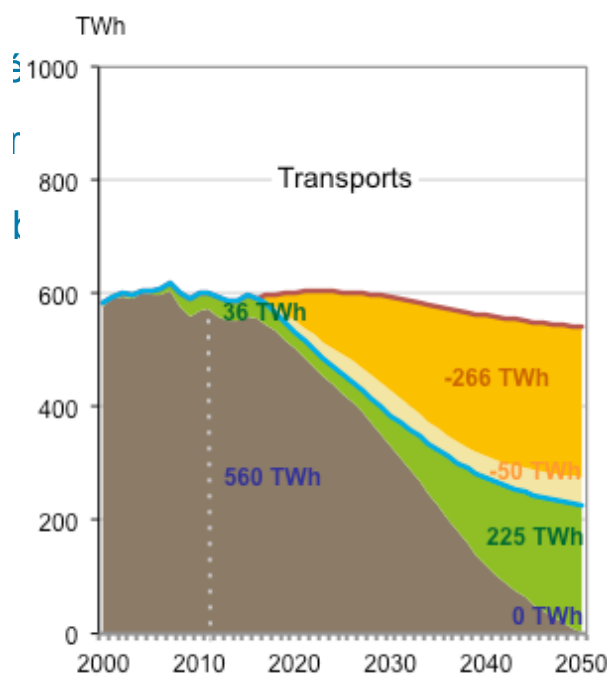
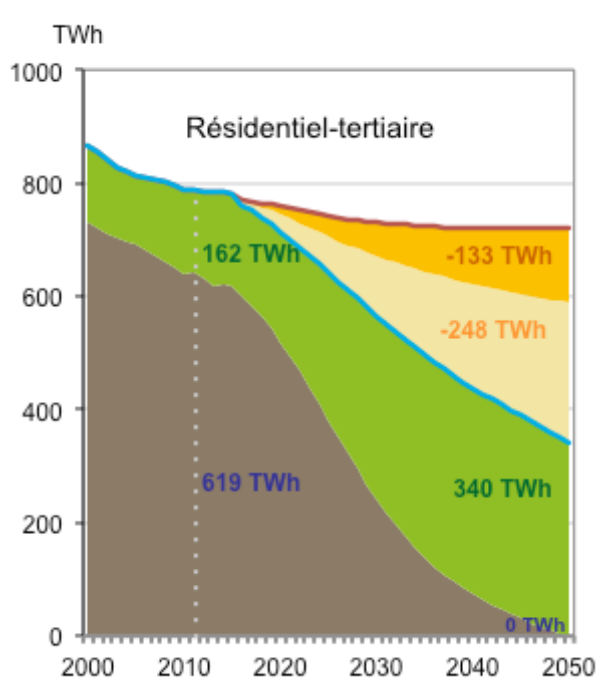
- Production d'hydrogène (H_2) grâce aux excédents d'électricité
- Capture du dioxyde de carbone (CO_2) : épuration du biogaz, industrie, ...
- Production de méthane (CH_4) par réaction de Sabatier (*méthanation*)
- Injection et stockage du CH_4 dans le réseau de gaz, production de chaleur
- **Interopérabilité**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



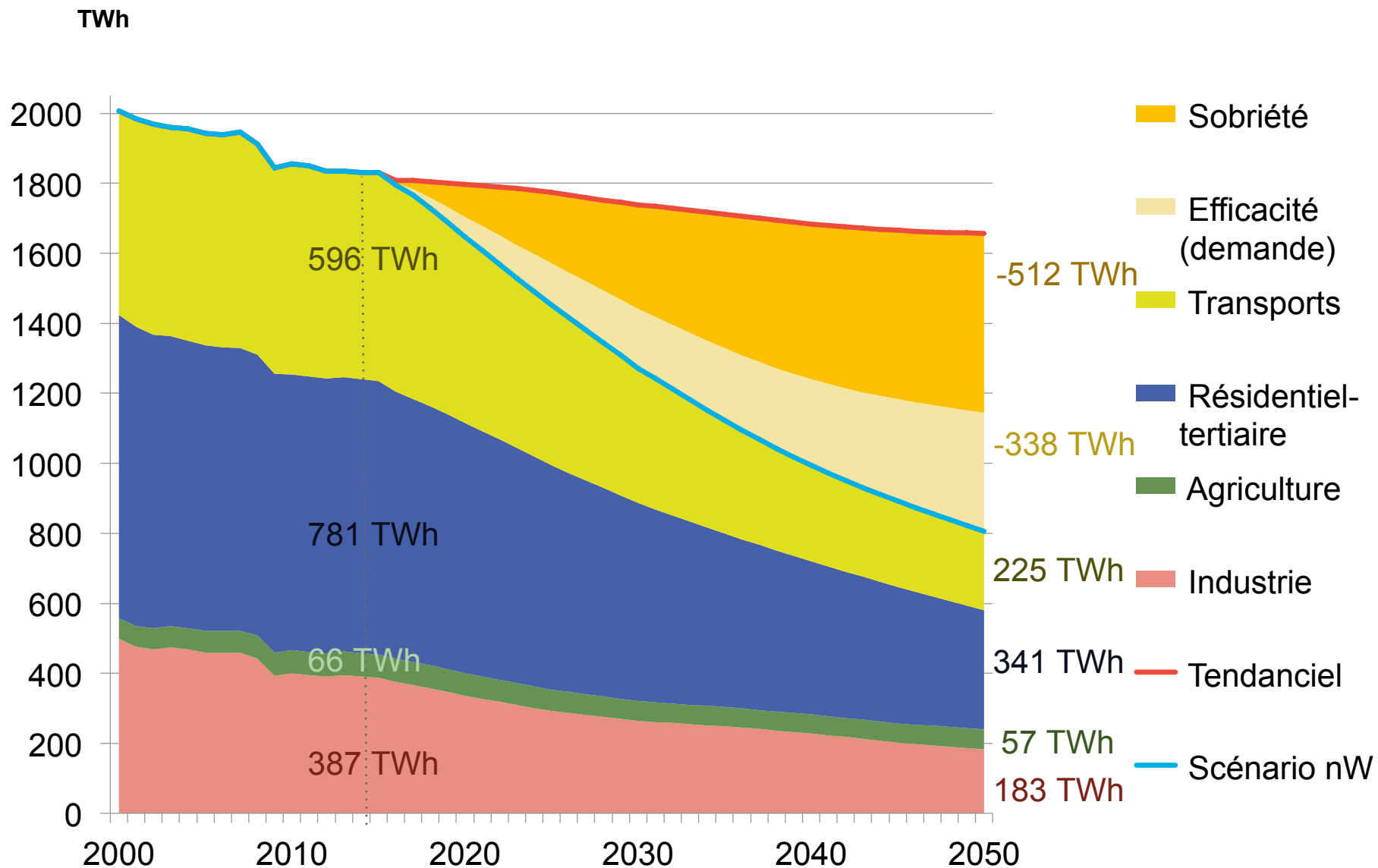


Bilan énergétique

Evolution par secteur en consommation énergétique finale



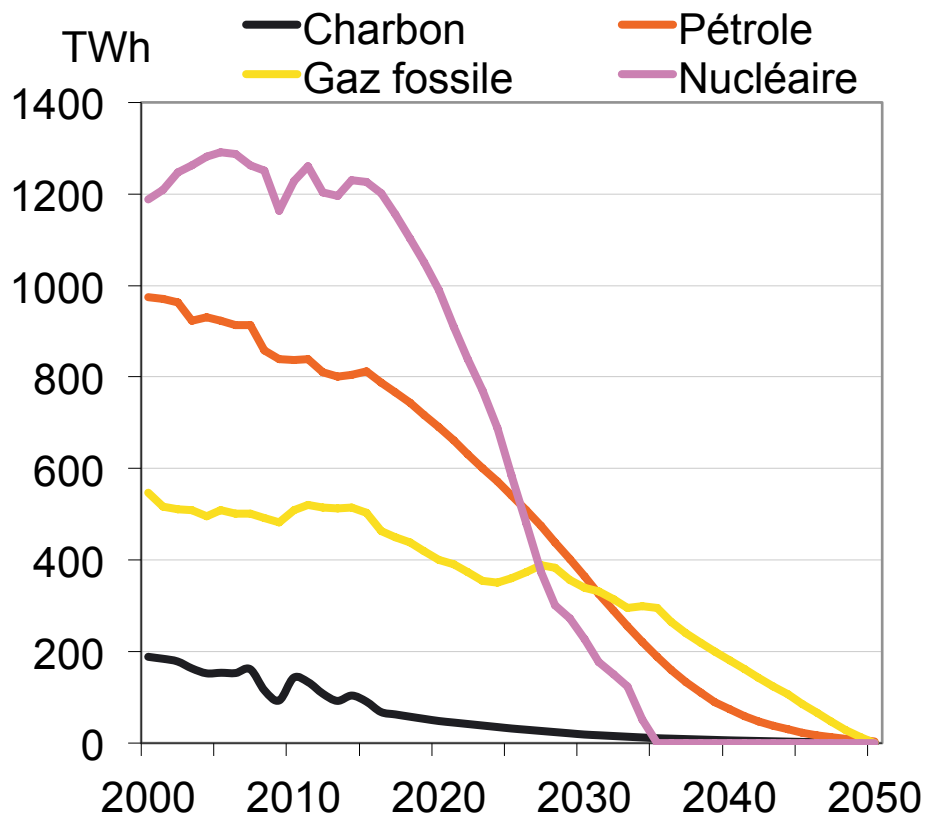
Evolution de la consommation énergétique finale



Substitution des sources d'énergie

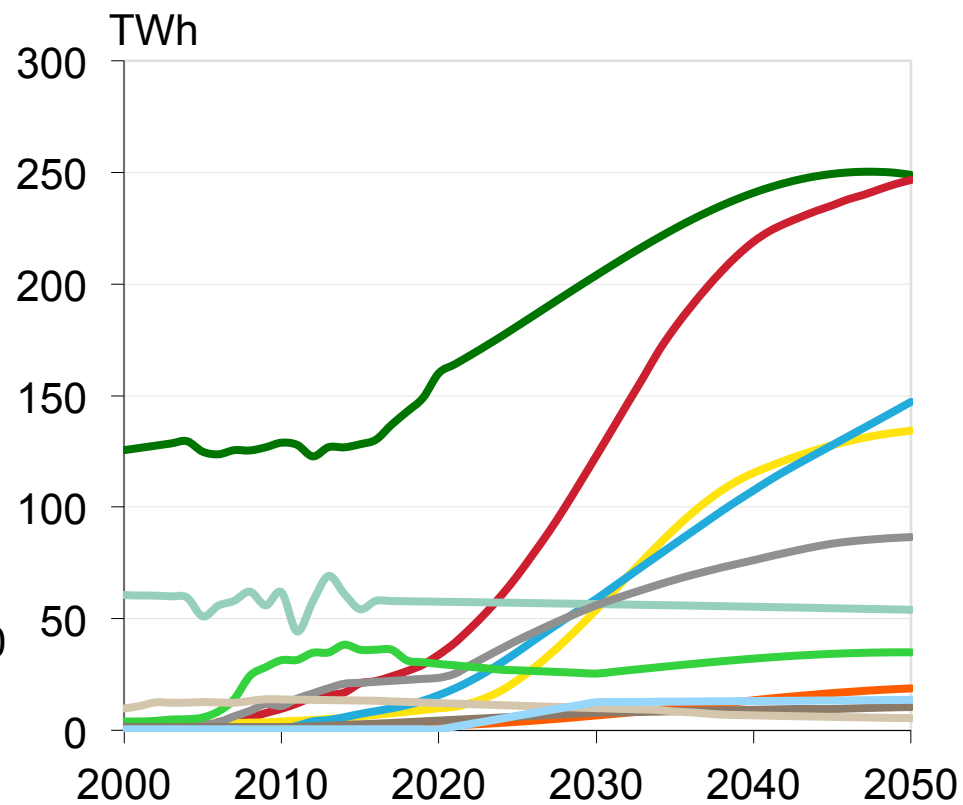


Usages énergétiques



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

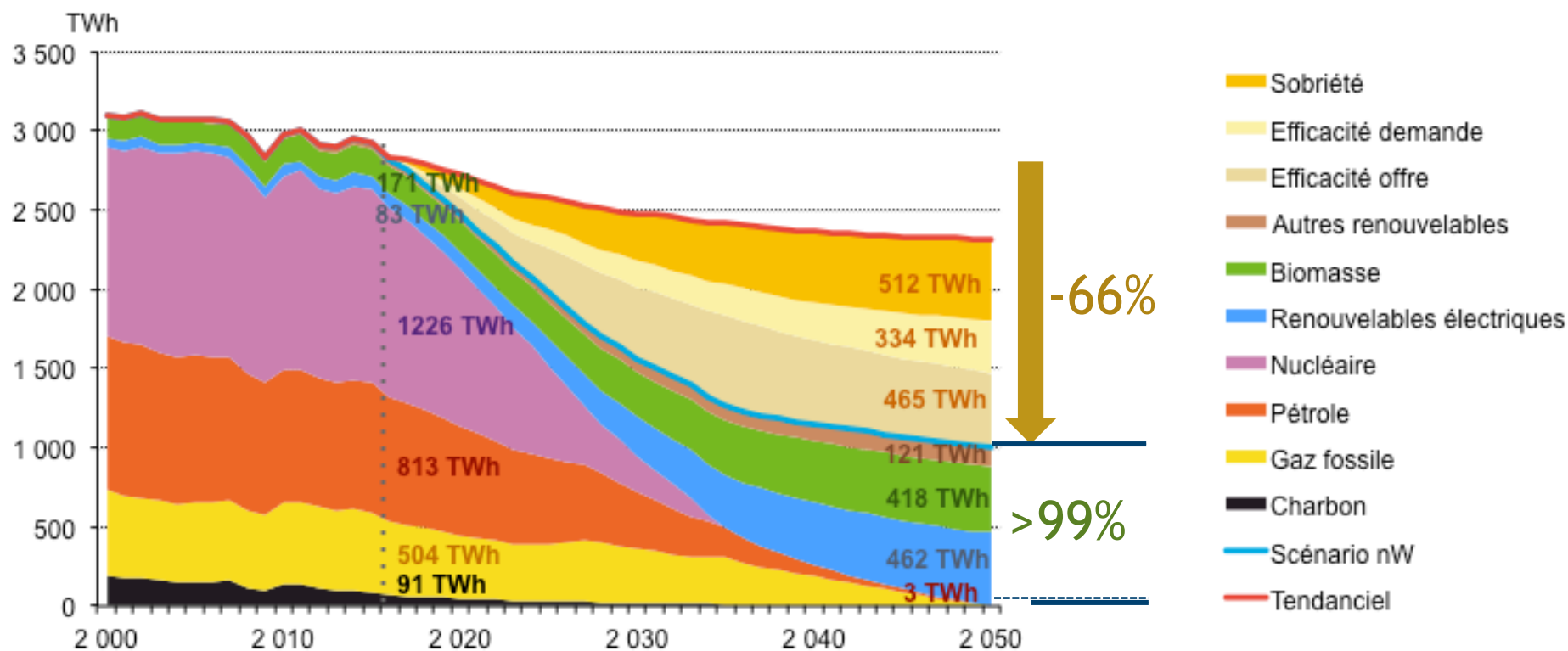
- Biomasse solide
- Biogaz
- Hydraulique
- Chaleur environnement
- Géothermie
- Eolien
- Solaire pv
- Solaire thermique
- Biomasse liquide
- Déchets



