

Scénario négaWatt 2017-2050

Un scénario de transition
énergétique pour la France

Paul NEAU
Association négaWatt

Le 2 décembre 2019,

En visio

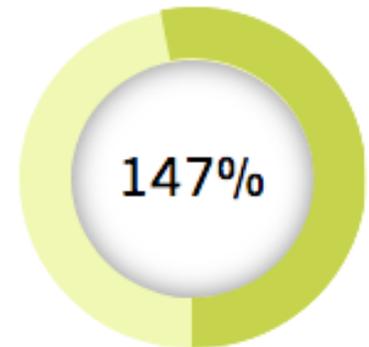


Soutenu par la Fondation
Charles Léopold Mayer pour le
progrès de l'Homme

- Scénario européen :
 - une campagne de financement participatif réussie
 - étude de préfiguration terminée, échanges techniques en cours
- Une visioconférence sur le scénario négaWatt
 - Zoom sur l'éolien
 - Paul Neau, membre de la Compagnie des négaWatts
- Informations techniques pour la visioconférence
 - Outil Q/R au bas de votre écran pour poser des questions

560
contributions

51760 €
sur 35 000 €



↘ Qui sommes-nous ?

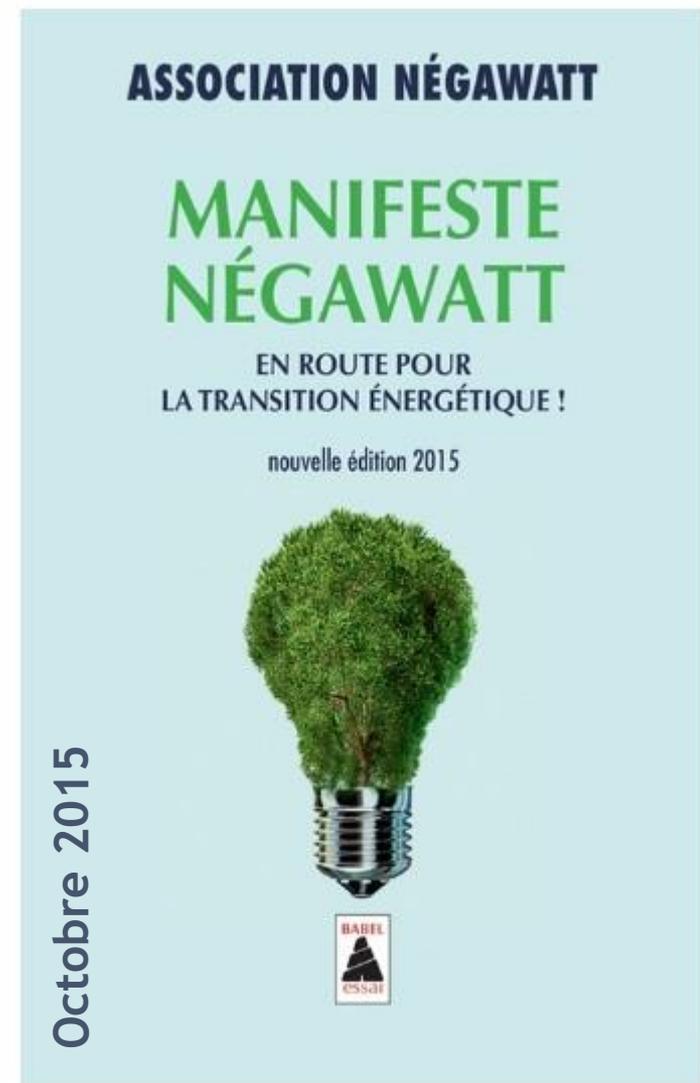
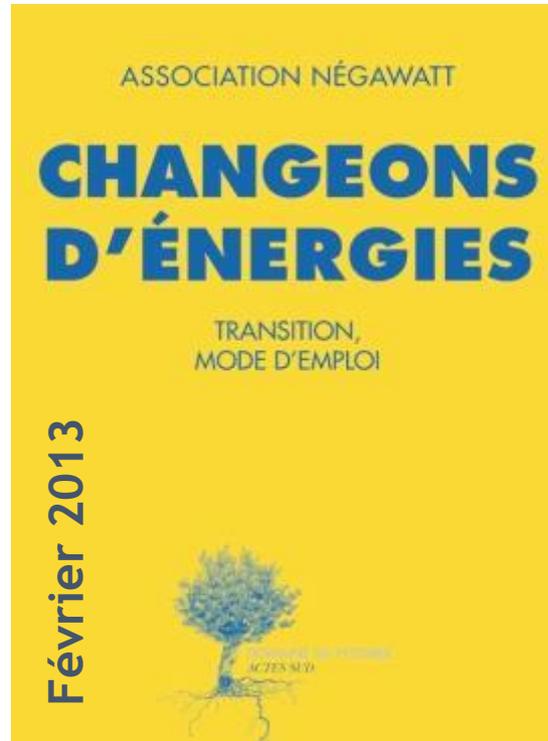
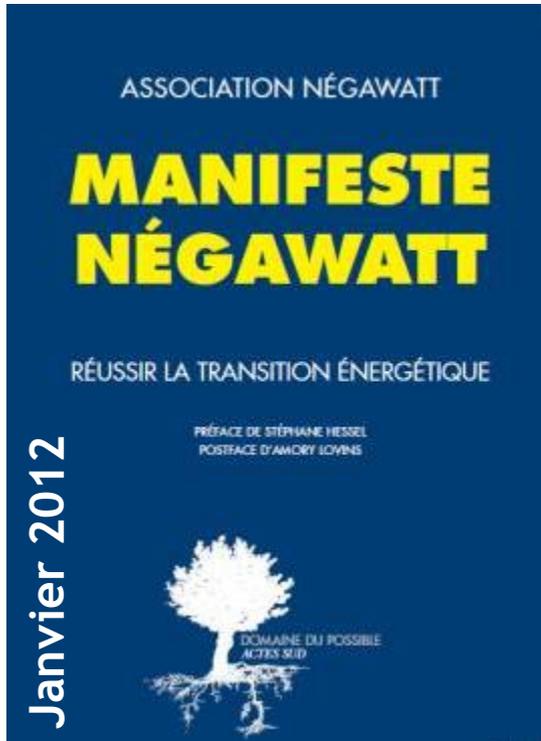


- Créée en 2001 par des experts et praticiens de l'énergie
- Missions :
 - Prospective énergétique : le scénario négaWatt
 - Réflexion stratégique et politique
 - Plaidoyer, lobbying à l'échelle nationale
 - Mesures et propositions
- Regroupe une vingtaine de membres actifs + 25 ambassadeurs
- Plus de 1 200 membres nous soutiennent



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

↘ Un travail collectif, un scénario, trois livres



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



Un monde en ébriété énergétique

*"Le monde peut nourrir le monde,
mais pas l'avidité de tous. »*

Mohandas Karamchand Gandhi

➤ Architecture anti-climatique ...



Dans une zone d'activité proche du bassin de Thau



A Beyrouth, au Liban ...

↳ Sobriété ou ébriété énergétique ?



↘ Extractivisme à outrance ...





01.

Contexte

- **L'urgence de l'action**
- La transition énergétique a démarré



Fin des fossiles faciles



Les pétroliers trouvent de moins en moins de gisements

LE MONDE | 11.01.2014 à 11h13 • Mis à jour le 11.01.2014 à 18h54 |

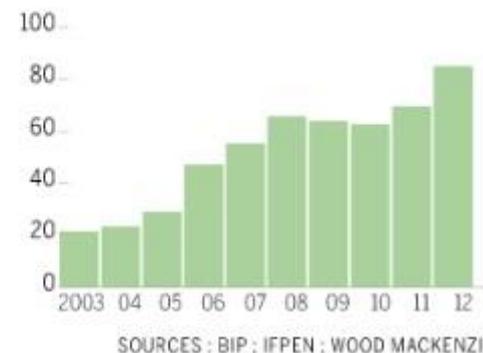
Par Jean-Michel Bezat et Gilles Paris

Abonnez-vous à partir de 1 € Réagir Classer Partager

ESTIMATIONS DES DÉCOUVERTES ENTRE 2002 ET 2011, en milliards de barils équivalent pétrole

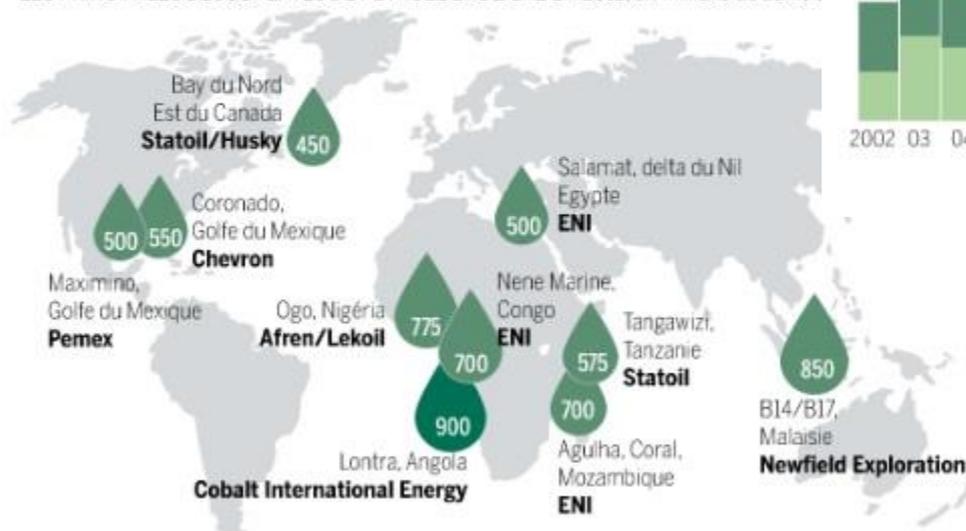


ÉVOLUTION DES DÉPENSES D'EXPLORATION en milliards de dollars



Les dix découvertes les plus importantes sont offshore

LES PRINCIPALES DÉCOUVERTES DE PÉTROLE ET DE GAZ EN 2013, en millions de barils



... malgré des dépenses d'exploration multipliées par 4 en dix ans.

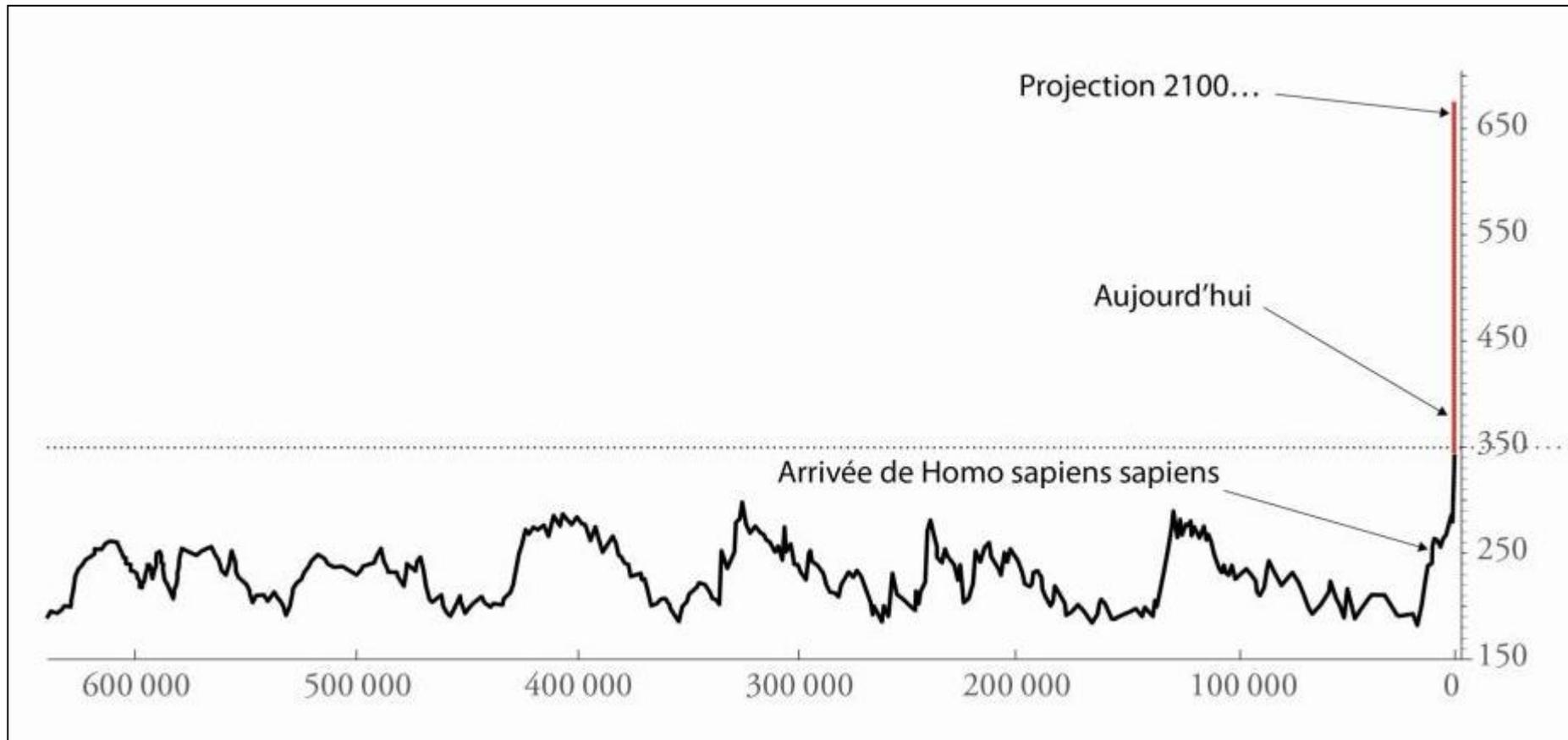
En 2013, 50 milliards de barils de pétrole et gaz consommés, mais seulement 20 milliards découverts...