↘ Bilan en énergie primaire



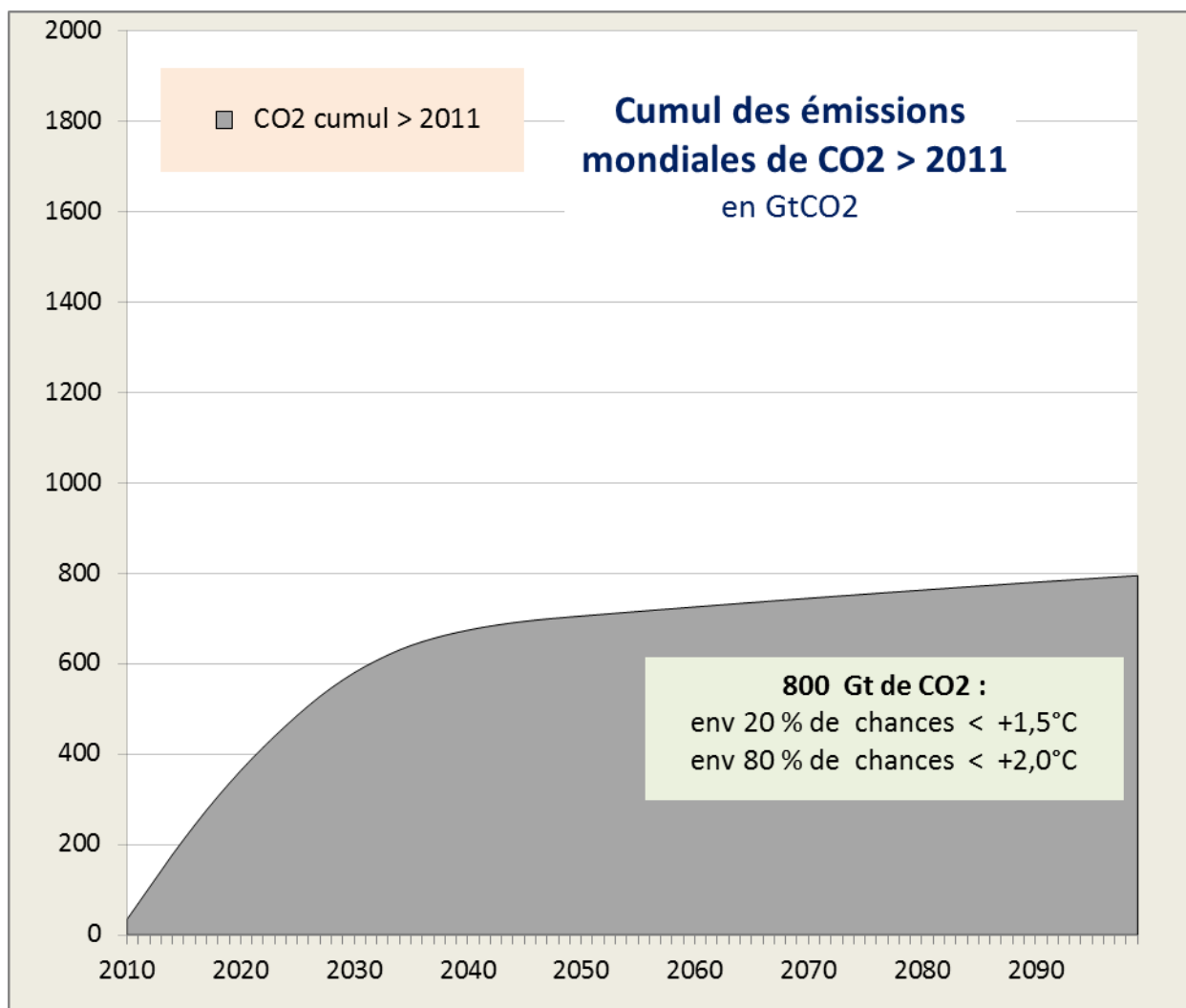
- La réduction de la consommation est clé pour permettre un développement des renouvelables en substitution, et non en addition



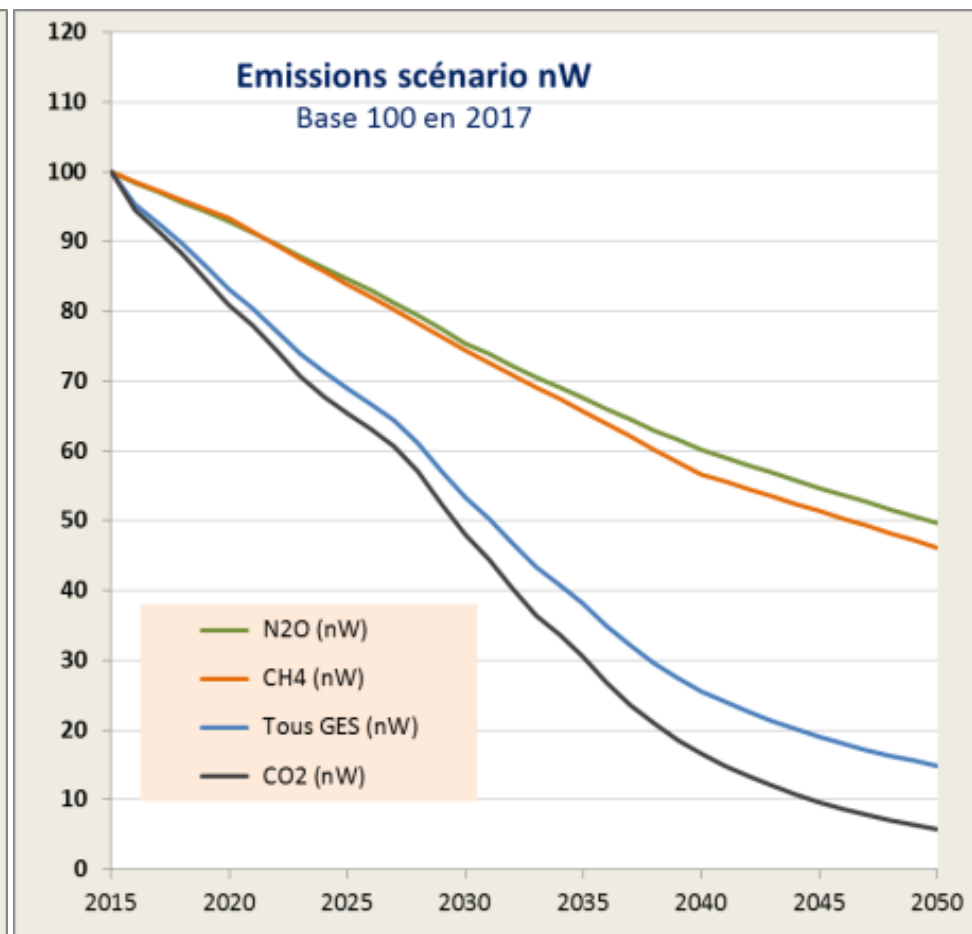
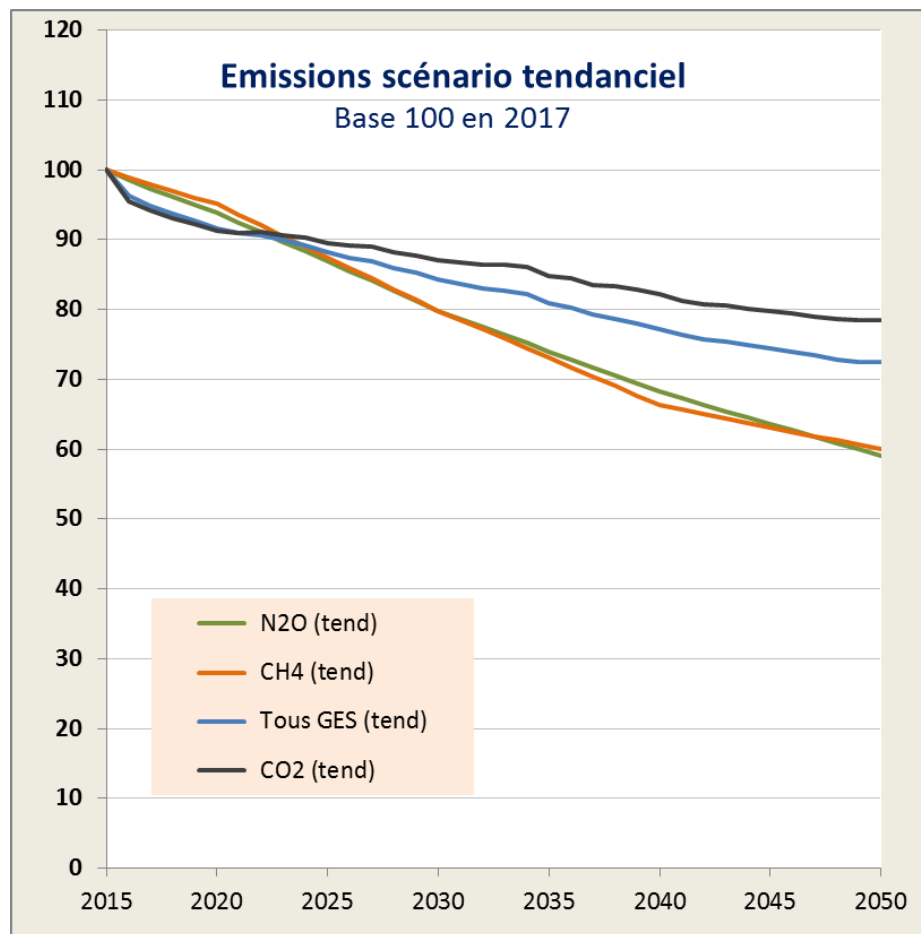


Bilan Gaz à effet de serre

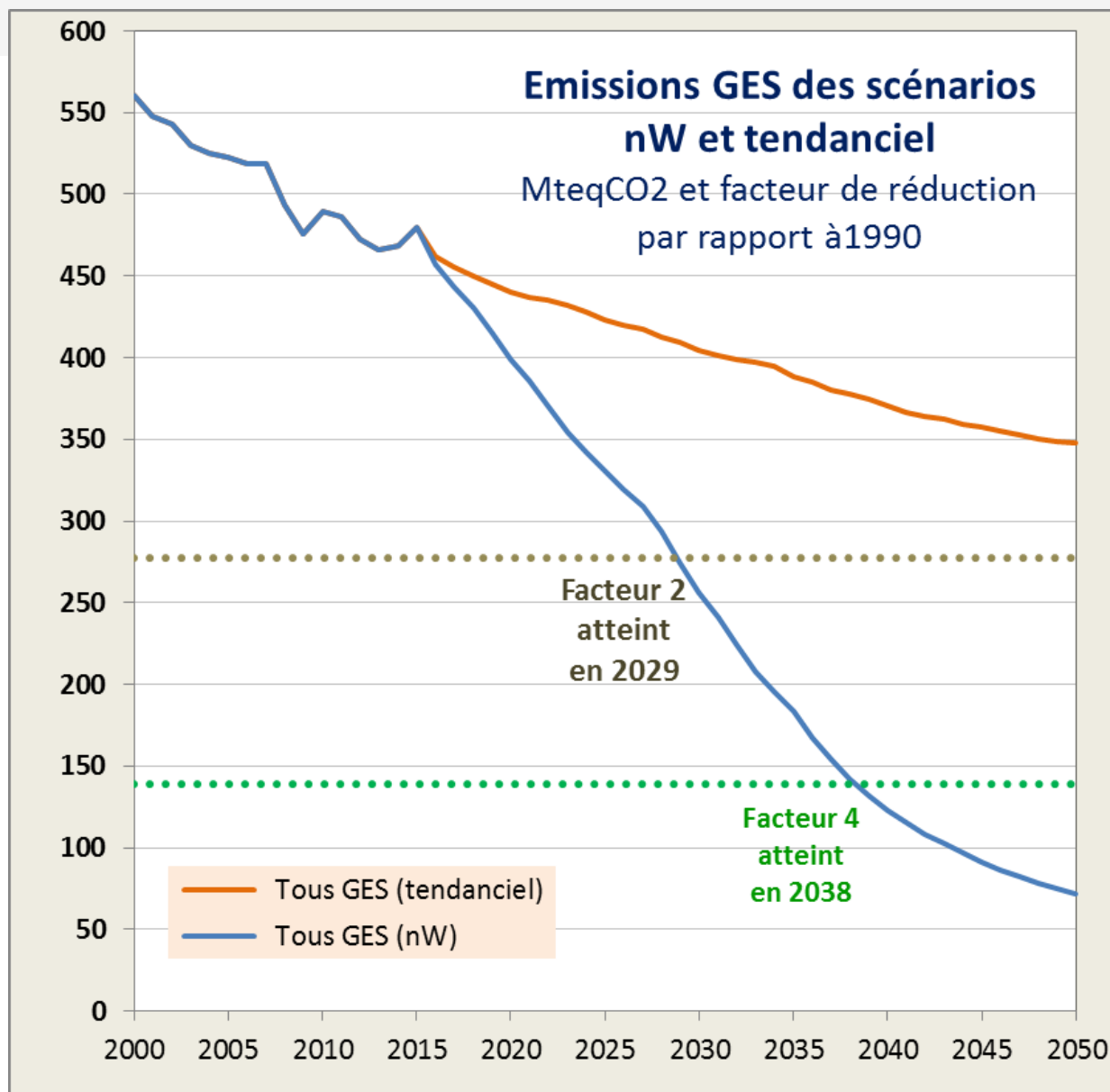
↘ Et si le monde adoptait une trajectoire négaWatt ?