Pic pétrolier en 2015 selon Matthieu Auzanneau (@OIL_MEN)

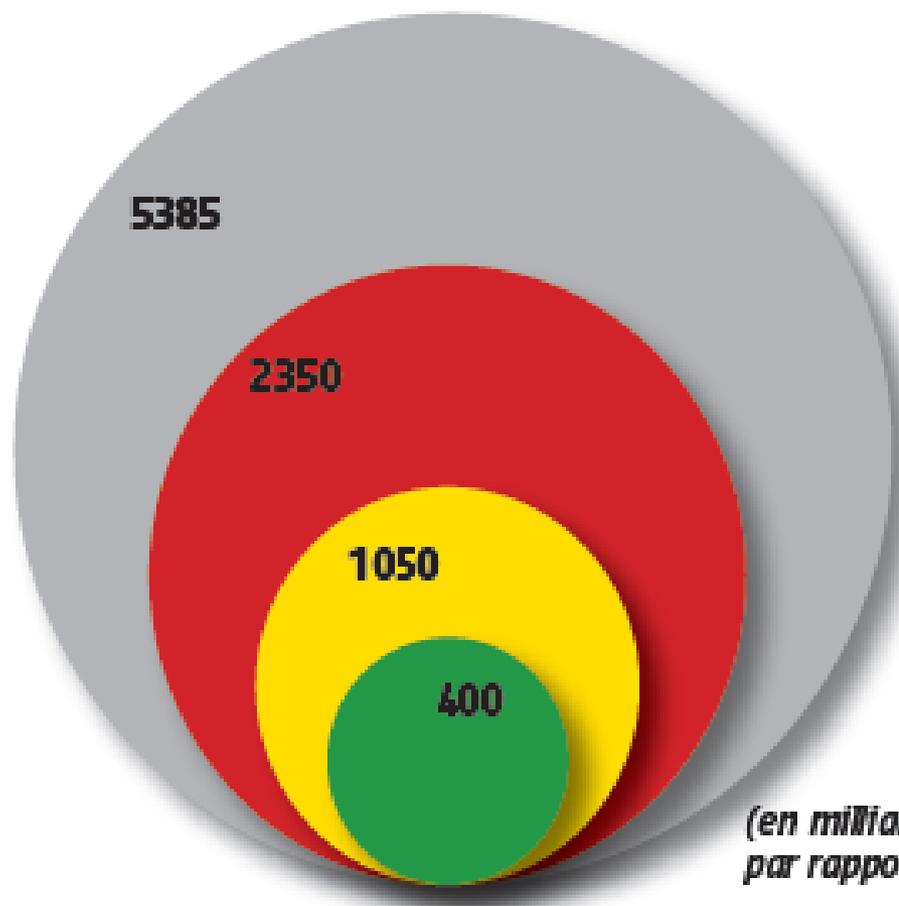
↳ Urgence climatique



- 650 ppm de CO₂ dans l'atmosphère : le taux de l'inaction ?



Évolution de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère



Quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère...

- ... si on brûle toutes les réserves fossiles
- ... pour que le réchauffement soit de +3°C
- ... pour que le réchauffement soit de +2°C
- ... pour limiter le réchauffement à +1,5°C

(en milliards de tonnes de CO₂ - Réchauffement terrestre moyen par rapport à l'ère pré-industrielle - D'après le 5^{ème} rapport du GIEC)

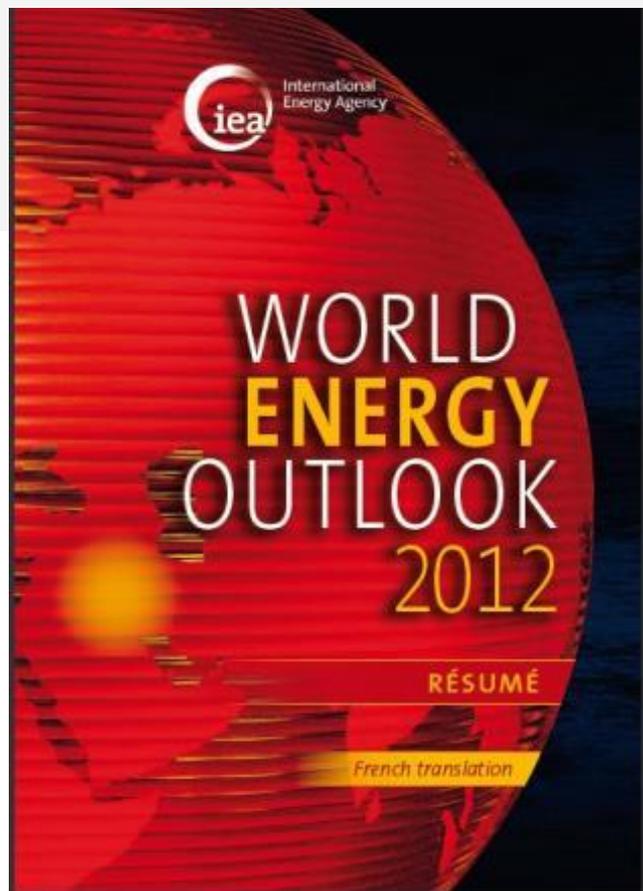
Urgence climatique

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

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

Les éditions successives de ce rapport ont montré qu'à mesure que les années passent, l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 2 °C devient de plus en plus onéreux et difficile à atteindre. Notre Scénario 450 se penche sur les actions à mener pour atteindre ce but. Il souligne le fait que près de quatre cinquièmes des émissions de CO₂ admissibles d'ici à 2035 proviennent des centrales électriques, usines, bâtiments, etc. déjà existants. Faute de prendre des mesures de réduction des émissions de CO₂ avant 2017, les infrastructures énergétiques existant à cette date atteindront à elles seules la limite d'émissions admissibles. Un déploiement rapide de technologies éco-énergétiques – tel que prescrit dans notre Scénario pour un monde plus efficace – reporterait cette échéance à 2022, ce qui représenterait un gain de temps pour arriver à un accord mondial sur la nécessaire diminution des émissions de gaz à effet de serre.

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



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

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

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

↘ Risques et limites du nucléaire



- Limites
 - > Ressources Uranium : 60 ans de réserves ?
 - > 3% de la consommation finale d'énergie dans le Monde, et 16 % en France
 - > Généralisation impossible pour des raisons sociales et politiques
 - > Coût élevé (kWh EPR > kWh éolien)
- Irréversibilité
 - > Déchets à gérer sur des milliers d'années
 - > Incertitudes sur le démantèlement
- Risque majeur
 - > Conséquences sociopolitiques ingérables



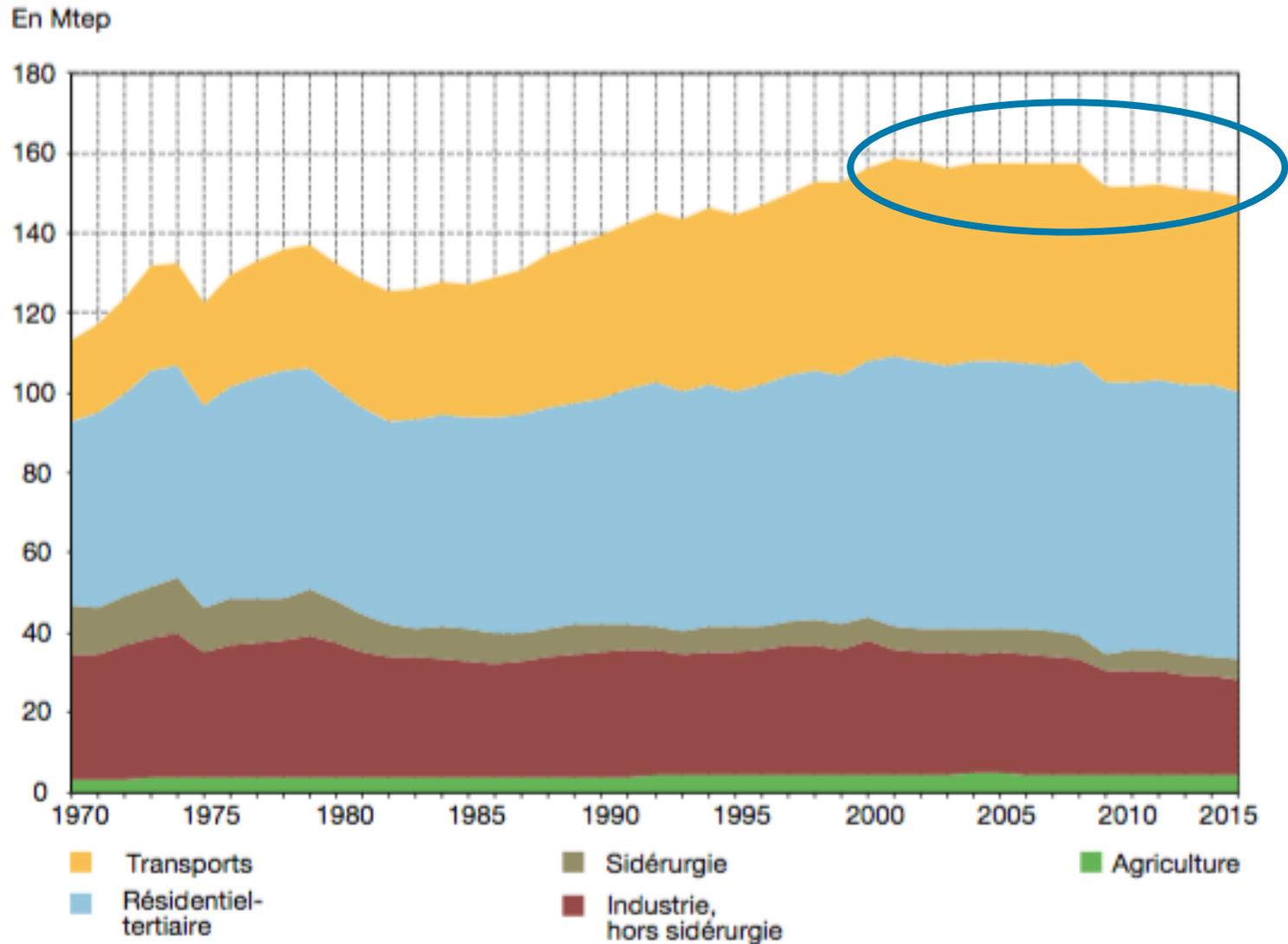


01.