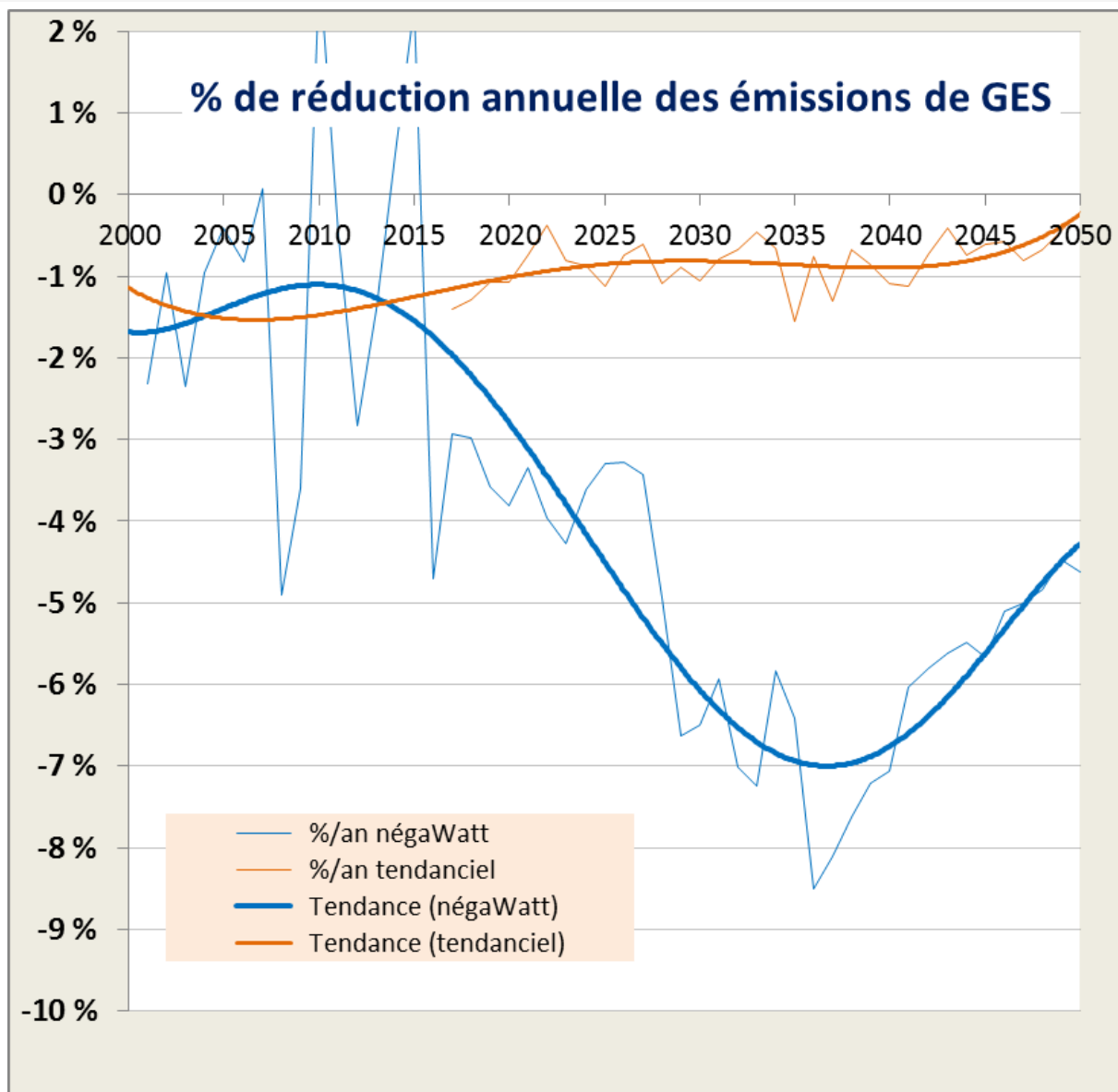
↘ Evolutions tendancielle et négaWatt base 100 en 2015



Facteur 7 sur les GES en 2050



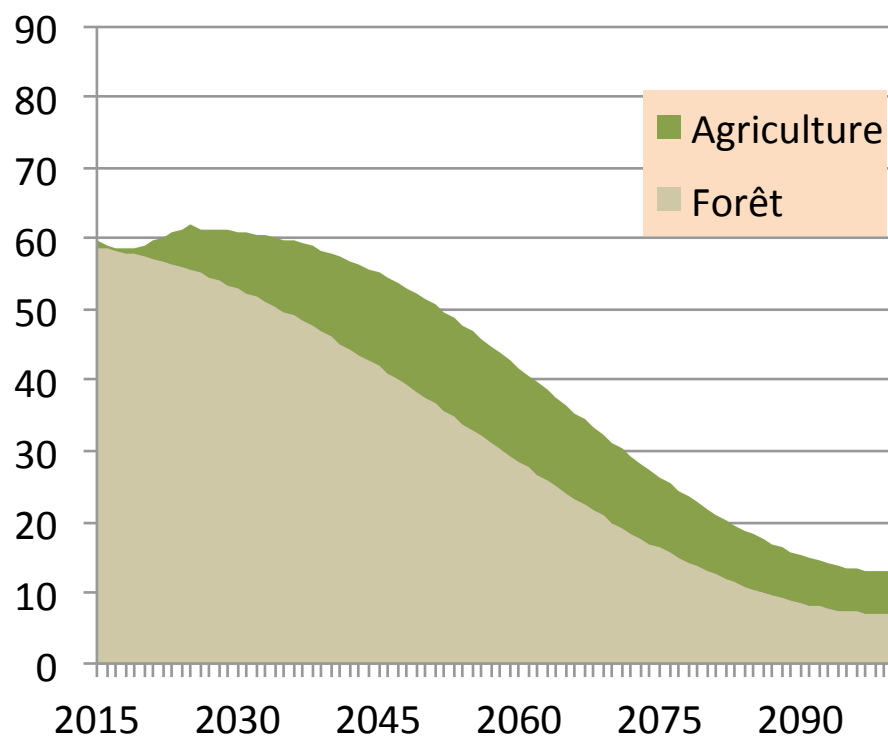
↘ De - 1,5 % à - 7 % de réduction des GES par an



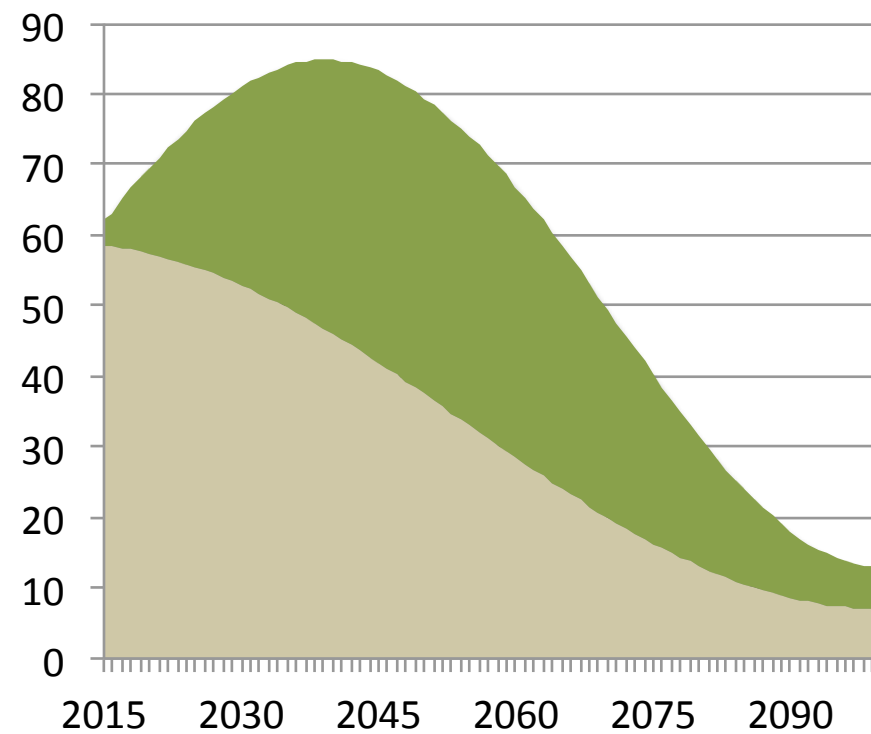
↘ Les puits de carbone jusqu'à 2100 (MteqCO₂)



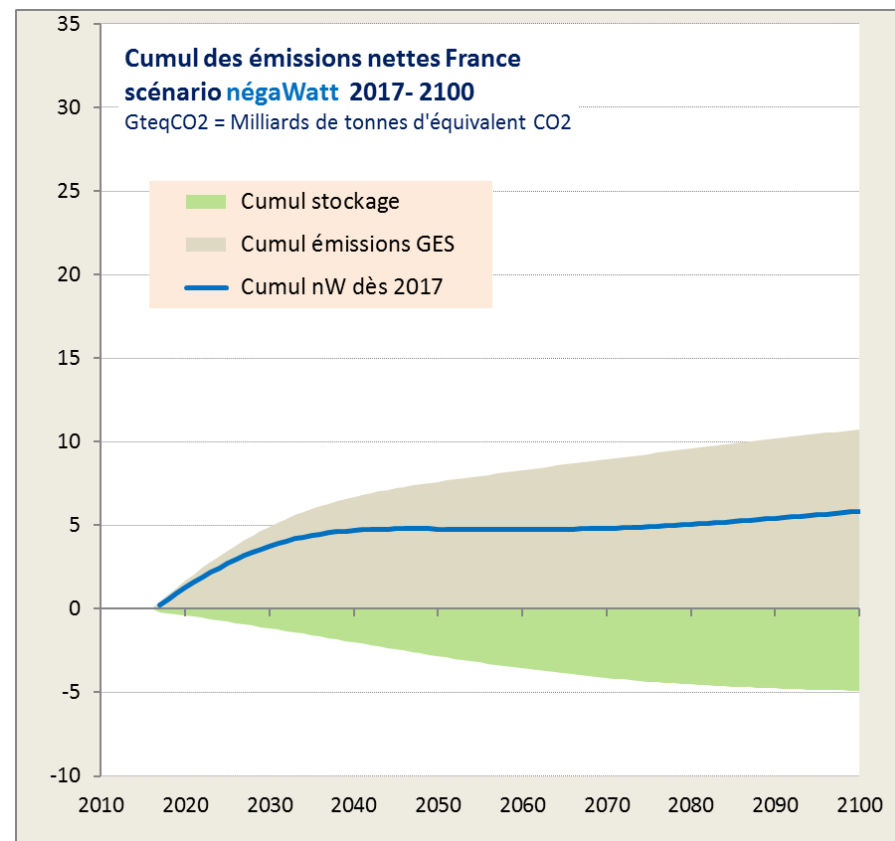
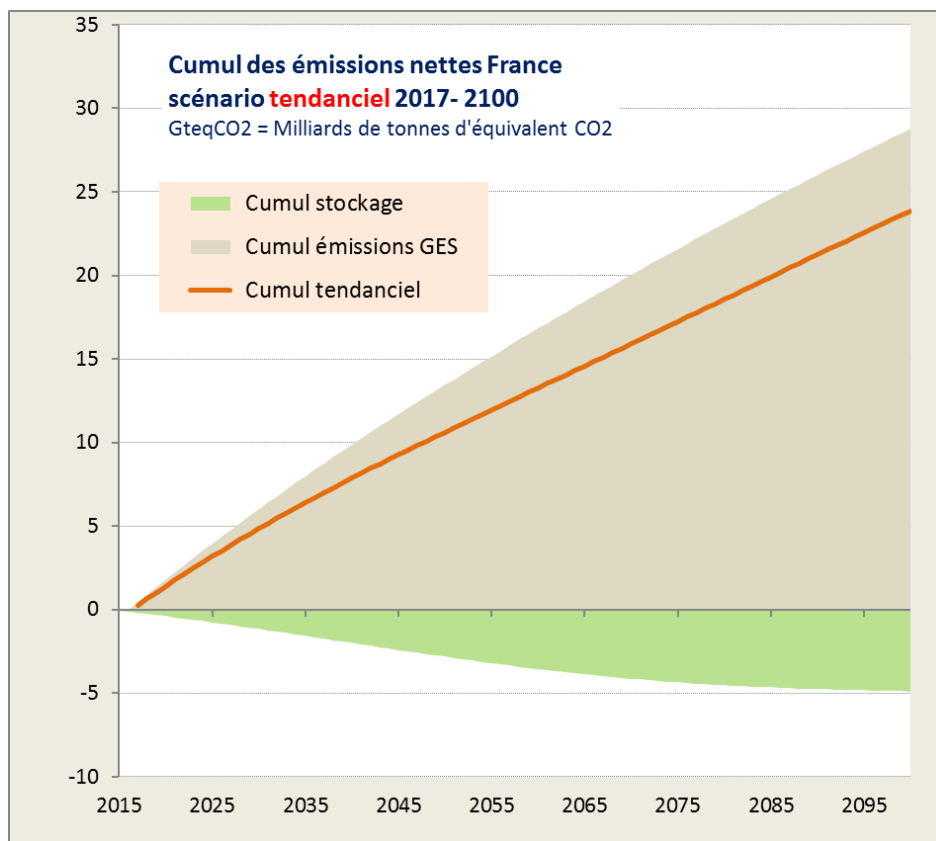
Tendancierel