Contexte

- L'urgence de l'action
- **La transition énergétique a démarré**

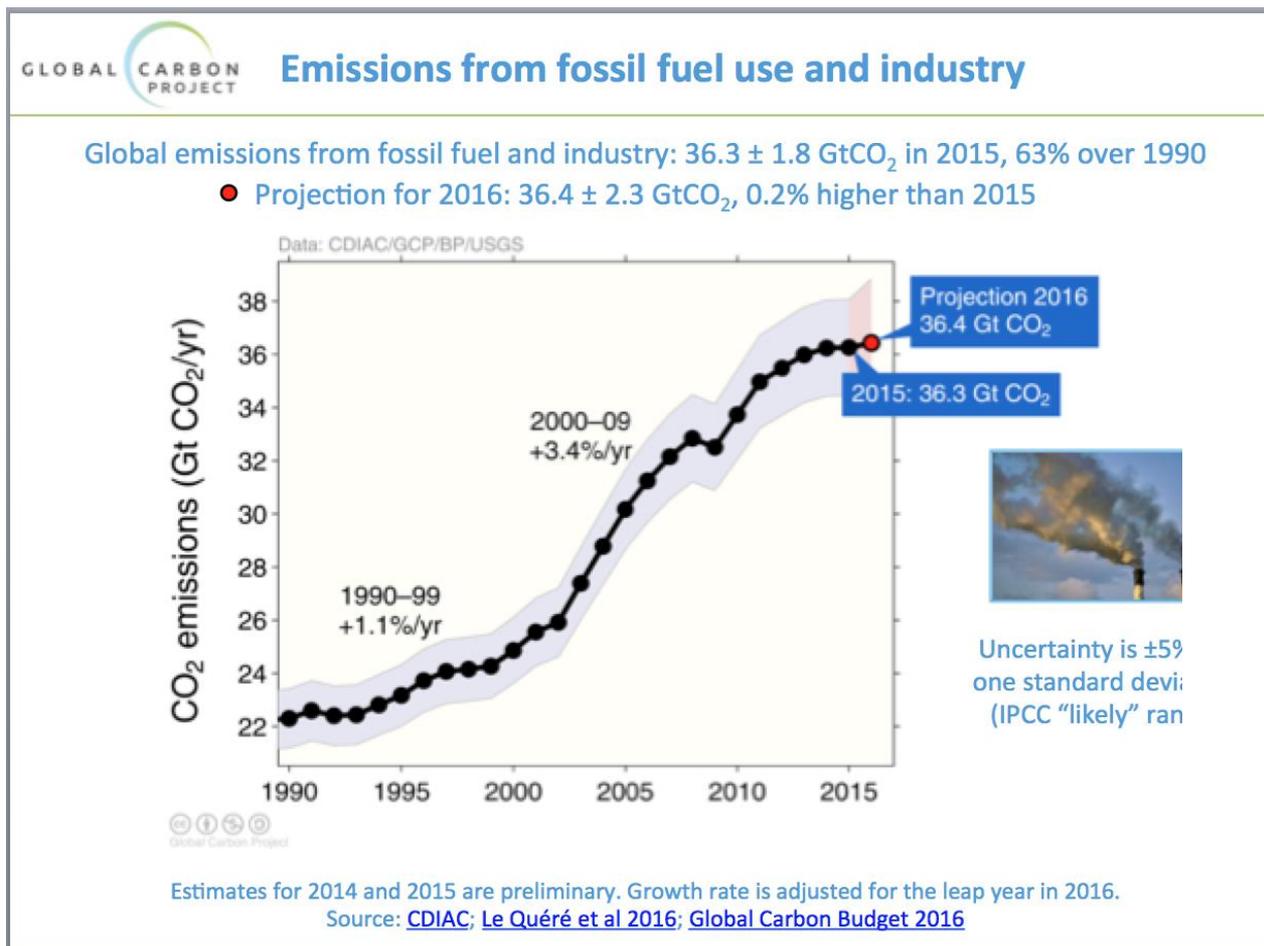
↘ Baisse de la consommation d'énergie en France



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

↘ Inflexion des émissions mondiales de CO₂

Mt CO₂ / an



↳ La transition énergétique est lancée



- 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

La campagne de « désinvestissement » des énergies fossiles gagne l'Europe

LE MONDE | 18.05.2015 à 11h35 • Mis à jour le 18.05.2015 à 19h10 |

Par Simon Roger

Réagir ★ Classer

f Partager (847)

Twitter



↘ La transition énergétique est lancée



- 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

La transition énergétique est lancée.

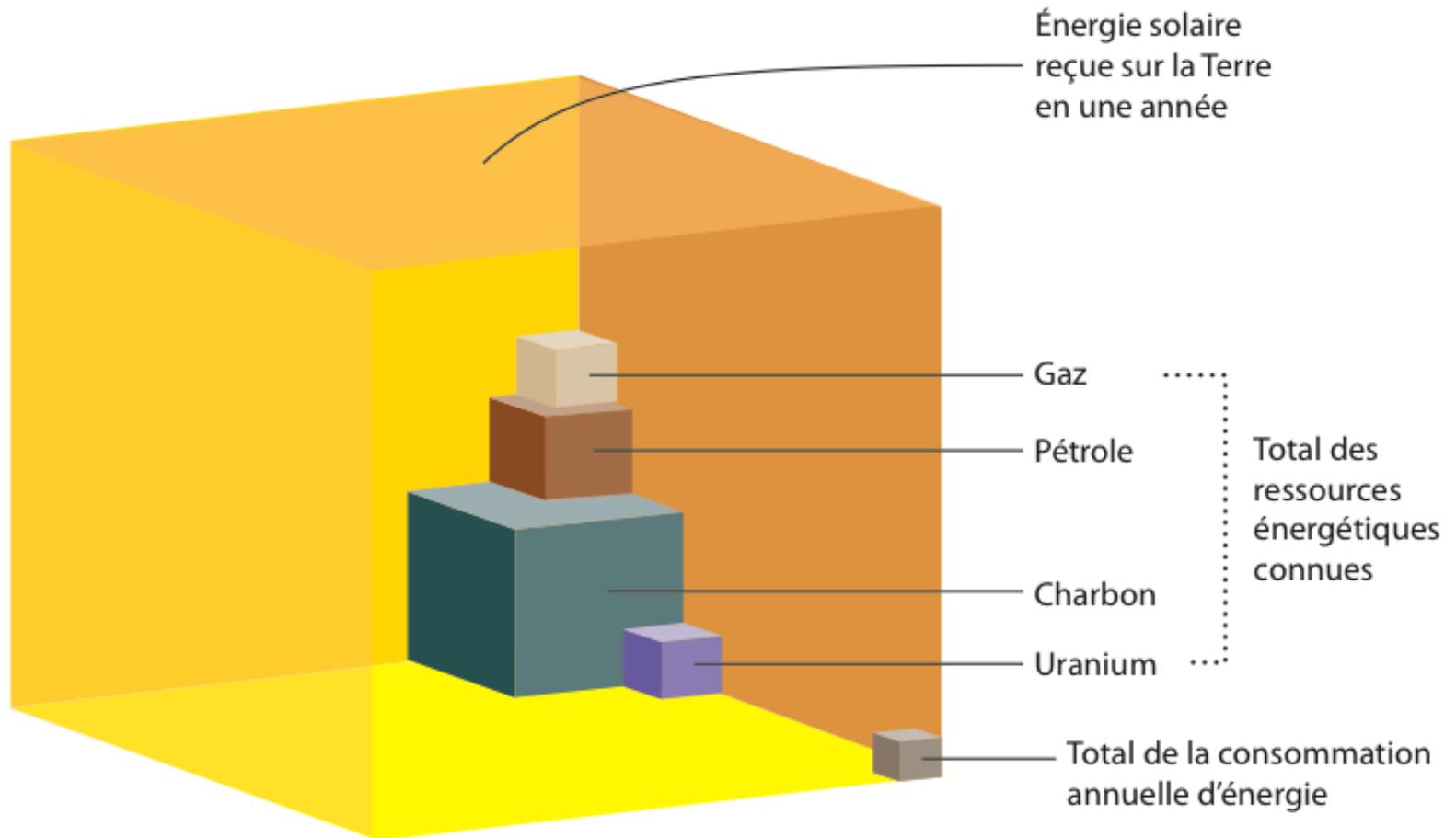
Il faut désormais passer rapidement à la vitesse supérieure.



02.

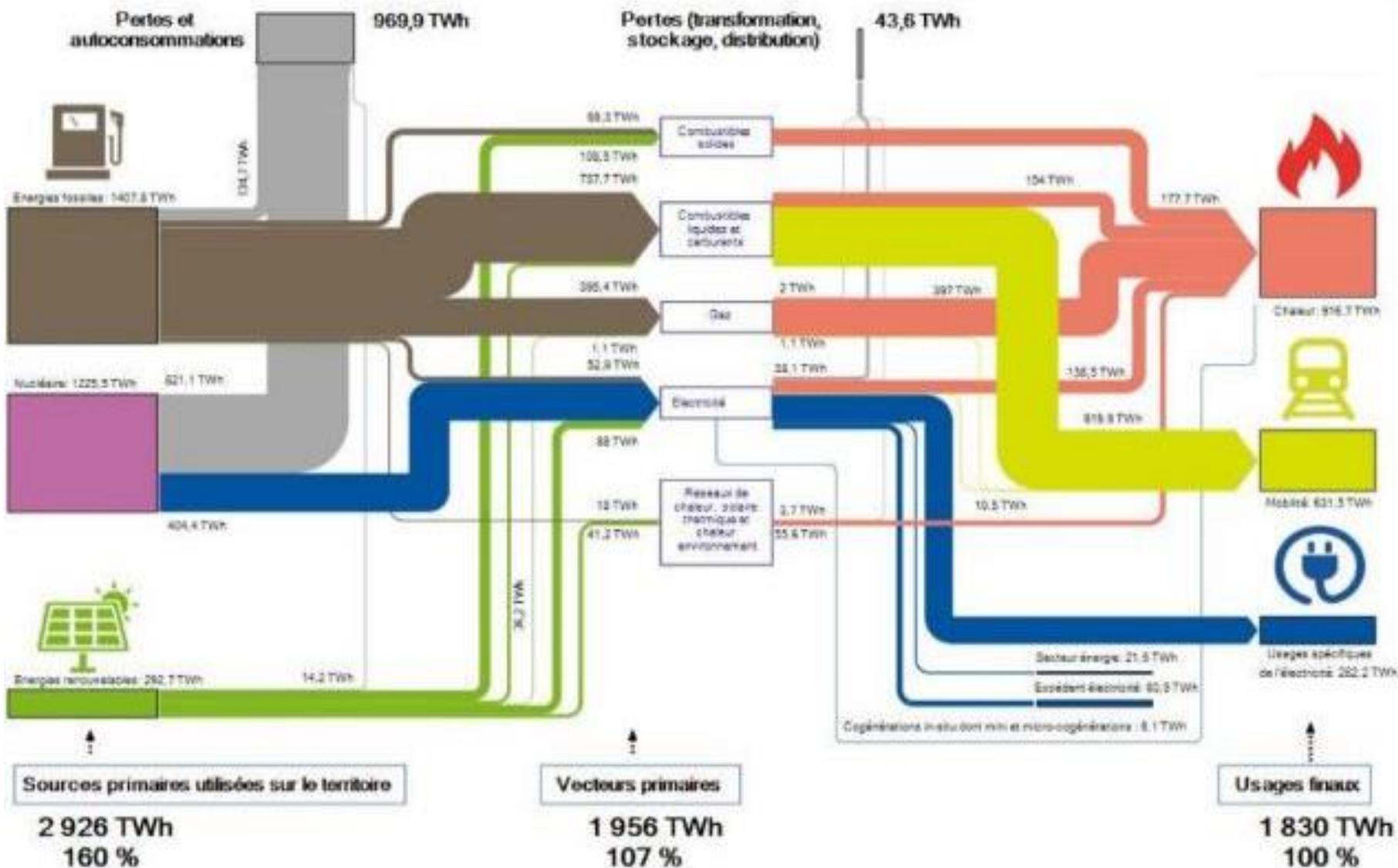
Énergie : quelques notions

↳ Les renouvelables : des énergies de flux

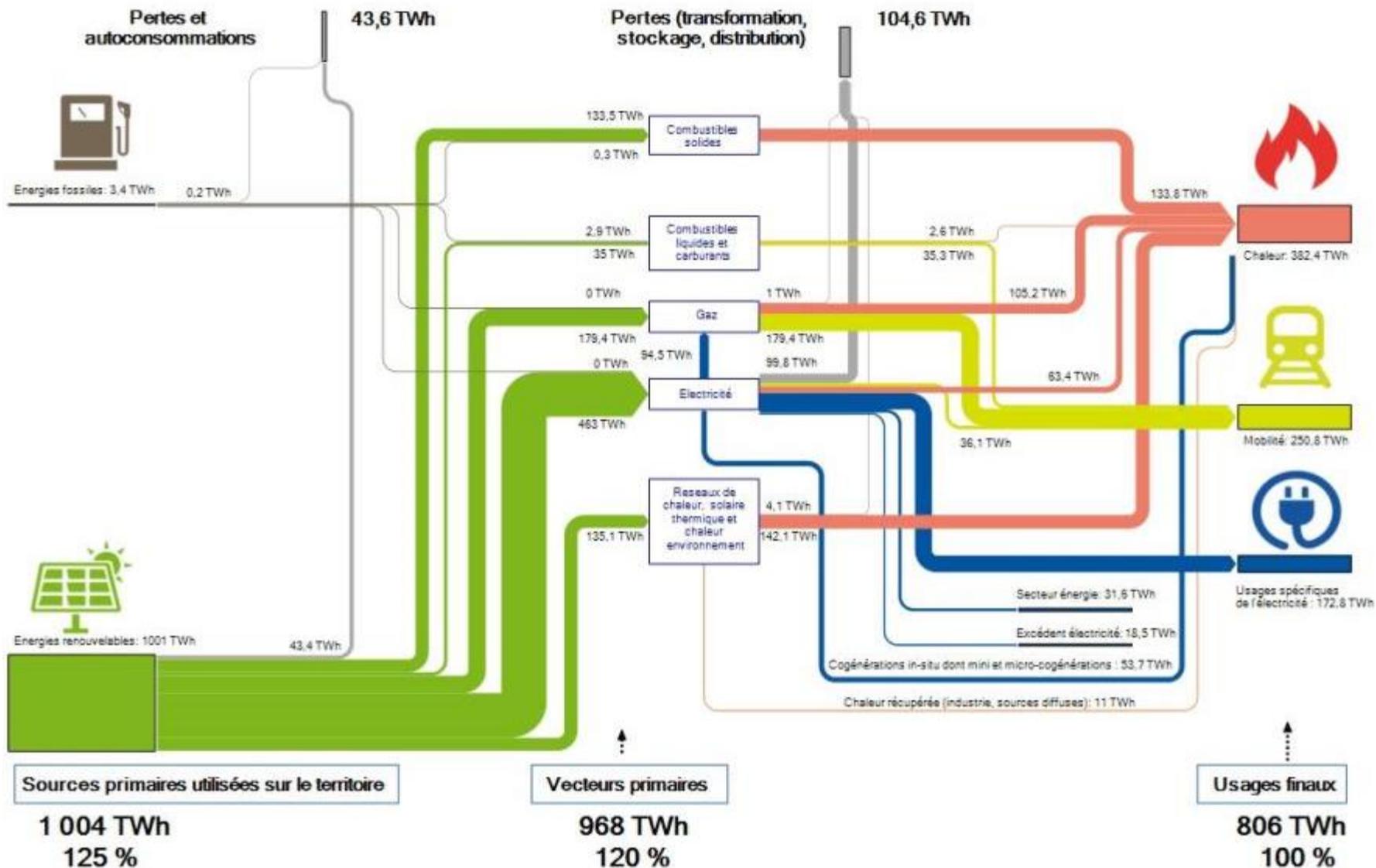


Représentation des quantités d'énergies disponibles sur Terre

↳ Bilan énergétique : année de référence 2015



↳ Bilan énergétique : scénario négaWatt, année 2050



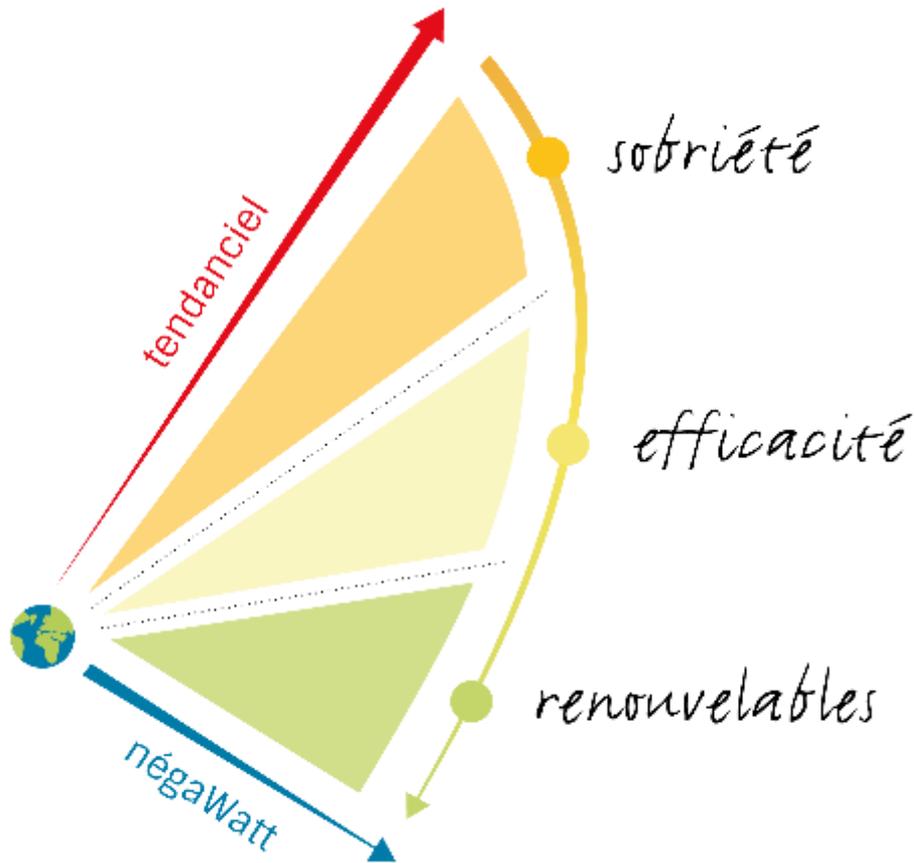


03.

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



La sobriété énergétique

Sobriété

- 
- > mortification, pénitence, austérité, ascèse, sévérité,
 - > frugalité, stoïcisme
 - > Discrétion, douceur, réduction, sagesse, modération, retenue, tempérance, circonspection, économie, mesure, épicurisme
 - > abus, disproportion, immodération, gloutonnerie, hédonisme, pléthore,
 - > outrance, gaspillage, excès, violence, débauche, exaction

Synonymes et antagonismes selon le Petit Robert (source : Christian Couturier)

Un nouveau regard sur nos besoins



BESOINS

Nécessaires

Vitaux

Essentiels

Indispensables

Utiles

Accessoires

Superflus

Futiles

Extravagants

Inacceptables

Nuisibles

www.transavia.com

Ne passez jamais vos week-ends au même endroit.

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

↘ Un nouveau regard sur nos besoins



BESOINS

Nécessaires

Vitaux

Essentiels

Indispensables

Utiles

Accessoires

Superflus

Futiles

Extravagants

Inacceptables

Nuisibles



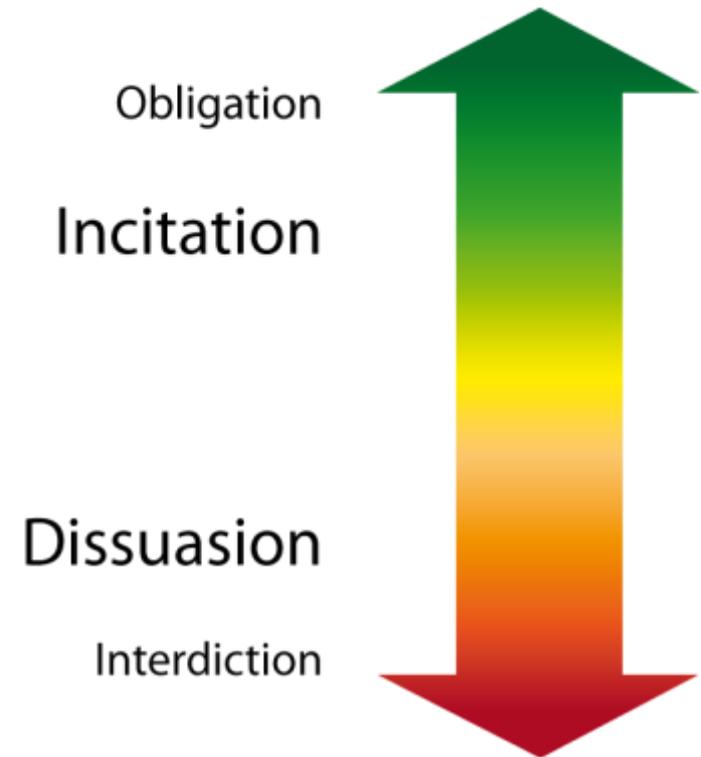
↘ Un nouveau regard sur nos besoins



BESOINS



RÉGULATIONS



L'interdiction des ampoules halogènes repoussée à 2018

Les ampoules halogènes devaient disparaître du marché en septembre 2015; seules les ampoules fluocompactes (LFC) et LED de classe énergétique A ou B devaient rester commercialisées. Mais ce 17 avril, la Commission Européenne a voté le report de l'interdiction des ampoules halogènes à septembre 2018.

↳ Sobriété ou ébriété énergétique ?



1

Sobriété dimensionnelle



Taille, juste dimensionnement

Exemples :

- Surface chauffée
- Poids d'une voiture

1

Sobriété dimensionnelle

Taille, juste dimensionnement

2

Sobriété d'usage

Niveau et durée d'utilisation et d'exploitation



Exemples :

- Arrêt des appareils inutiles
- Vitesse sur autoroute

↳ Sobriété

○ La consommation d'une automobile est fonction :

- Son poids
 - Sa vitesse
- Energie consommée = masse * vitesse

La sobriété dimensionnelle : le juste dimensionnement (masse).

La sobriété d'usage : la bonne utilisation (vitesse).



○ La consommation d'un logement est fonction de :

- sa surface
- sa température



C'est la sobriété dimensionnelle : le juste dimensionnement (surface).

C'est aussi la sobriété d'usage : la bonne utilisation (température).