Afterres / négaWatt

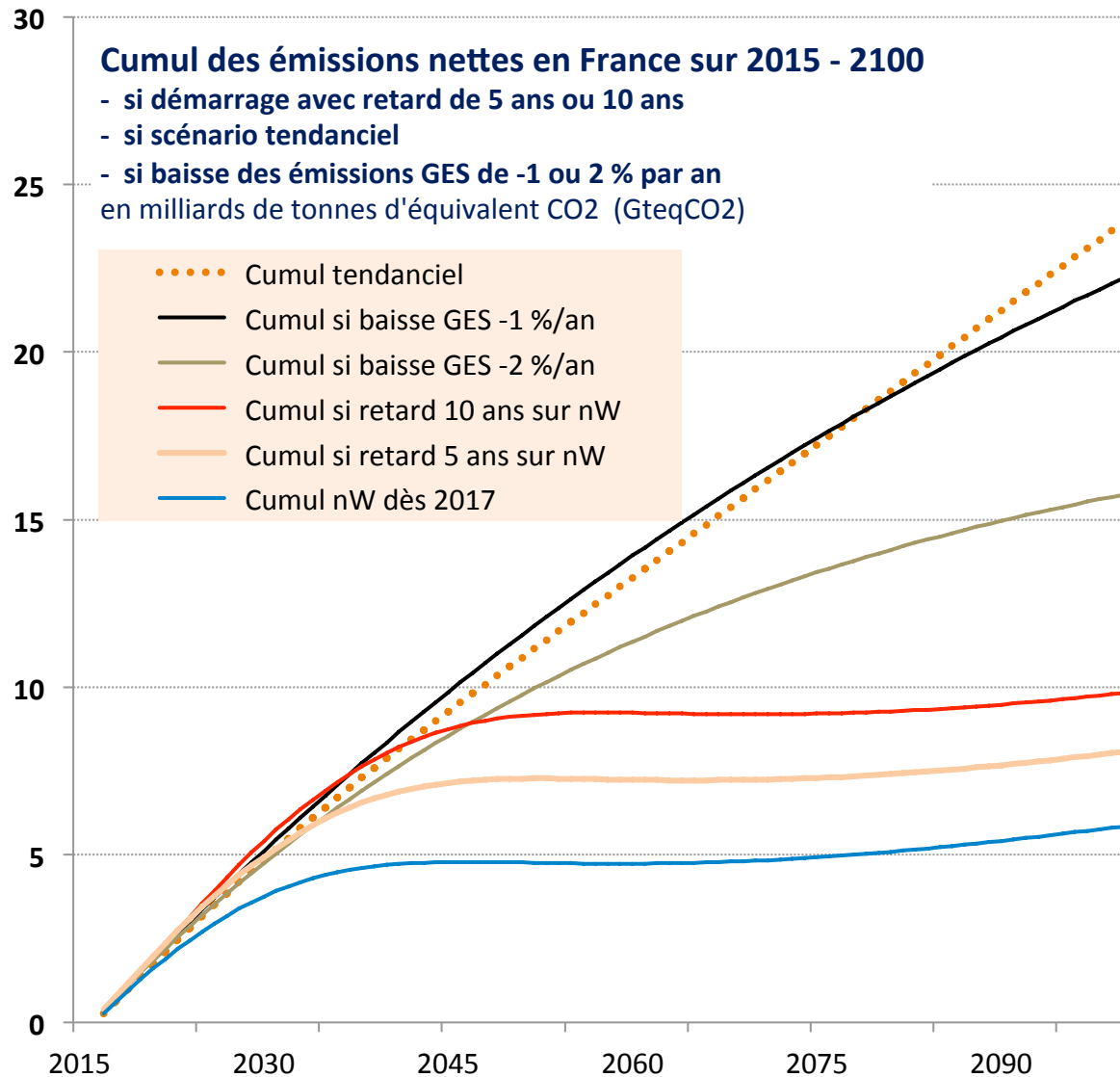


↘ Cumul des émissions nettes 2017- 2100 (GteqCO2)





L'effet de serre est cumulatif : tout retard ne se rattrape plus ... (en GteqCO2)





Une étude de contenu en emploi

Philippe Quirion
Directeur de recherche au CNRS, CIRED



Le contenu en emploi : nombre d'emplois par million d'euros



- **Pourquoi le contenu en emploi diffère entre secteurs :**
 - **Importation**
 - **Capital**
 - **Rentes...**
- **Comment le calculer ?**
 - **Emplois directs : ratio emploi/CA par branche**
 - **Le problème : les emplois indirects**
 - > Ex. automobile → acier
 - > → plastiques
 - > → équipements automobiles...
 - > → plastiques
 - > → électronique...
- **La solution : le tableau entrées-sorties (TES)**

- **Objectif: calcul des emplois**
 - Créés et détruits
 - En France
 - Par rapport au scénario tendanciel
- **Etales :**
 - Calcul du contenu en emploi de chaque branche
 - Pour chaque "activité" :
 - › Chiffrage du coût des 2 scénarios
 - › Répartition du coût entre les branches
 - Effet induit :
 - › Les ménages payent/reçoivent la différence de coût
 - › Modifient leur consommation proportionnellement
- **Au final : même dépense agrégée, répartition différente**
- **Sources principales :**
 - › Ademe, 2016. *Marchés et emplois liés à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables*
 - › CGDD, Comptes des transports
 - › INSEE, Tableau entrées-sorties et base Esane

↘ Activités prises en compte



○ **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**

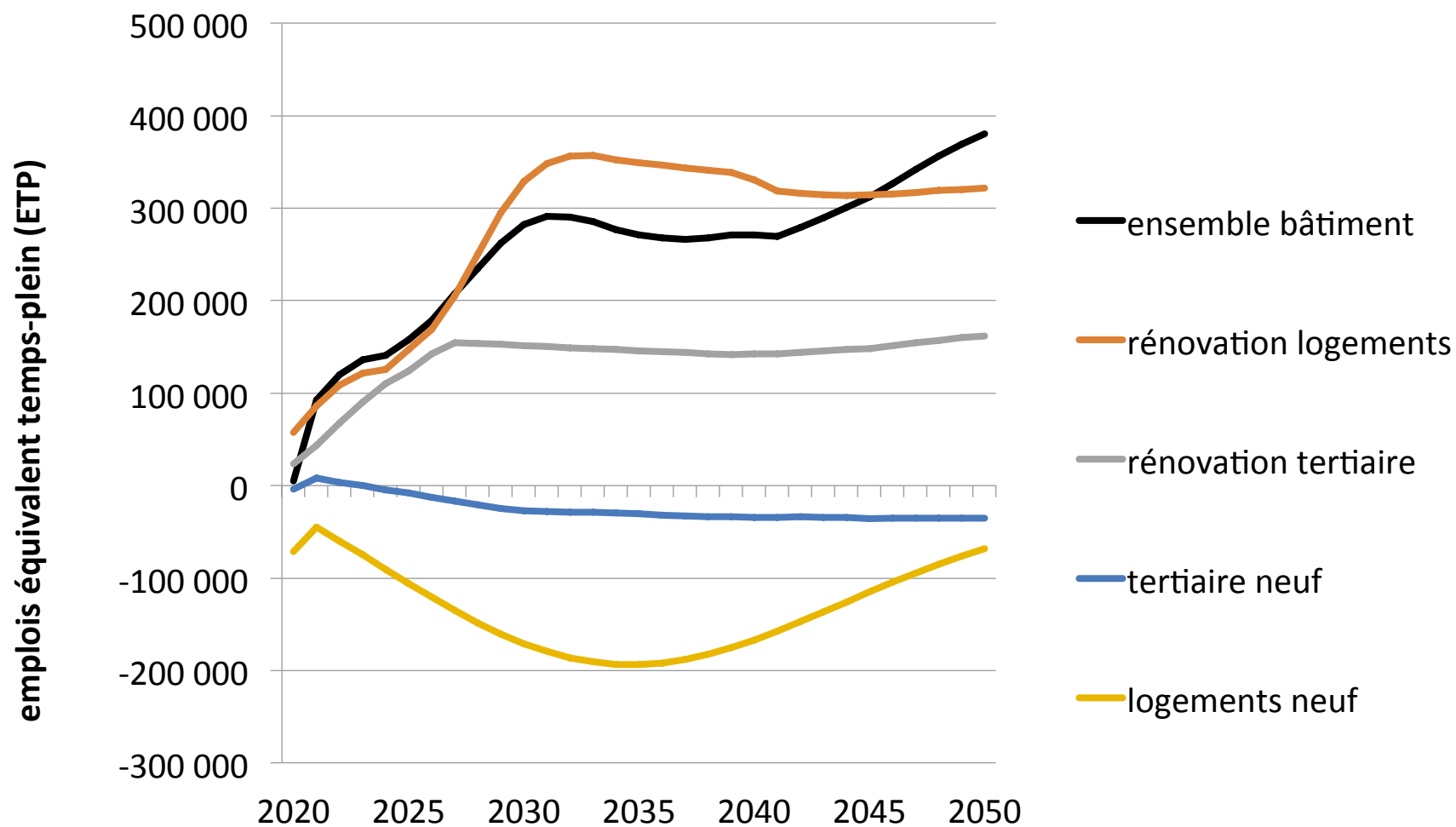
○ **Sensibilisation et information**



Résultats

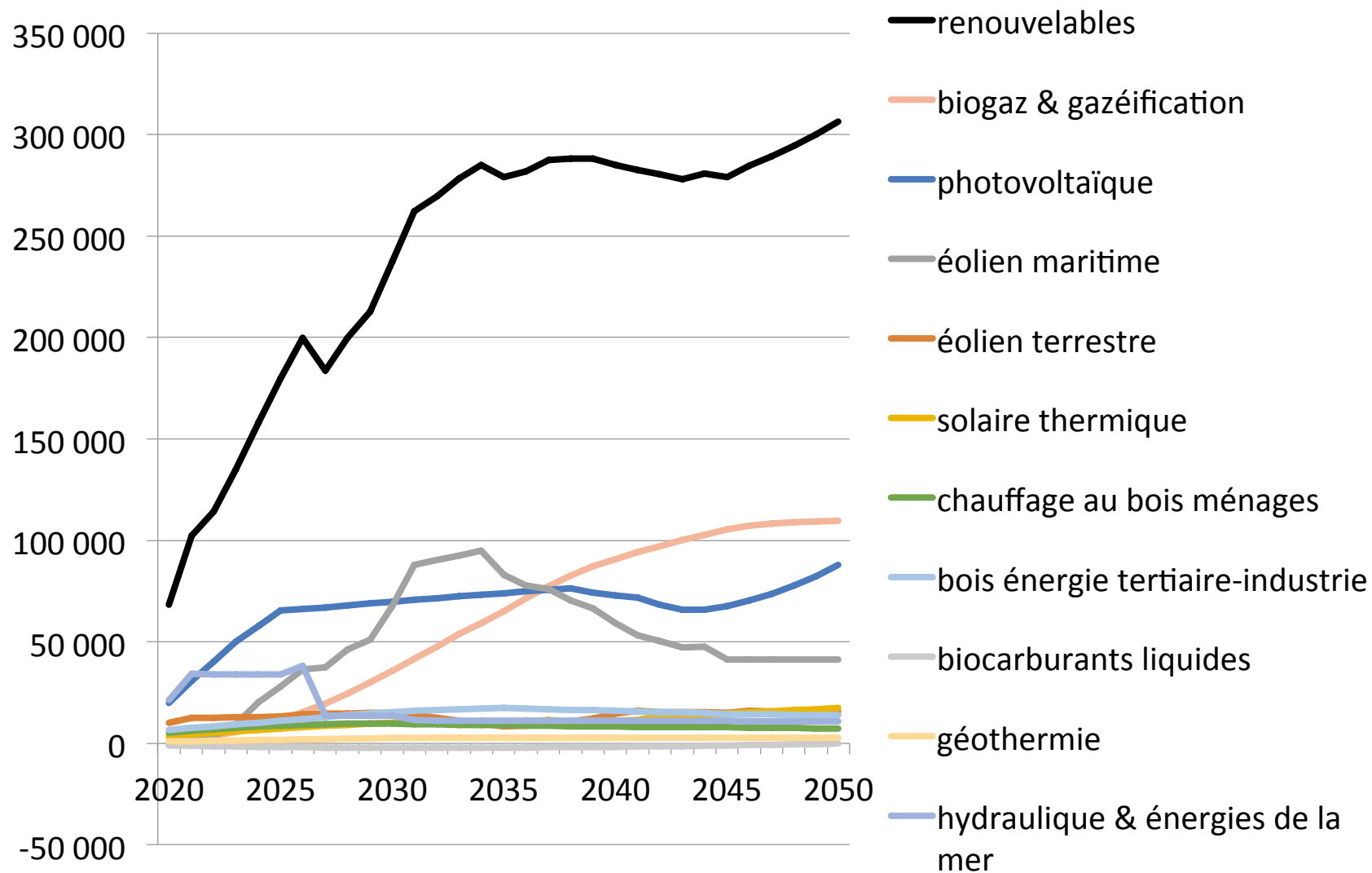


↳ Bâtiment (hors effet induit)