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

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



L'efficacité énergétique

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

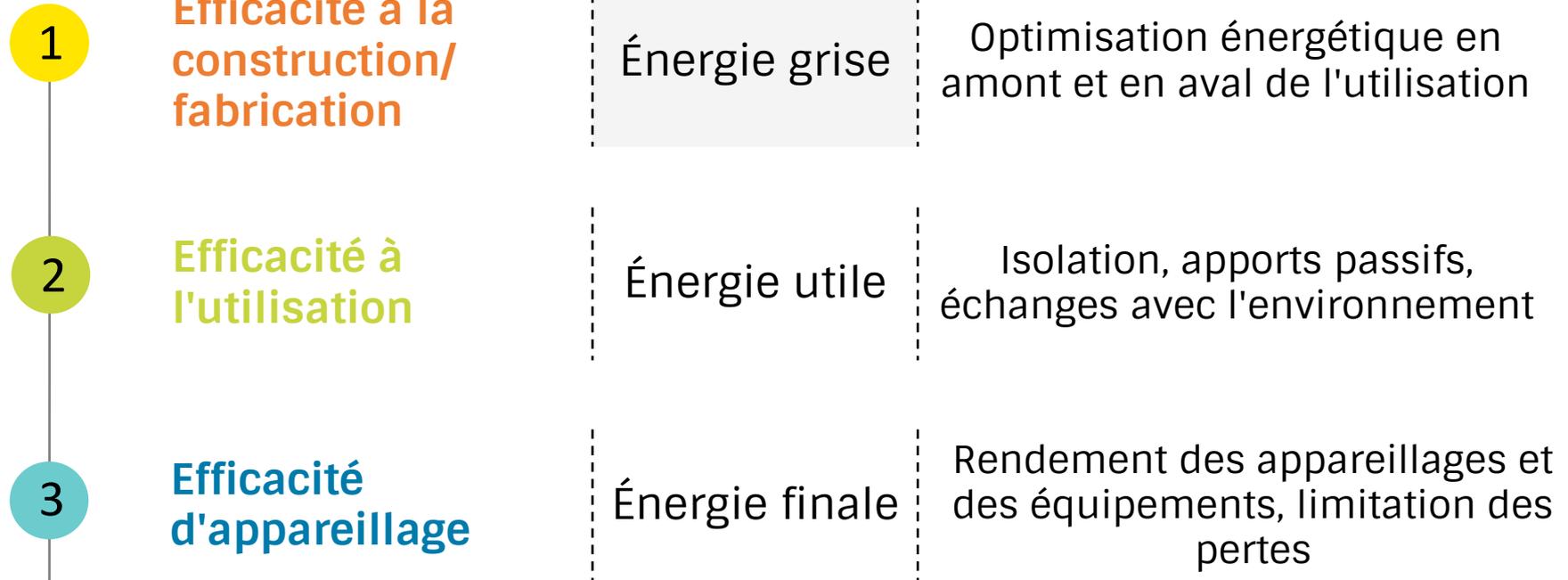
Énergie utile

Isolation, apports passifs, échanges avec l'environnement

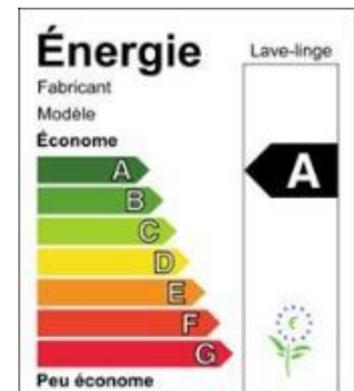
- Exemple : isolation des logements



↘ Les quatre efficacités



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



↳ L'efficacité

- Un superbe outil d'information,
- Pour se décider.
- Et un outil vertueux.

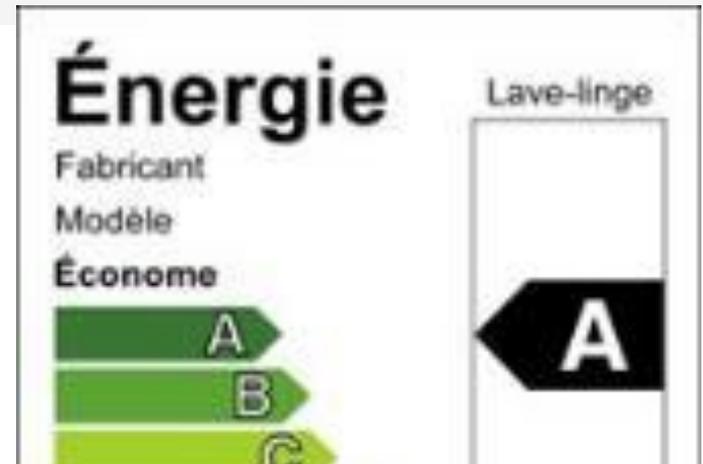
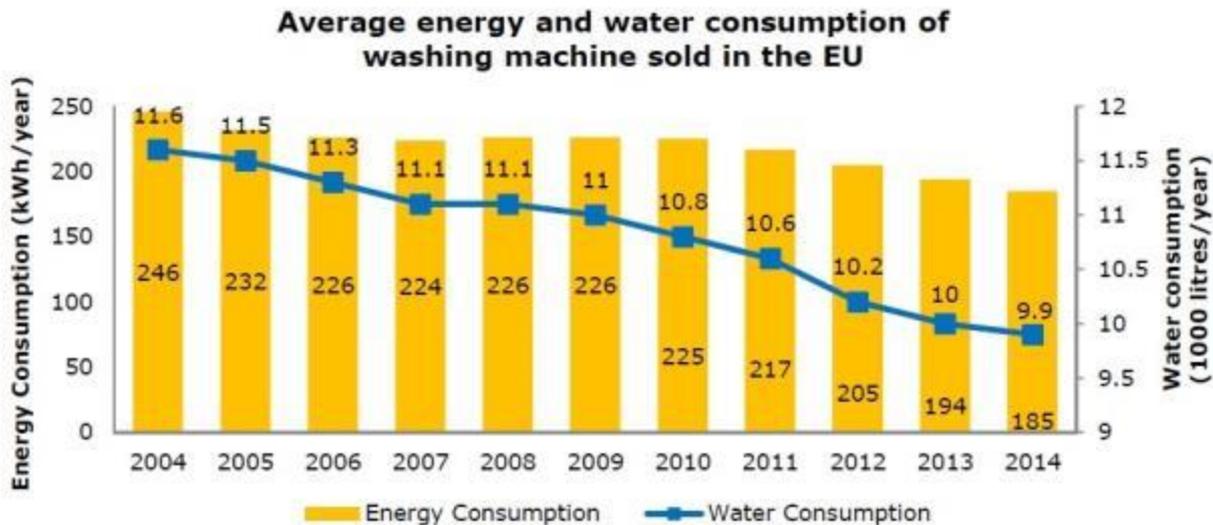
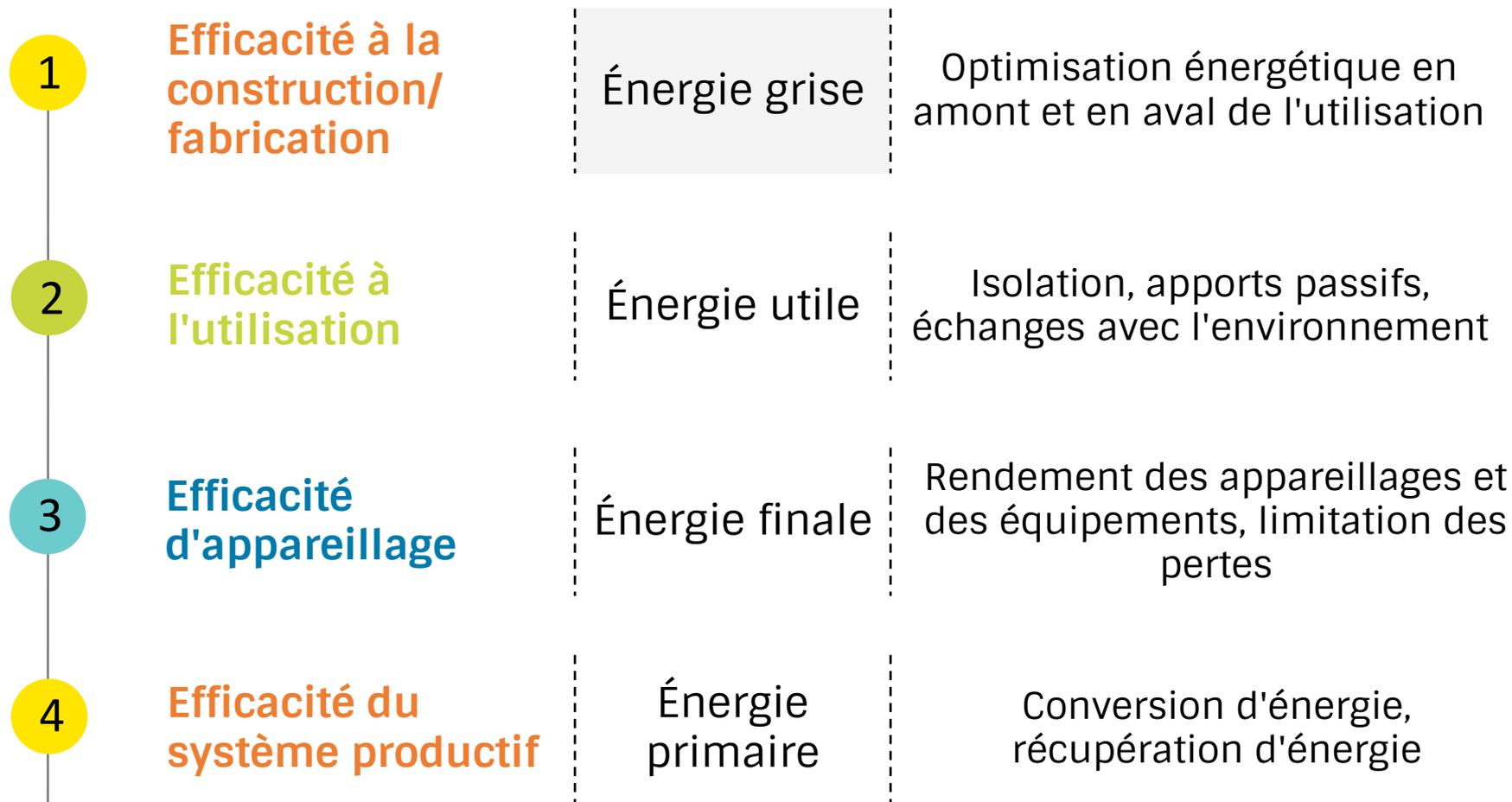


Figure 78: Average energy and water consumption of washing machine sold in the EU (21 countries), 2004-2014. Source: topten.eu from GfK [18]

Energy Consumption and
Energy Efficiency Trends in the EU-28
2000-2014



↘ Les quatre efficacités



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



Scénario négaWatt

2017-2050



○ 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*

↘ Principaux points clés du scénario nW



- 1. Une politique volontariste de sobriété et d'efficacité énergétique pour réduire de 2/3 la demande d'énergie primaire.**
- 2. 99,7% de part des énergies renouvelables.**
- 3. Une division par 2 des émissions de CO₂ énergie en 2030, par plus de 10 en 2050 et un cumul des émissions compatible avec le « +2° C ».**
- 4. L'arrêt de la production nucléaire en 2035.**



04.