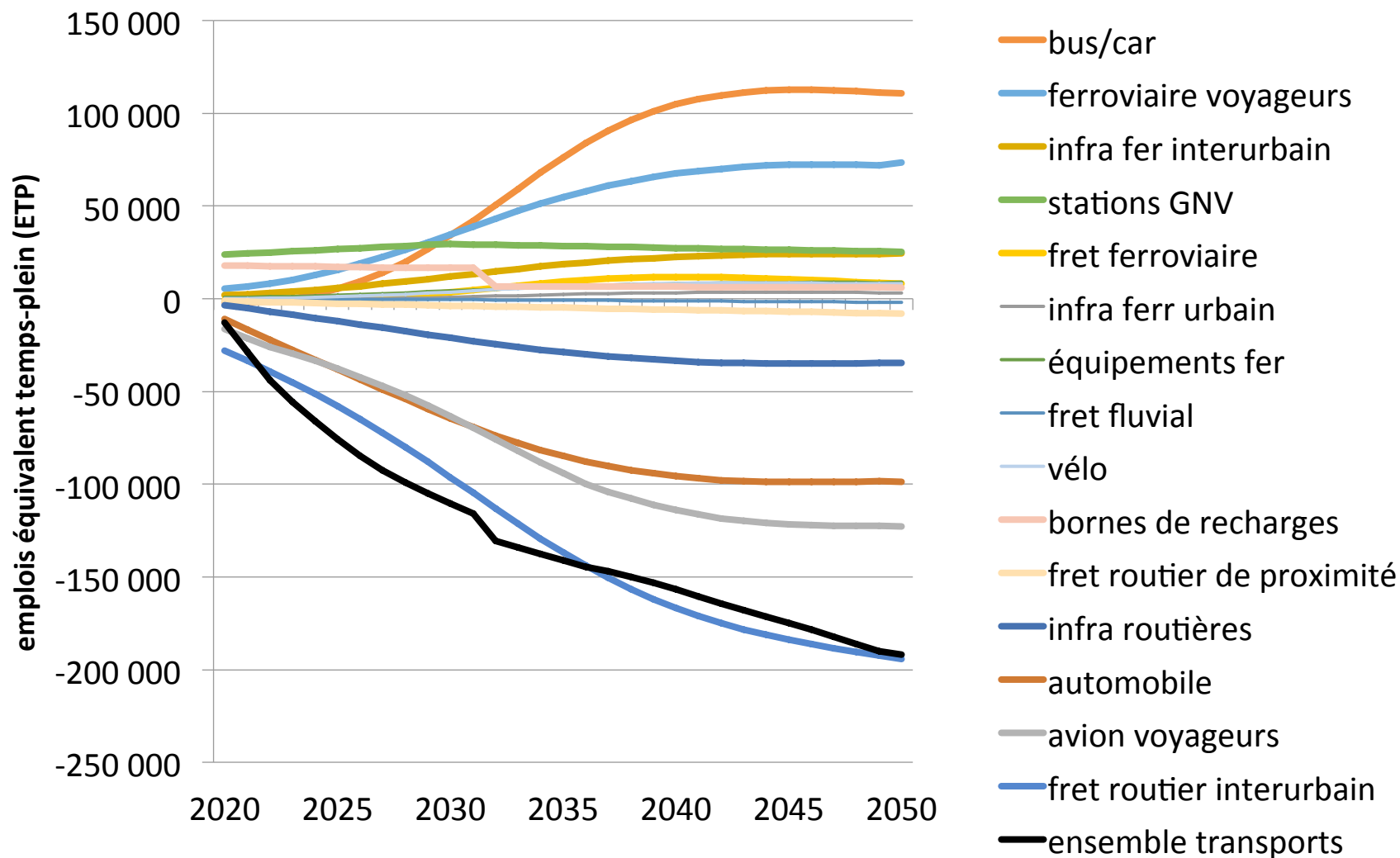
+ 300 000 ETP sur la période 2030-2050

↘ Energies renouvelables (hors effet induit)



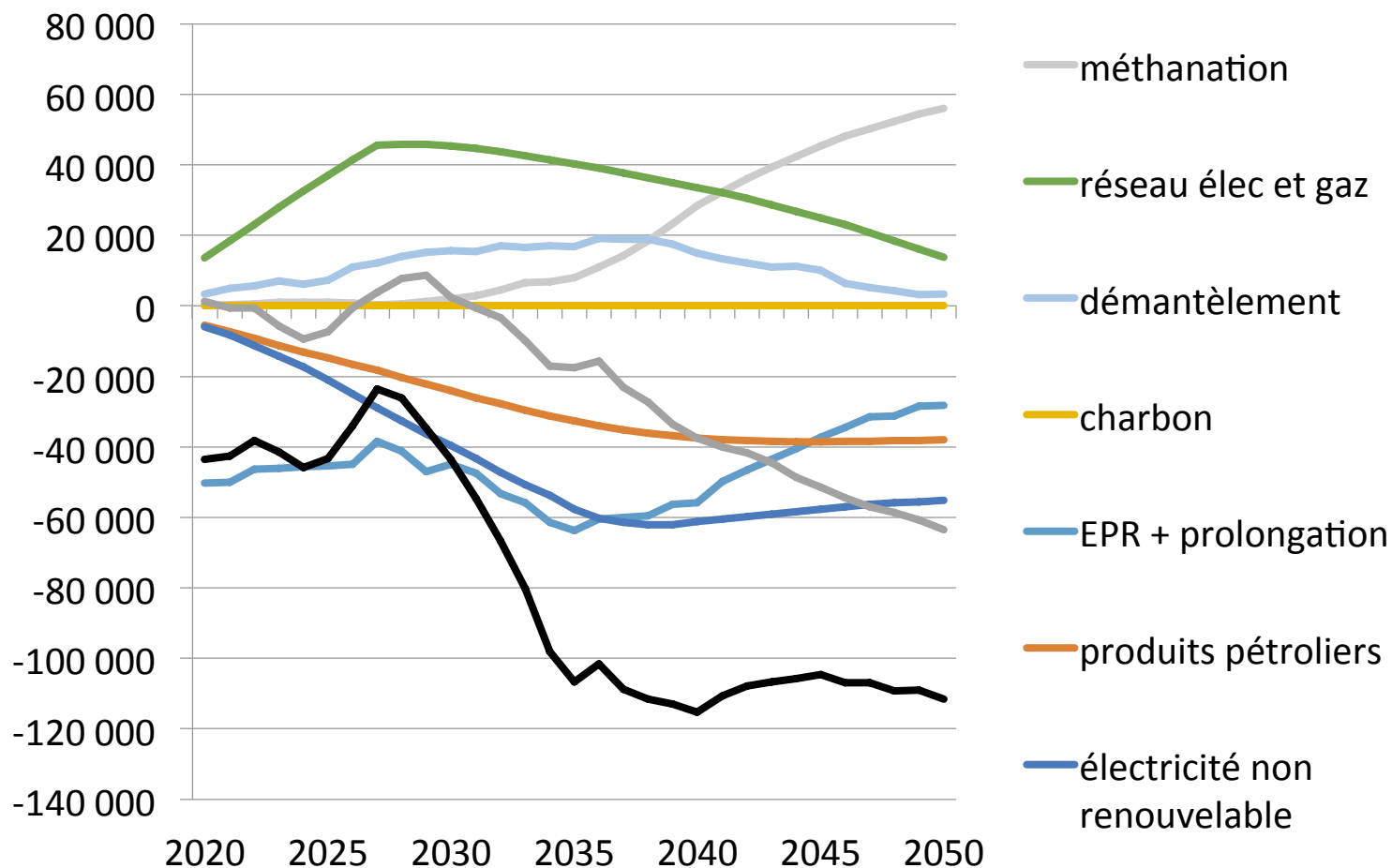
+ 300 000 ETP sur la période 2030-2050

↳ Transports (hors effet induit)



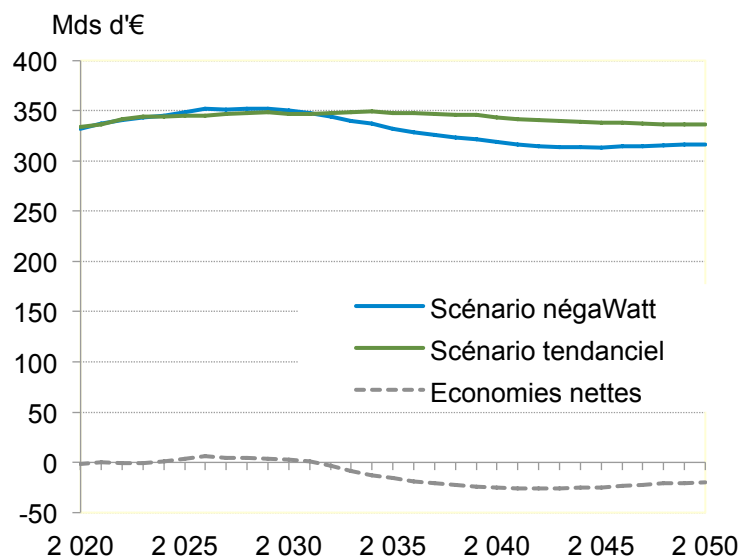
- 100 000 ETP en 2030, -200 000 en 2050

Énergies non renouvelables & réseaux (hors effet induit)

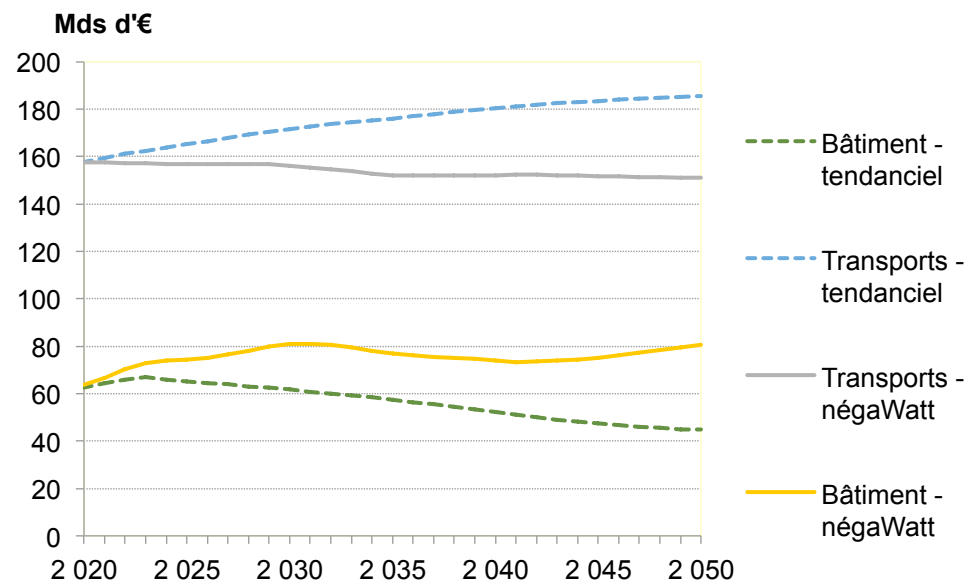


- 100 000 ETP sur 2030-2050

↳ 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

↘ Points à développer



- **Analyse de sensibilité**
 - Prix du pétrole
 - Gains de productivité
- **Transitions professionnelles & formation**
 - Enjeu aussi dans le scénario tendanciel !
 - Formation → emplois
- **Qualité des emplois**
 - Enquête DARES « Conditions de travail »
- **Égalité femmes/hommes dans les emplois créés & détruits**