La demande d'énergie

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

↳ Résidentiel et tertiaire : enjeux et objectifs



- Environ 45 % de la consommation finale
- Environ 30 millions de logements, mais seulement 30 000 détruits par an → 1000 ans pour renouveler le parc
- 300 000 logements neufs par an

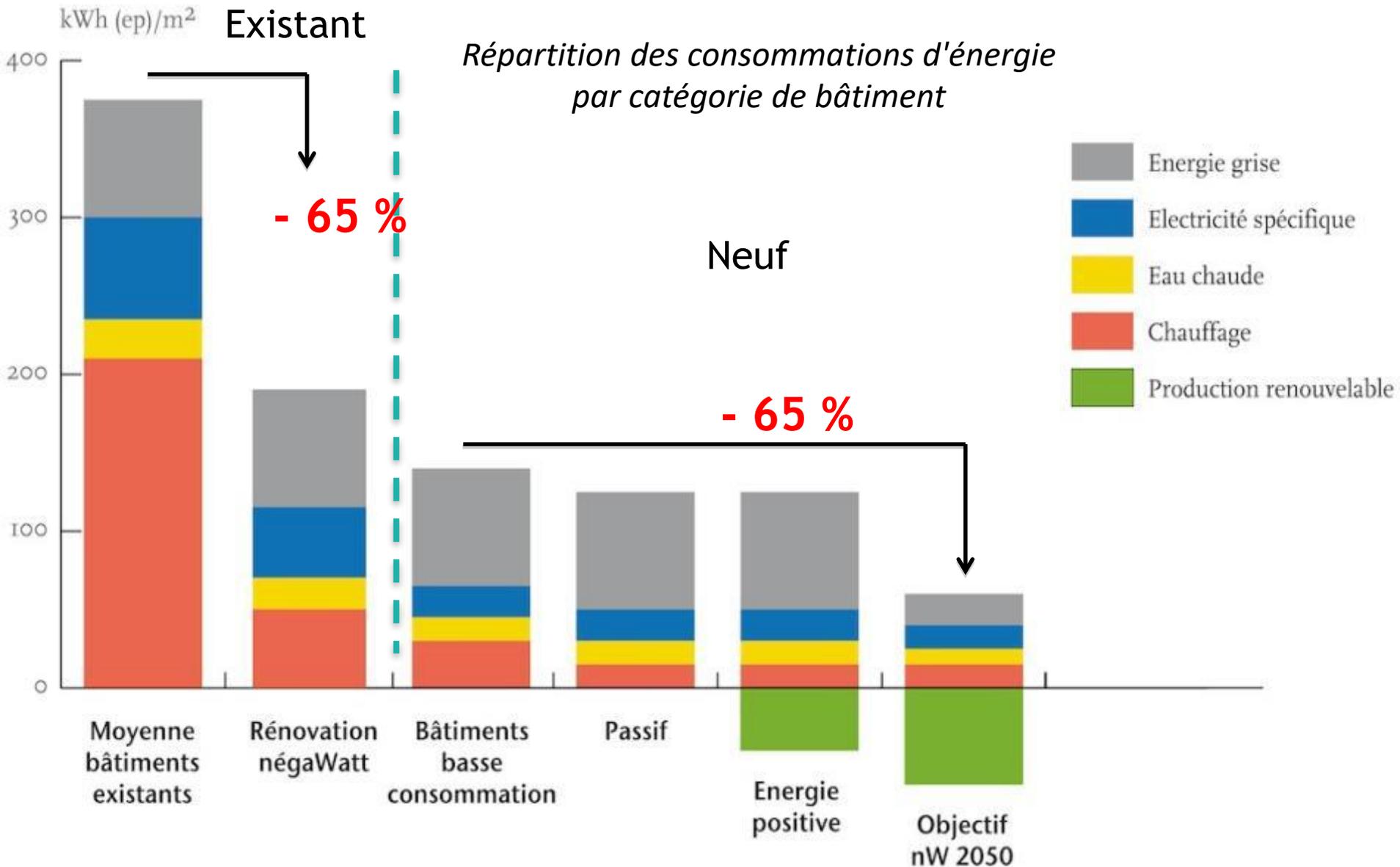
↘ Un grand programme de rénovations performantes



- 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
- Rendre la rénovation obligatoire, avec un accompagnement technique et financier



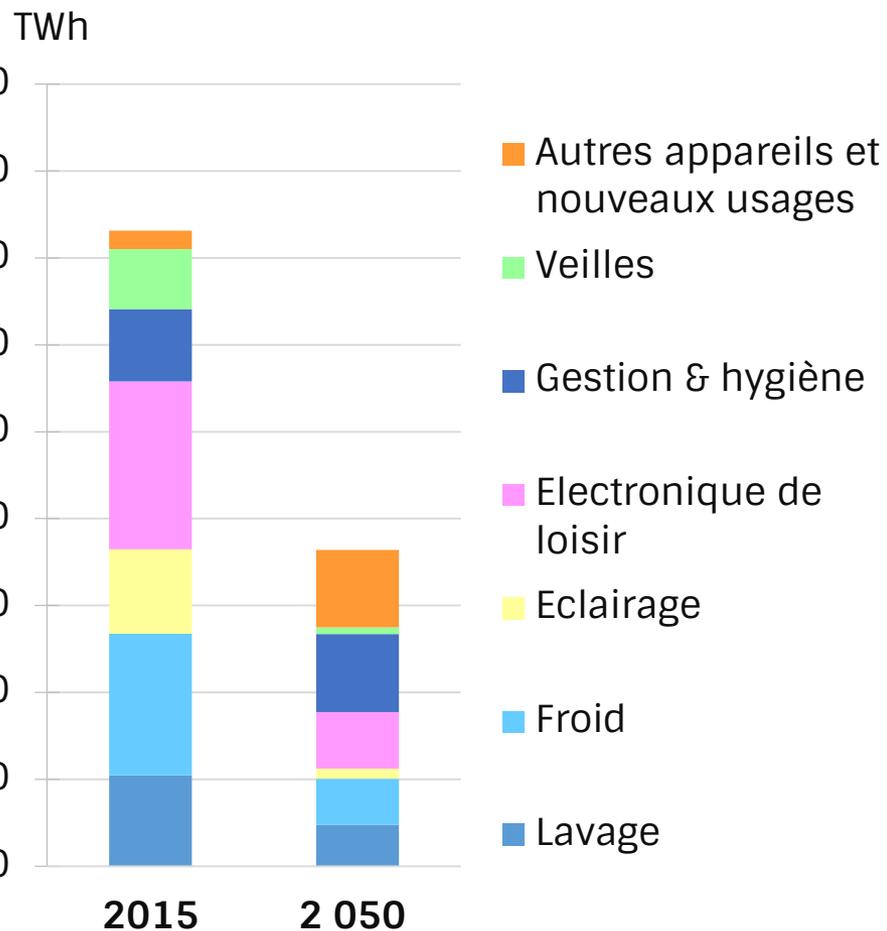
↳ Résidentiel : efficacité



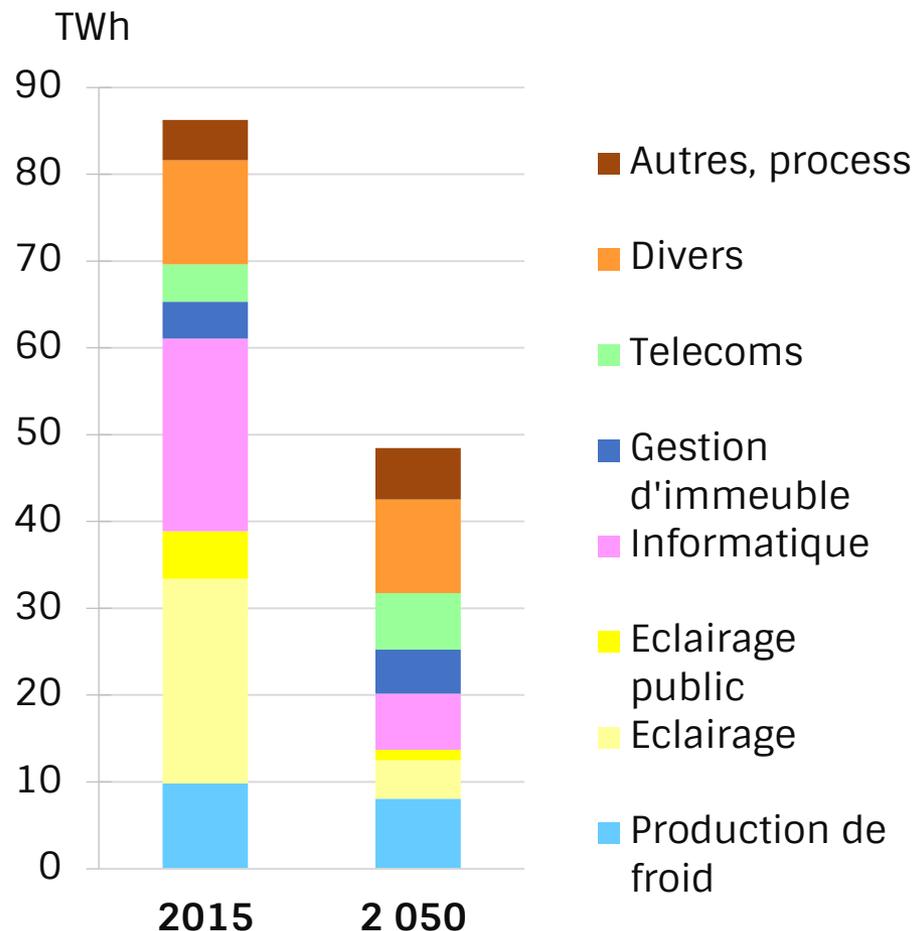
Une division par 2 des consommations d'électricité



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 %

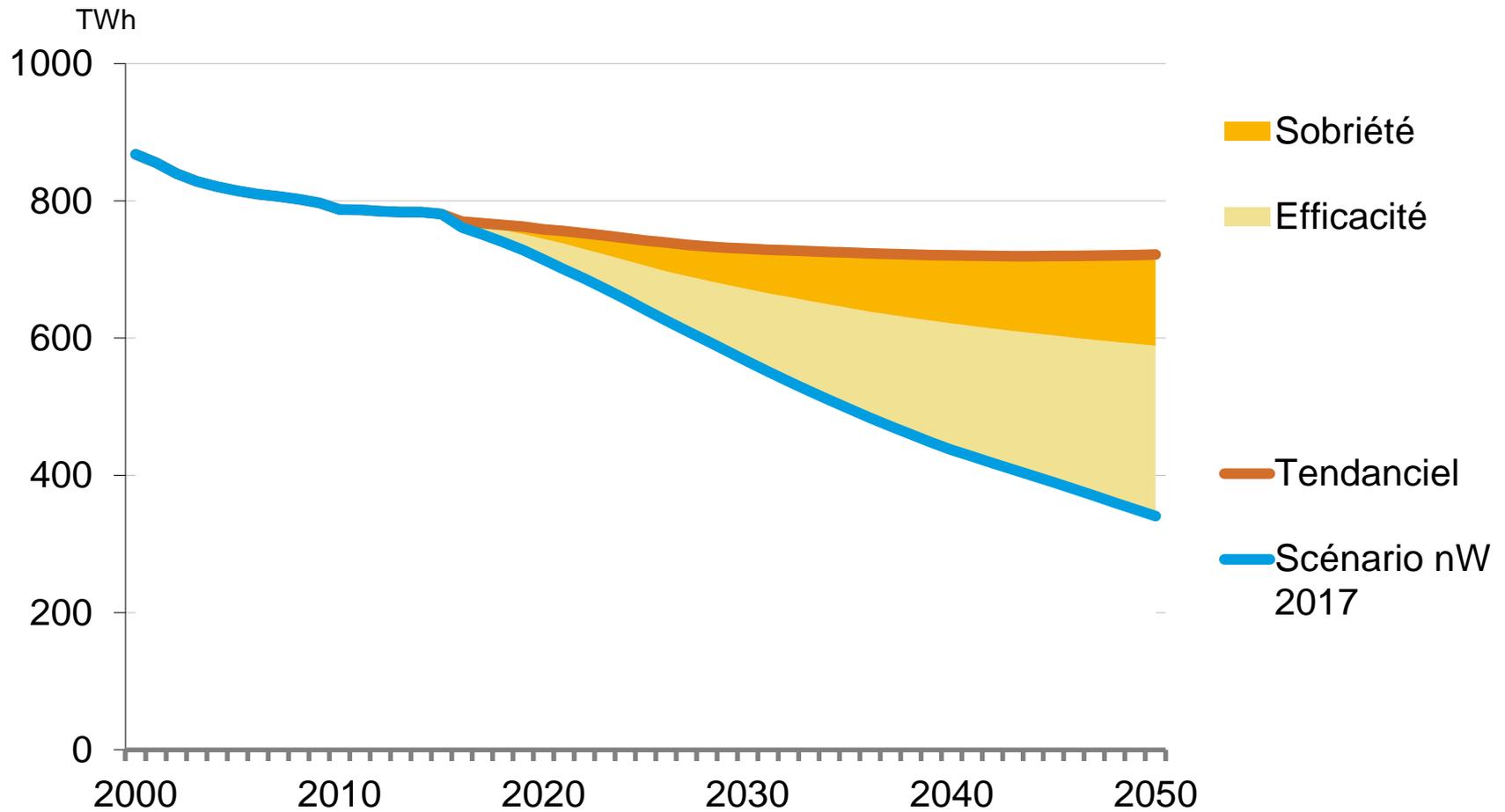
○ Informatique :

- 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





04.