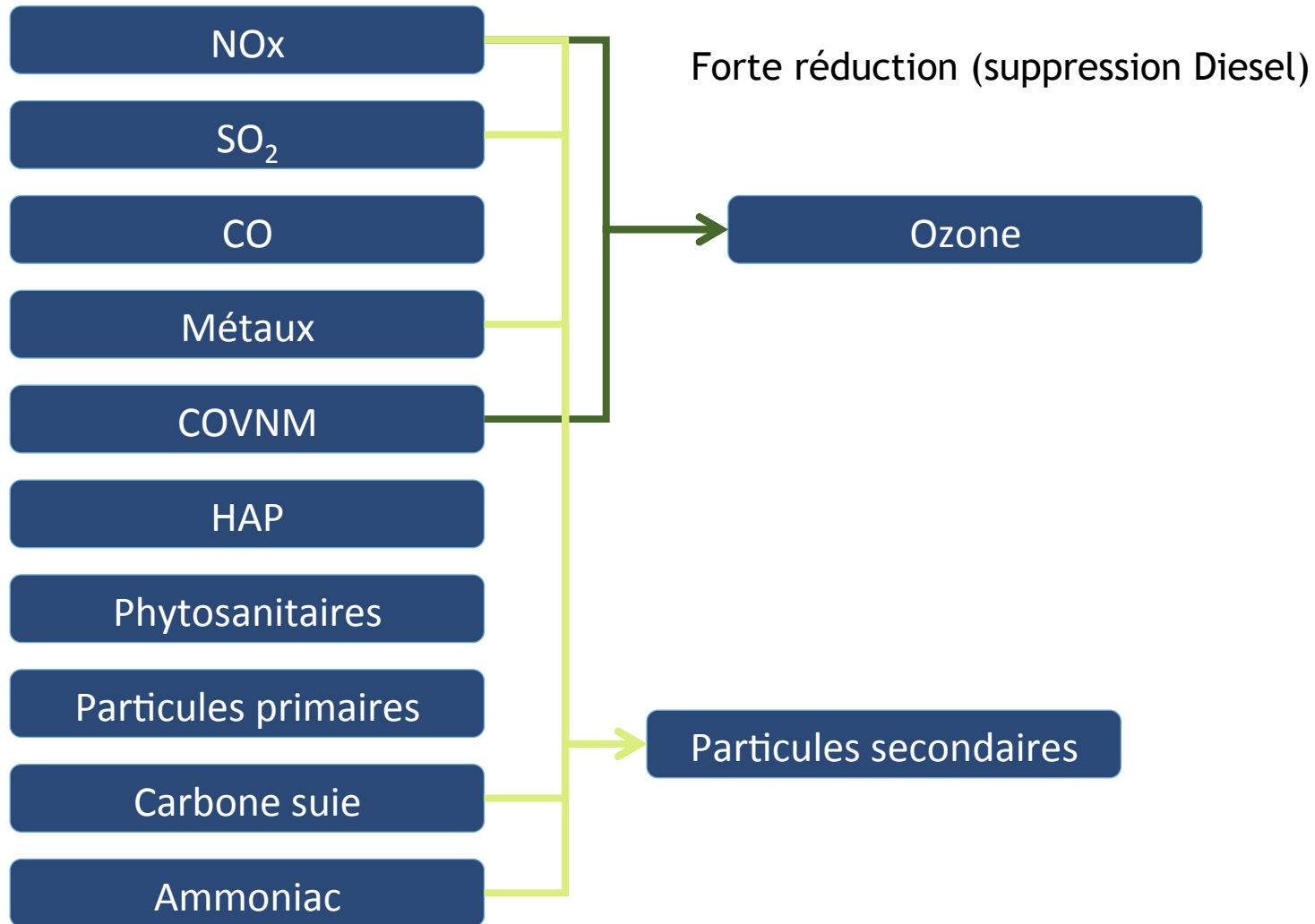
Pollution de l'air

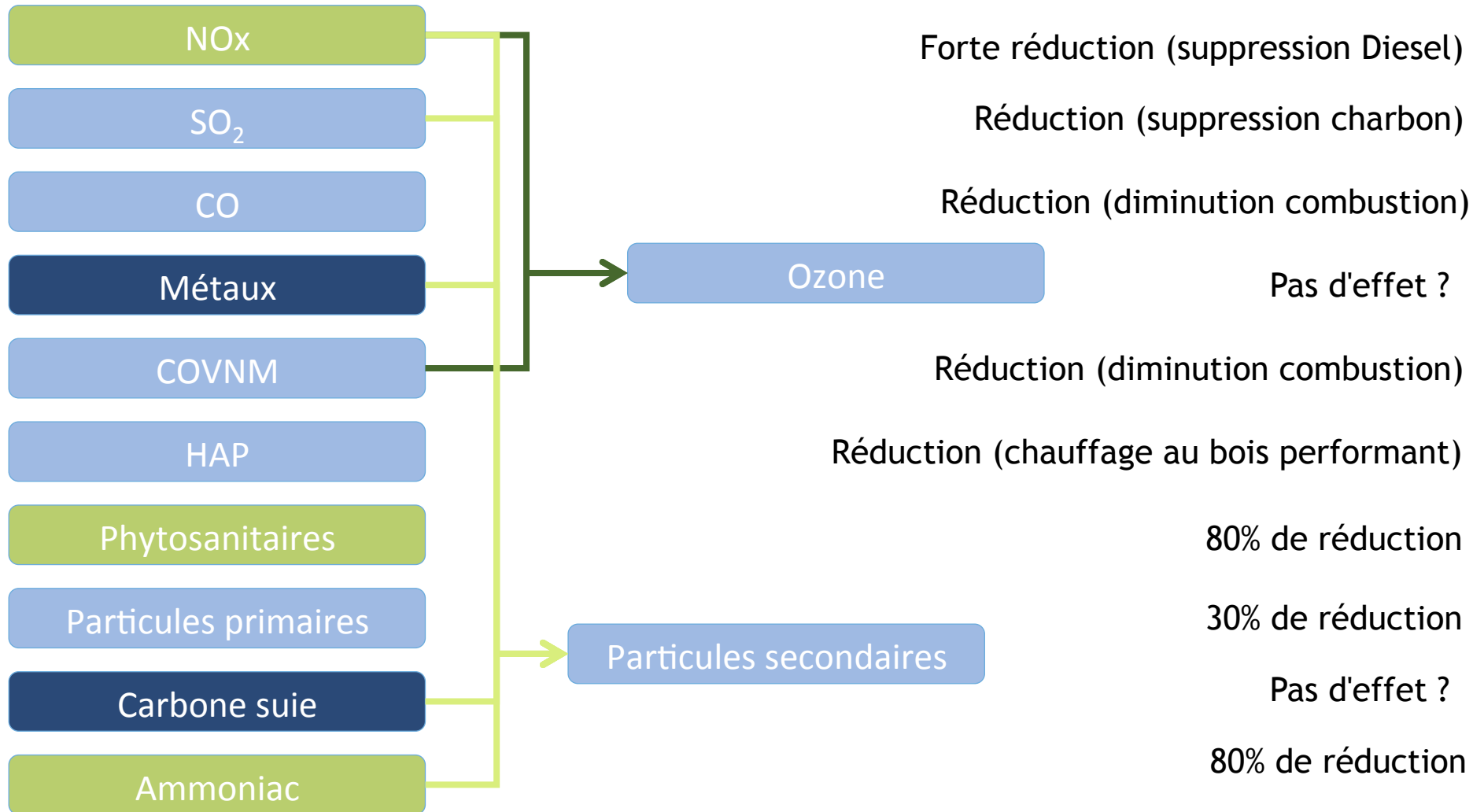


↳ Émissions de particules : évolutions envisagées

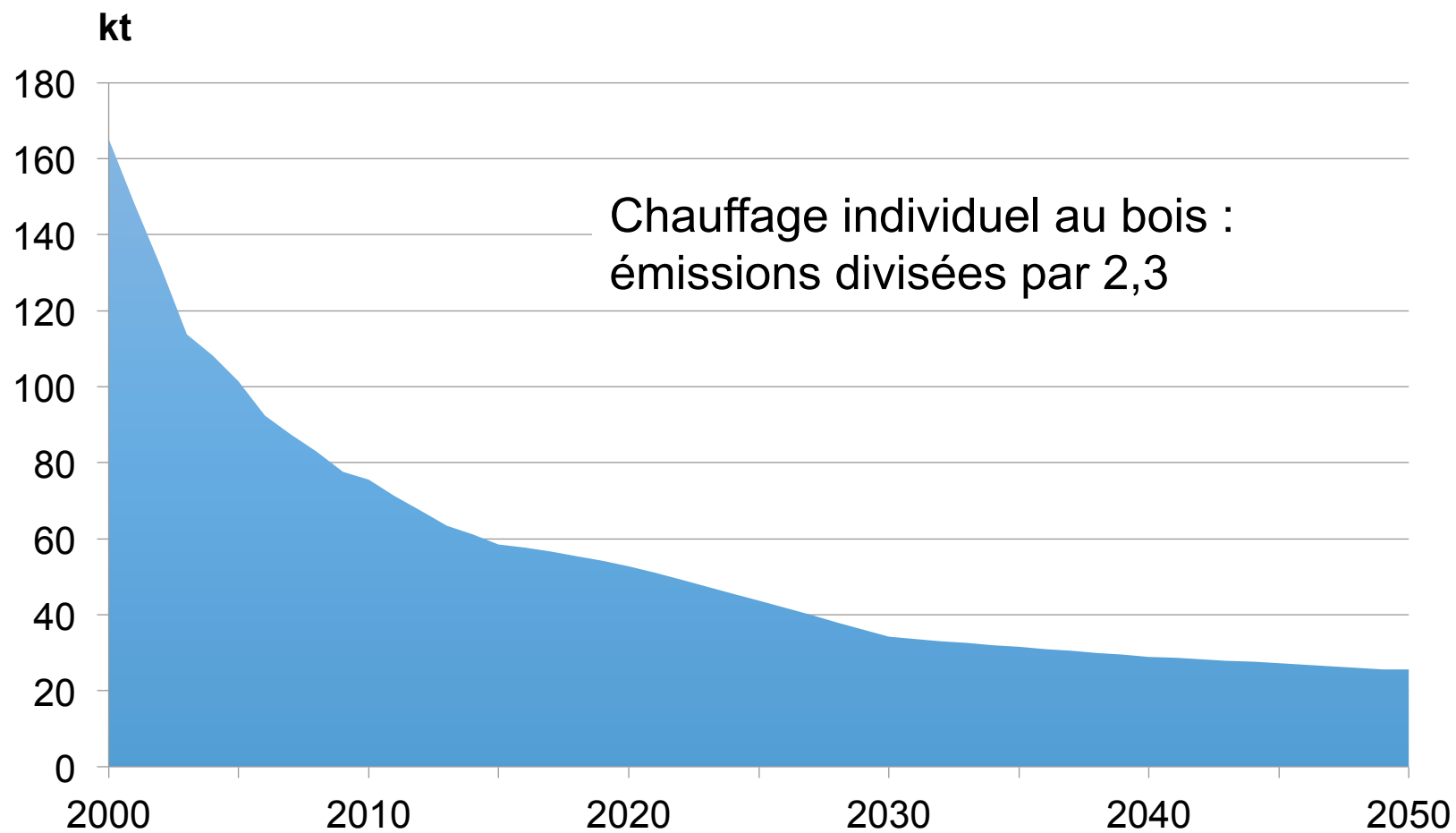


- Le scénario négaWatt permet une réduction des émissions de particules dans les différents secteurs concernés
- Résidentiel / tertiaire (chauffage au bois) : remplacement du parc d'appareils vétustes par des appareils performants
- Secteur agricole : amélioration des pratiques agricoles, réduction du cheptel (émissions d'ammoniac)
- Secteur routier : abandon du gazole et de l'essence au profit du méthane, réduction des km parcourus

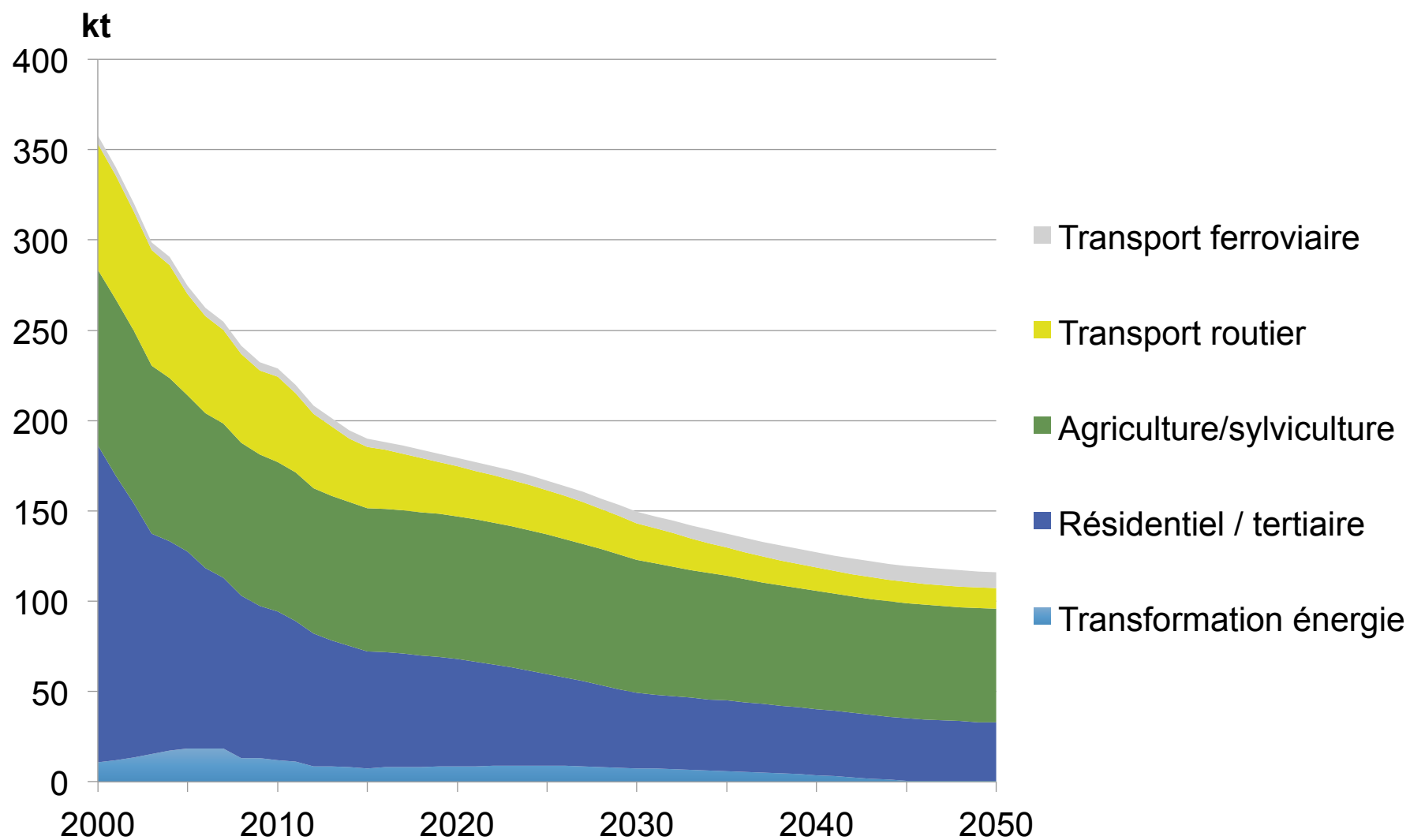




↳ Émissions de PM10 dues au chauffage au bois



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





Analyses de sensibilité

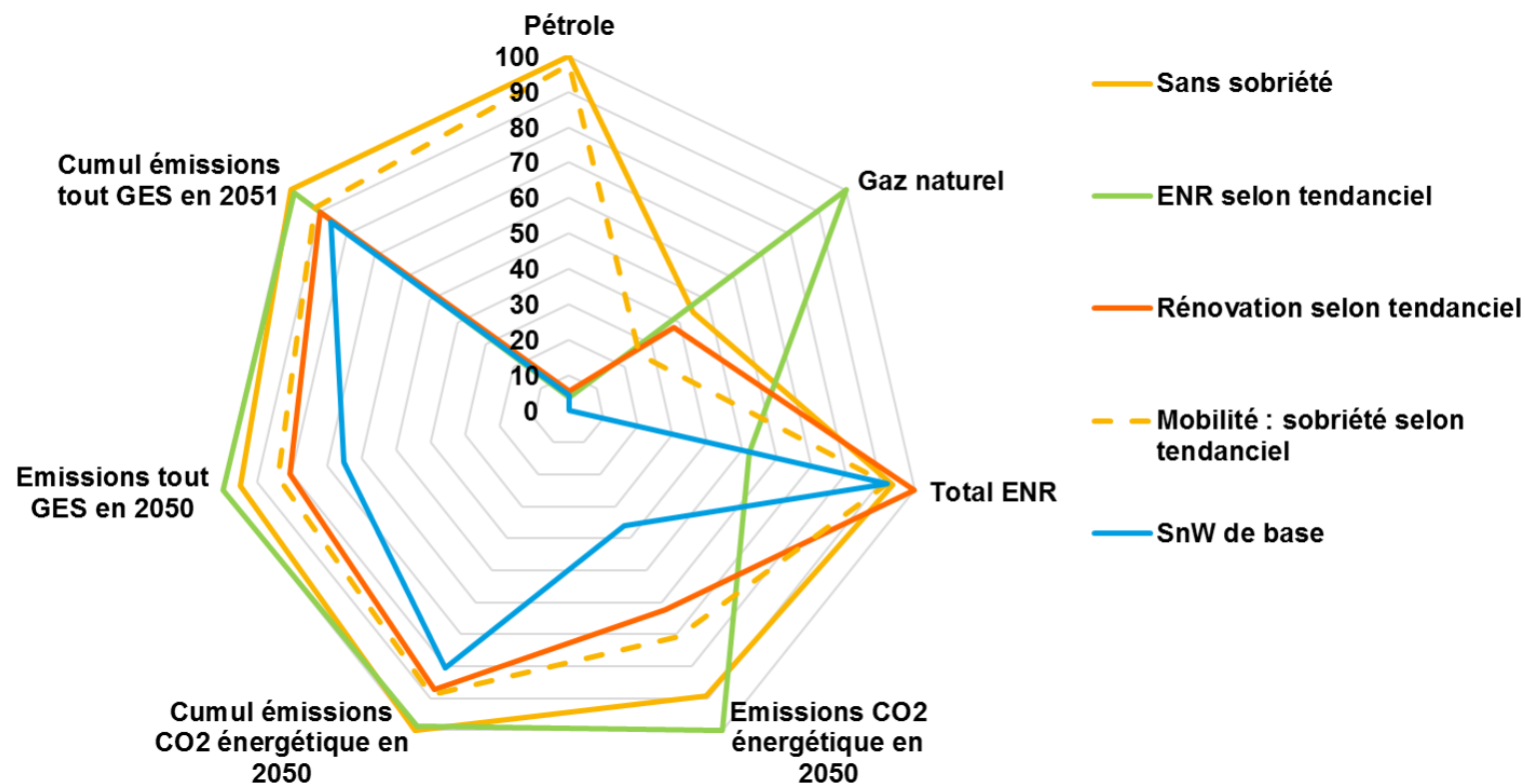


↘ Quelques variantes

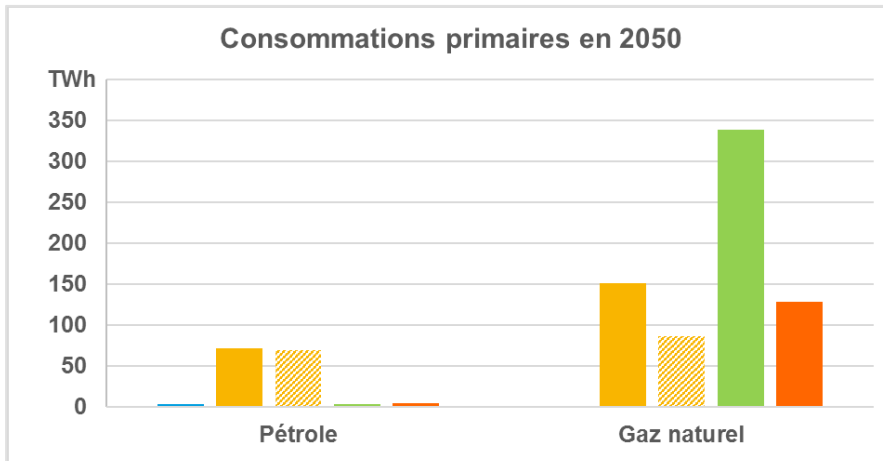


○ 4 variantes :

- 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)

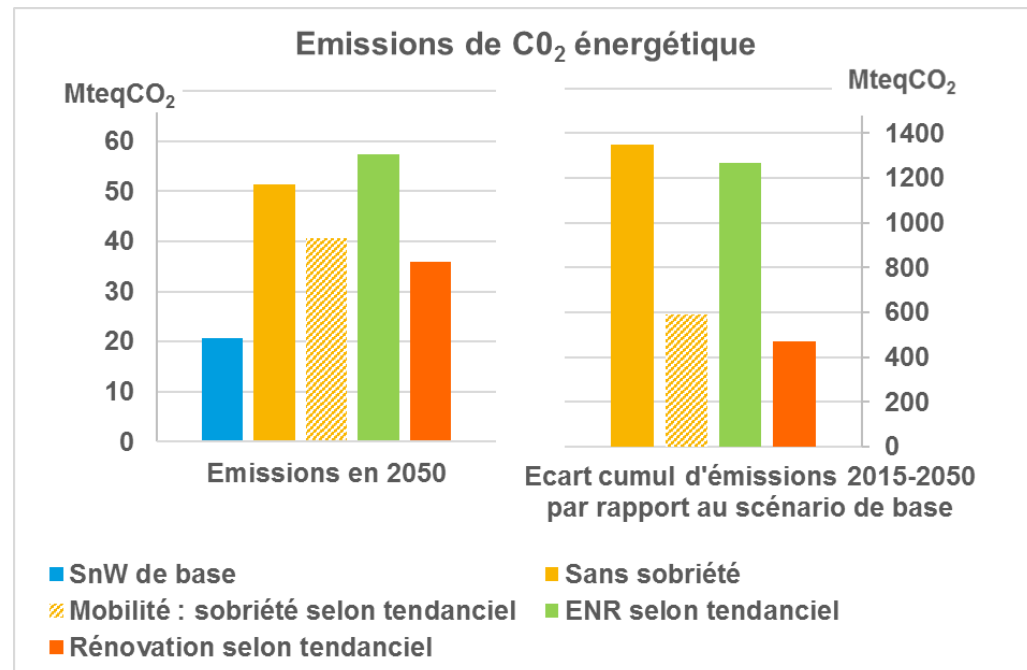


Principaux résultats



- 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

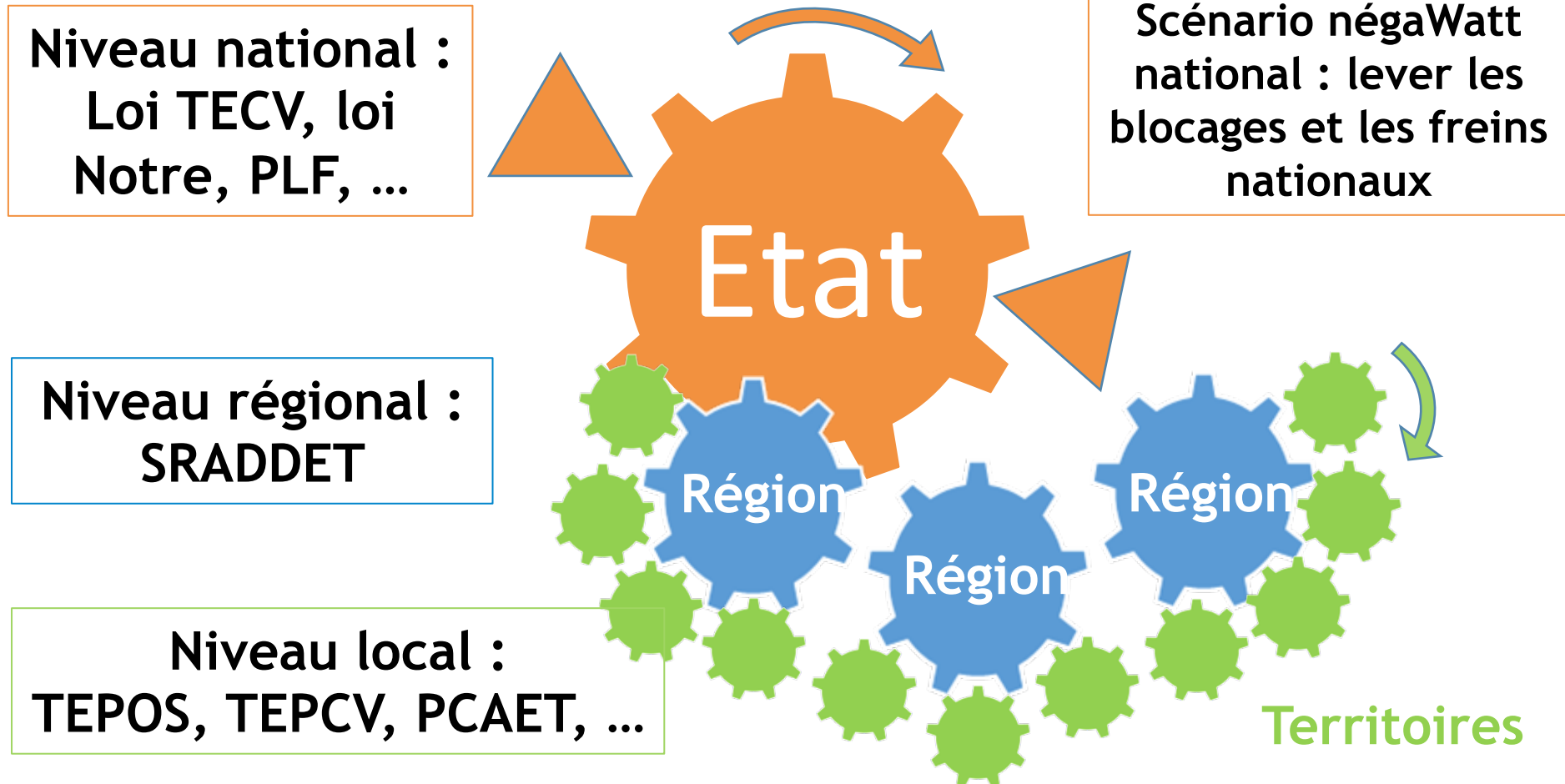




Régionalisation



↳ Transition énergétique : créer une dynamique



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

Un travail en cours sur les 13 régions françaises



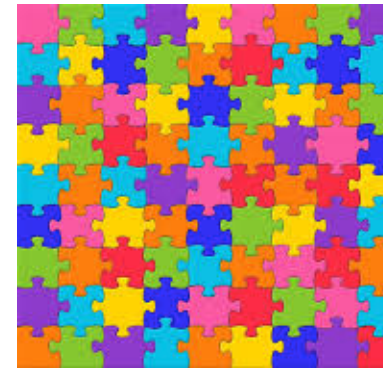
Régionalisation



Solutions : démarche ascendante (bottom-up)

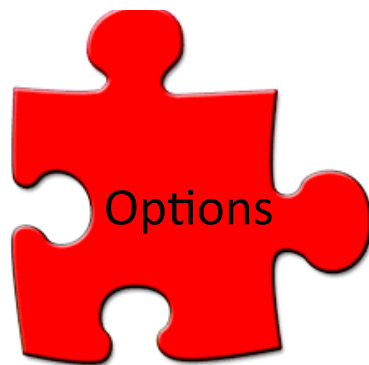


Reconstruction



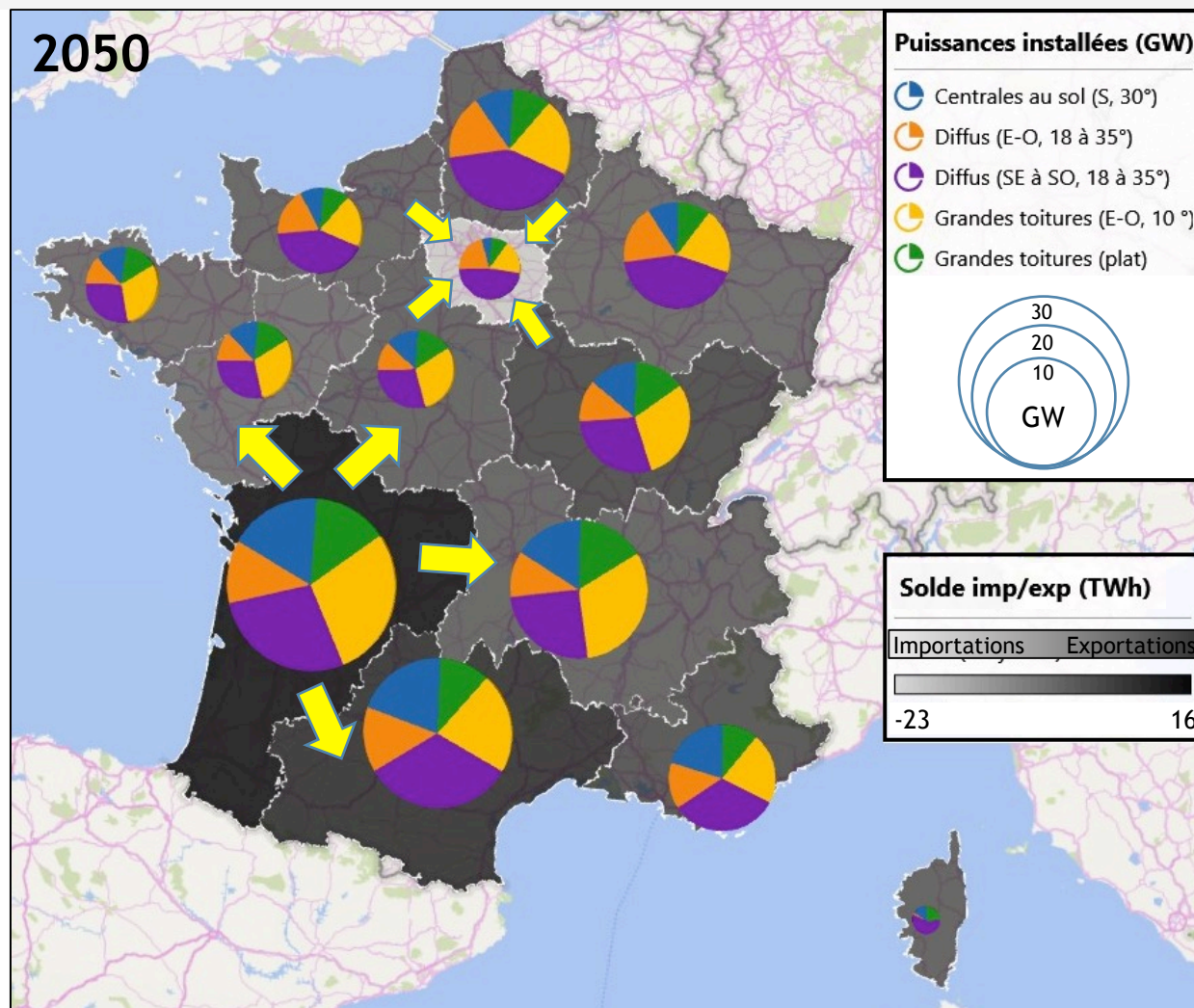
Objectifs (top-down)