La demande d'énergie

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

- 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

↳ Émissions de CO2 selon moyen de transport



Transport

- Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation essence : 259 g CO₂éq/km
- TGV, Train Grande Vitesse (France) : 3,69 g CO₂éq/passager.km
- Métro (Paris) : 5,70 g CO₂éq/passager.km
- Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 0-1000 km : 293 g CO₂éq/passager.km

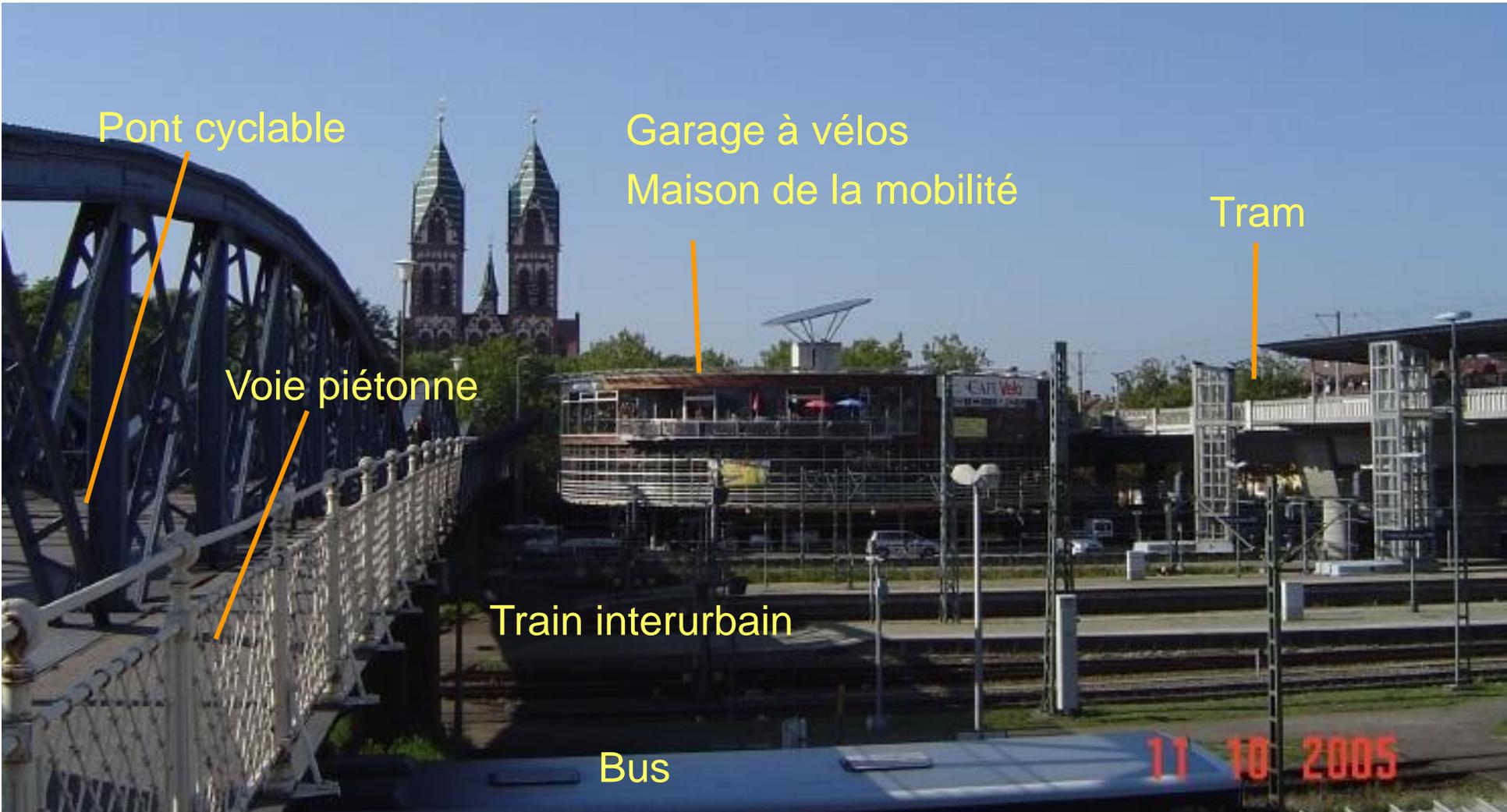
Commissariat général au développement durable



Chiffres clés du climat
France, Europe et Monde

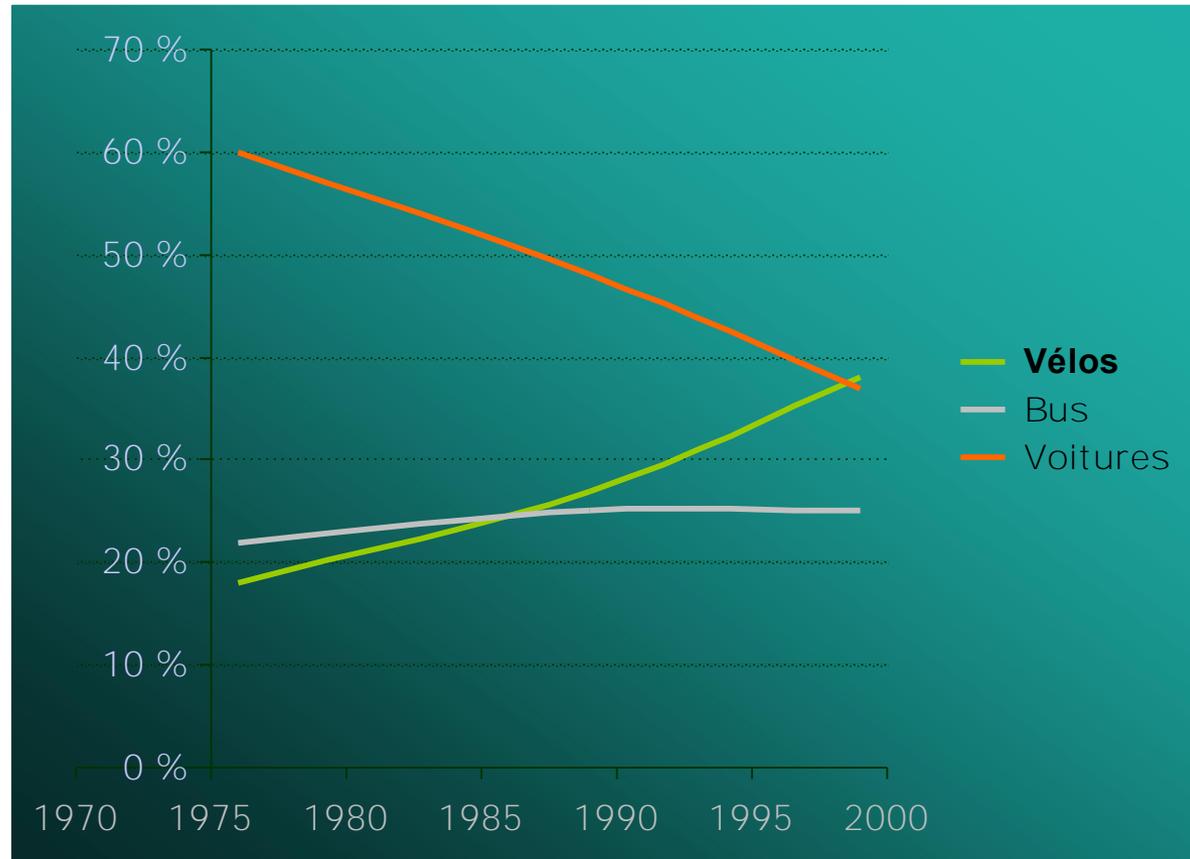
ÉDITION 2018

↘ Multimodalité



Freiburg : priorité aux transports sobres

- En 25 ans, les déplacements en voiture ramenés de 60 % à 37 %



○ 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

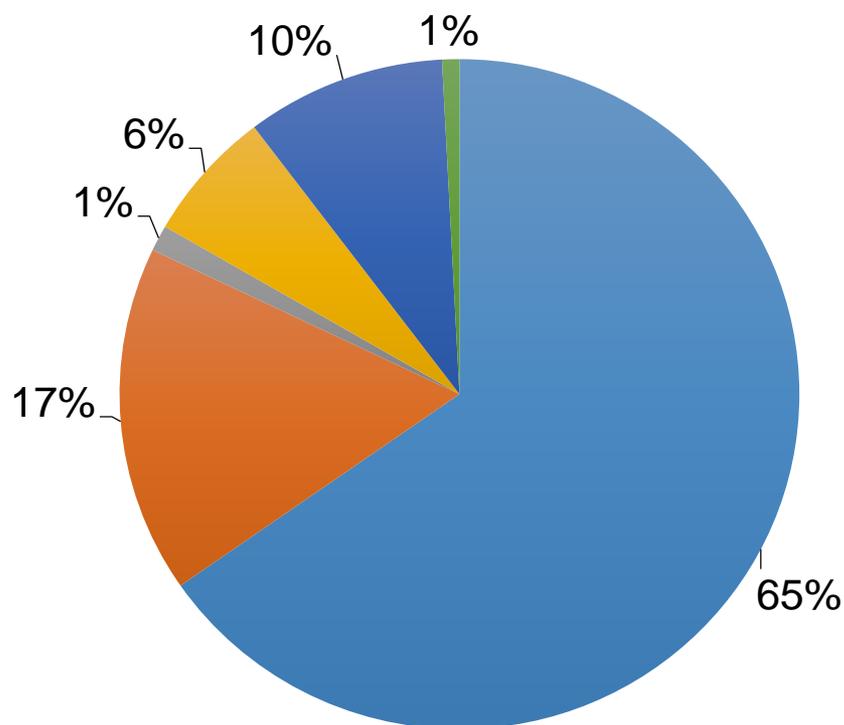
- **Consommation moyenne du parc : - 58 % entre 2015 et 2050**

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

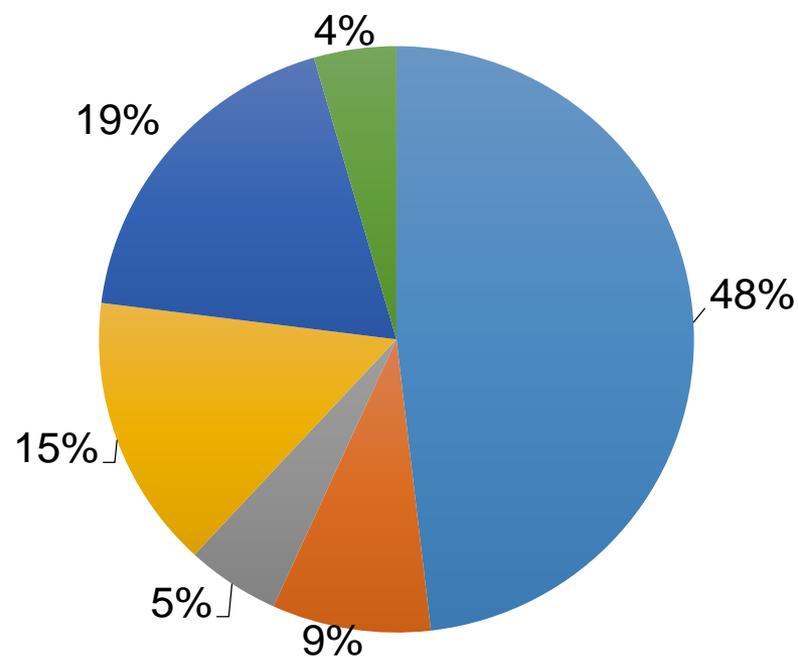
- **Du gaz dans la majorité des véhicules routiers**
 - › Aucune rupture technologique
 - › Valorisation du gaz d'origine renouvelable
 - › Impacts positifs sur la qualité de l'air
- **Des véhicules électriques adaptés à leur environnement**
 - › Principalement en milieu urbain, en autopartage
 - › Occasionnellement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