Modélisation



Unité économique élémentaire (« ferme »)

↘ 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

Explication PV

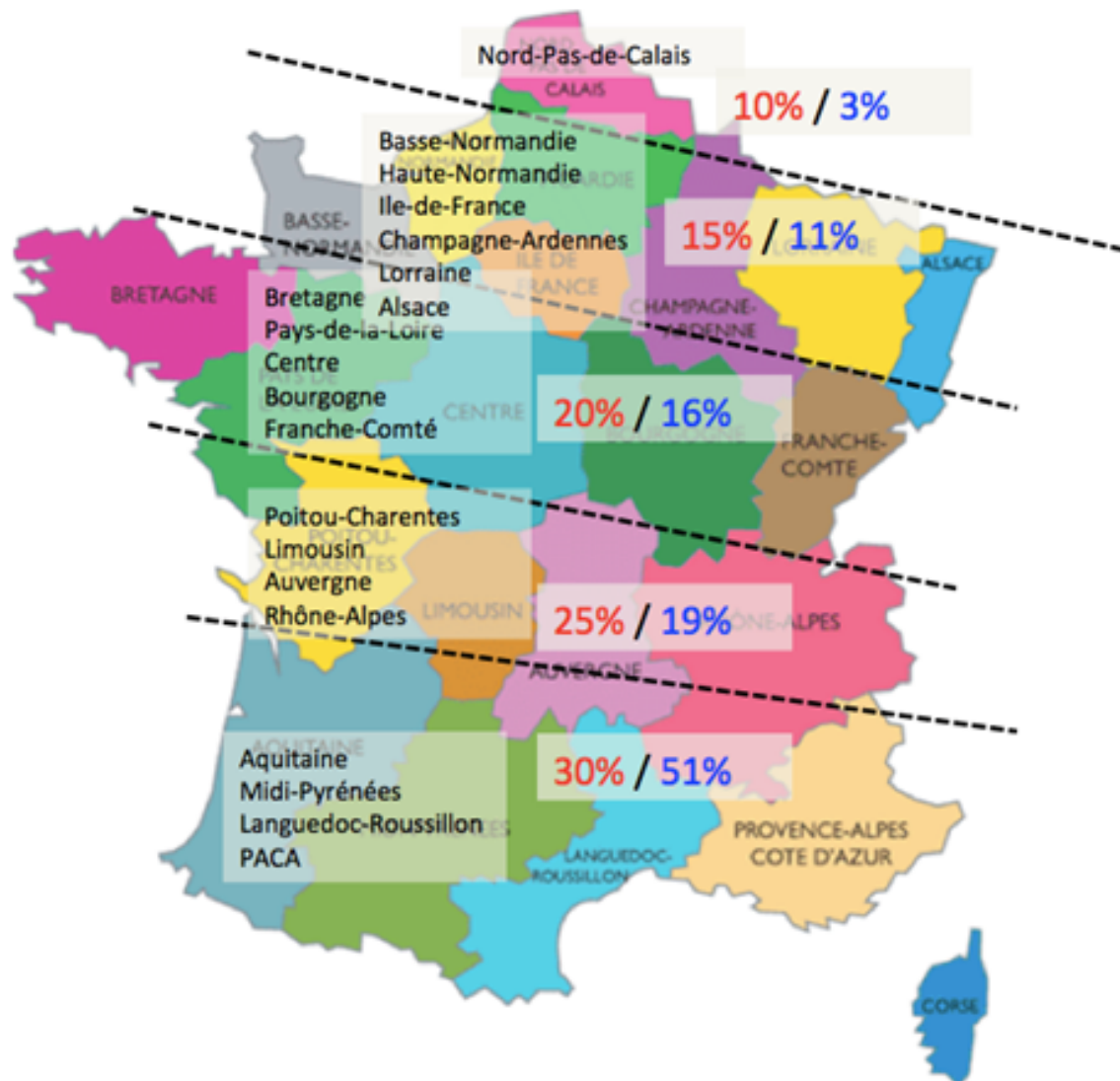
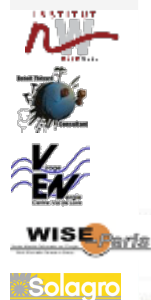




Illustration : 100 % renouvelable en région Centre-Val de Loire (2016)



Représentation des flux d'énergies : des ressources primaires aux usages



Pertes et autoconsommations
1,4 TWh

Pertes (transformation, stockage, distribution)
2,8 TWh

Année 2050

Disparition du nucléaire

SOURCES PRIMAIRES	Production d'énergie primaire	Solde import / export	Demande primaire par sources
Hydraulique	0,1	-1,7	1,8
Eolien	12,3	3,0	9,3
Energies marines		-1,1	1,1
Solaire pv	5,7	0,7	5,0
Solaire thermique	0,9		0,9
Méthanation ± Chaleur environnement	4,0		4,0
Géothermie	0,1	0,0	0,1
Biomasse solide	16,4	6,9	9,4
Biomasse liquide	1,6	1,6	0,0
Déchets	0,0		0,0
Biogaz	10,9	0,2	10,7
Total	52,5	9,2	43,3

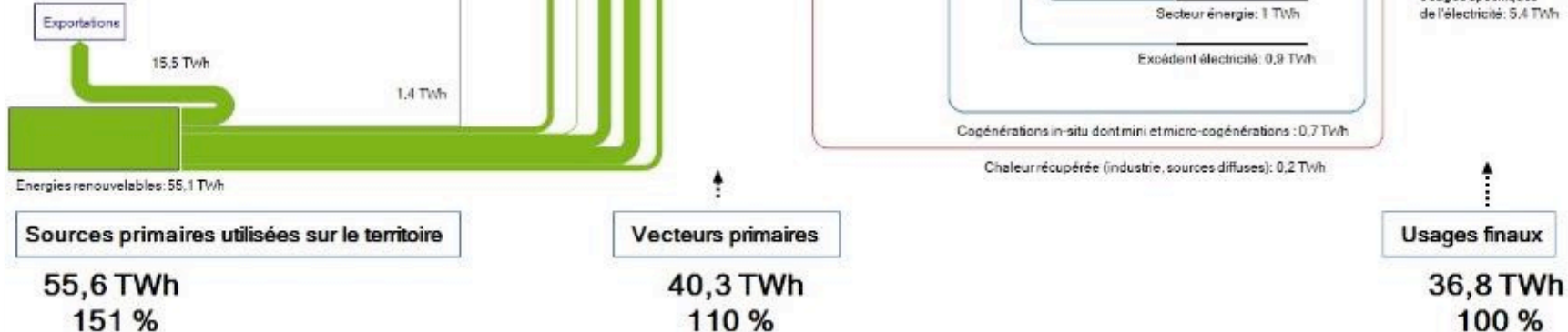
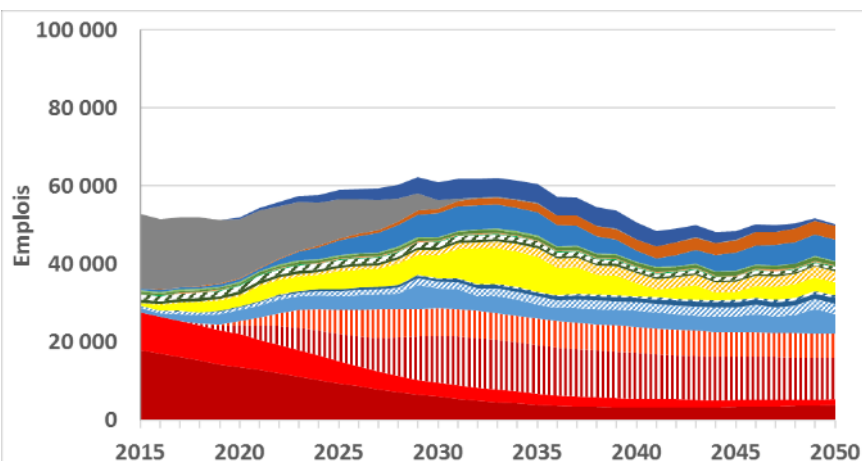




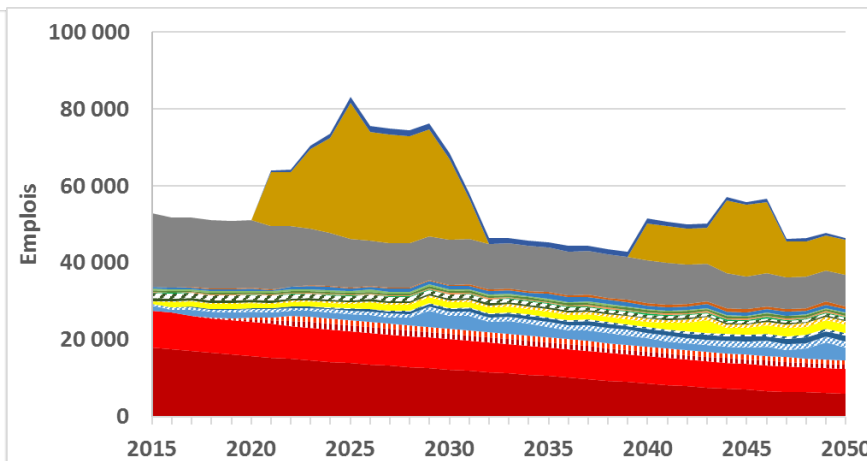
Illustration : 100 % renouvelable en région Centre-Val de Loire (2016)



Scénario 100 % renouvelable



Scénario tendanciel



■ Neuf résidentiel	■ Neuf tertiaire	Rénovation résidentiel
Rénovation tertiaire	■ Eolien terrestre Installation	Eolien terrestre Maintenance
■ Solaire thermique Installation	/// Solaire thermique Maintenance	■ PV Installation
/// PV Maintenance	■ Bois résidentiel Installation et maintenance	/// Bois résidentiel Fourniture
■ Bois tertiaire Installation et maintenance	■ Bois tertiaire Fourniture	■ Bois exporté Fourniture
■ Biomasse liquide Fourniture	■ Biogaz Installation et maintenance	■ Biogaz Fourniture
■ Production électricité non ENR	■ Prolongation des centrales nucléaires + EPR	■ Démantelement des centrales nucléaires

- Préservation des emplois dans le scénario de transition énergétique
- Mais mutations professionnelles nécessaires
- Fortes variations de l'emploi dans le scénario tendanciel → impacts induits



AU-DELÀ DES QUESTIONS ÉNERGÉTIQUES



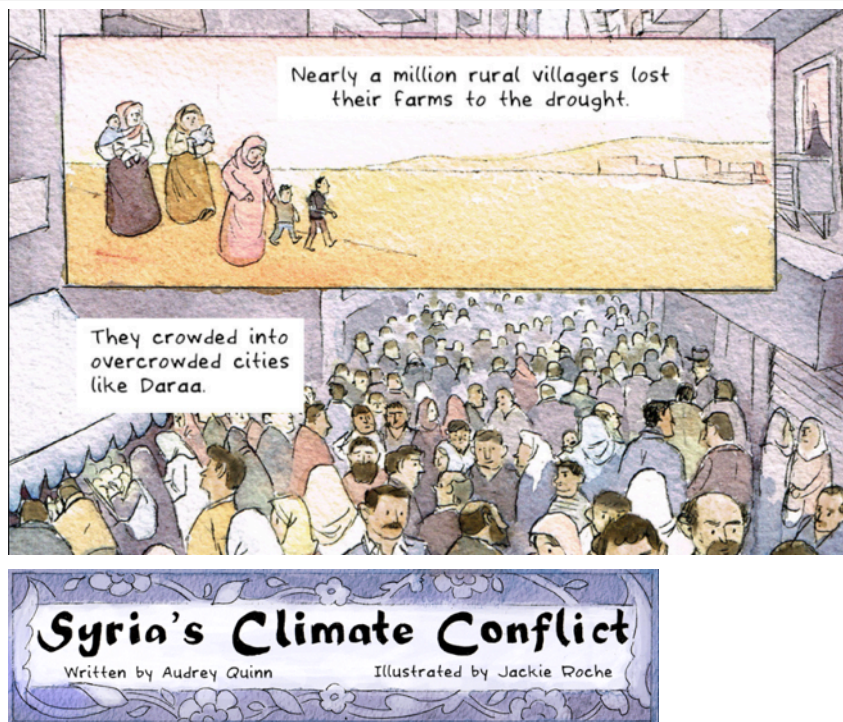
↘ Paysages d'après pétrole



Afterres2050



↘ négaWatt, énergies de la paix



Crises climatique, alimentaire, migratoire : comment l'approche négaWatt est-elle un facteur de paix et de sécurité au niveau mondial ?
Camille Blanc, présidente d'Amnesty International France
Université négaWatt, Die, 14-15 Octobre 2016