↘ Mobilité des personnes : principales hypothèses

2015 : 17 200 km / hab / an



2050 : 14 600 km / hab / an



■ Voiture

■ Avion

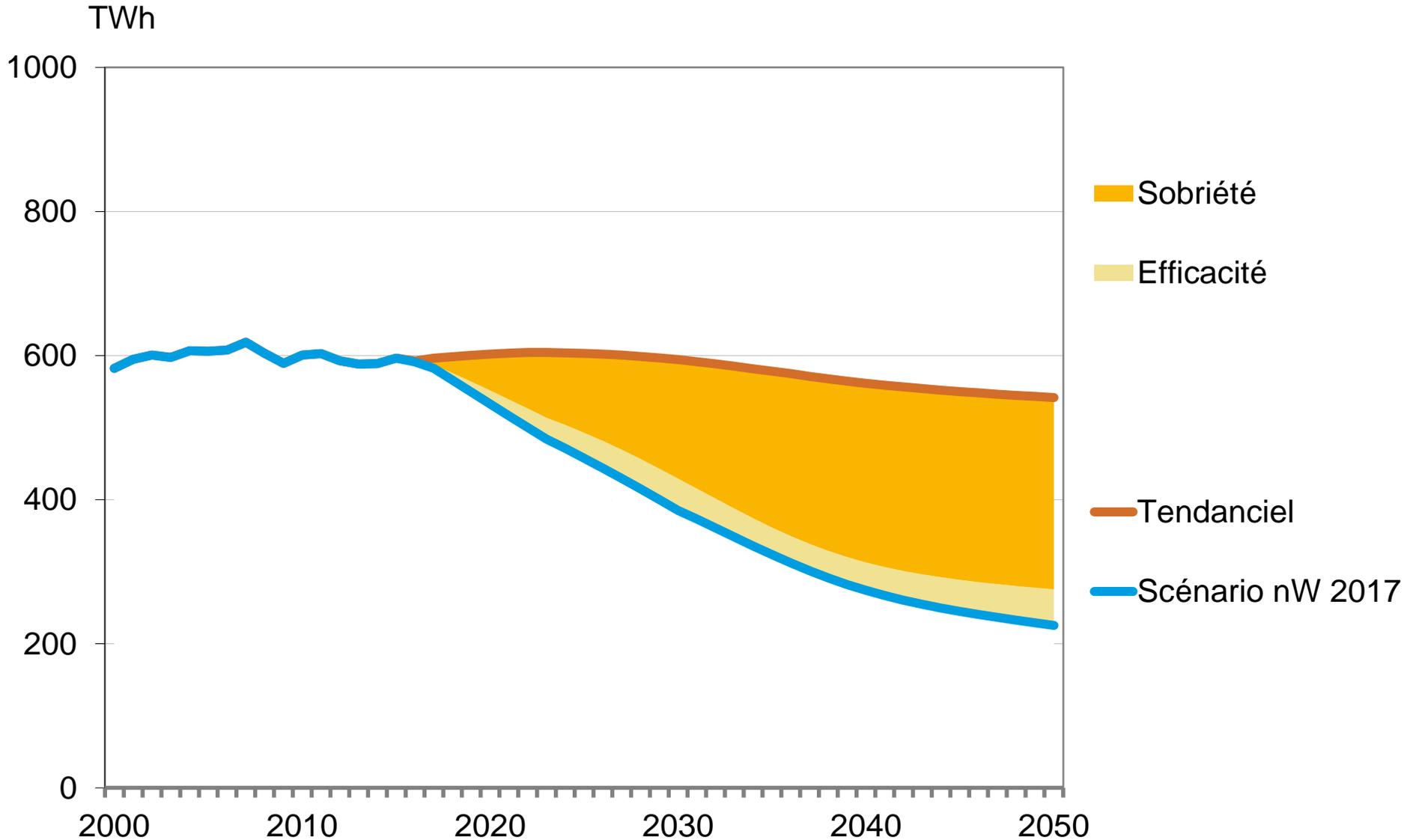
■ 2RM

■ TC - route

■ TC - fer

■ Modes actifs

↘ - 60% d'énergie finale dans les transports

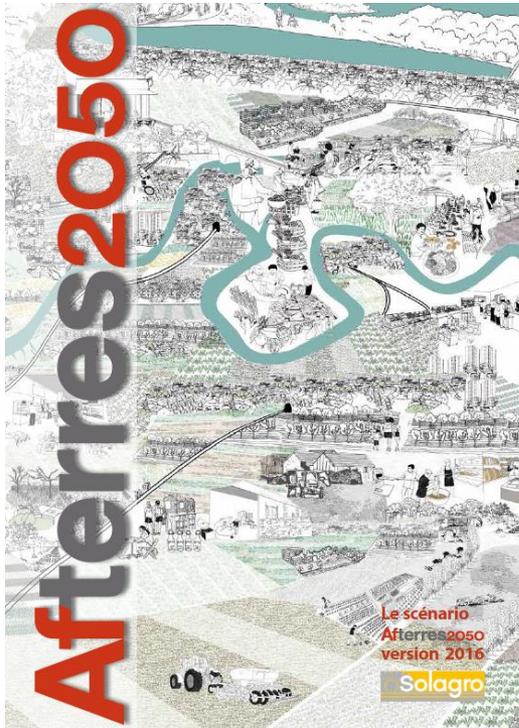




04.

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

COUVERTS VÉGÉTAUX

ROTATION INTÉGRANT DES LÉGUMINEUSES

TECHNIQUES CULTURALES SIMPLIFIÉES

SEMIS DIRECT SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE

PRÉS-VERGER

SEMENCE PAYSANNE





05.

La production d'énergie

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

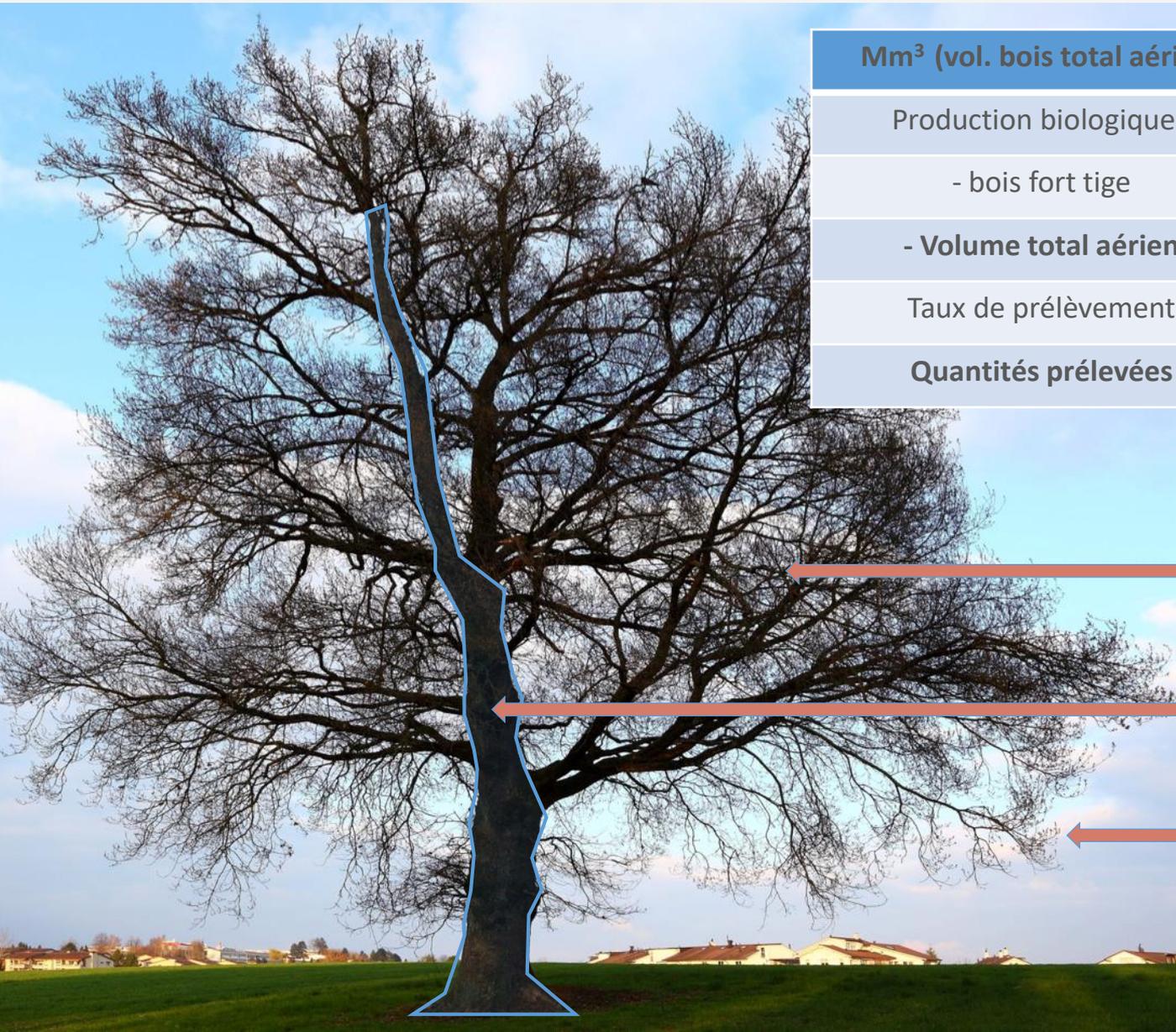


La biomasse





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



05.

La production d'énergie

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



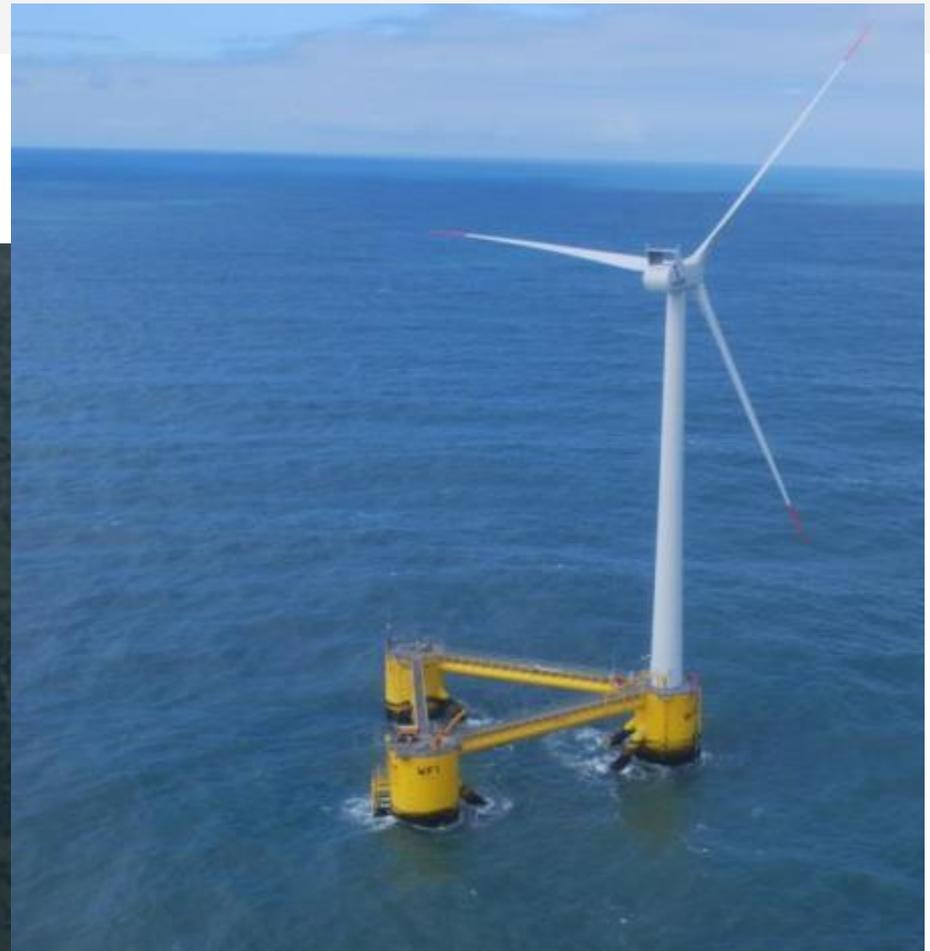
Le vent



↘ Eolien en mer planté



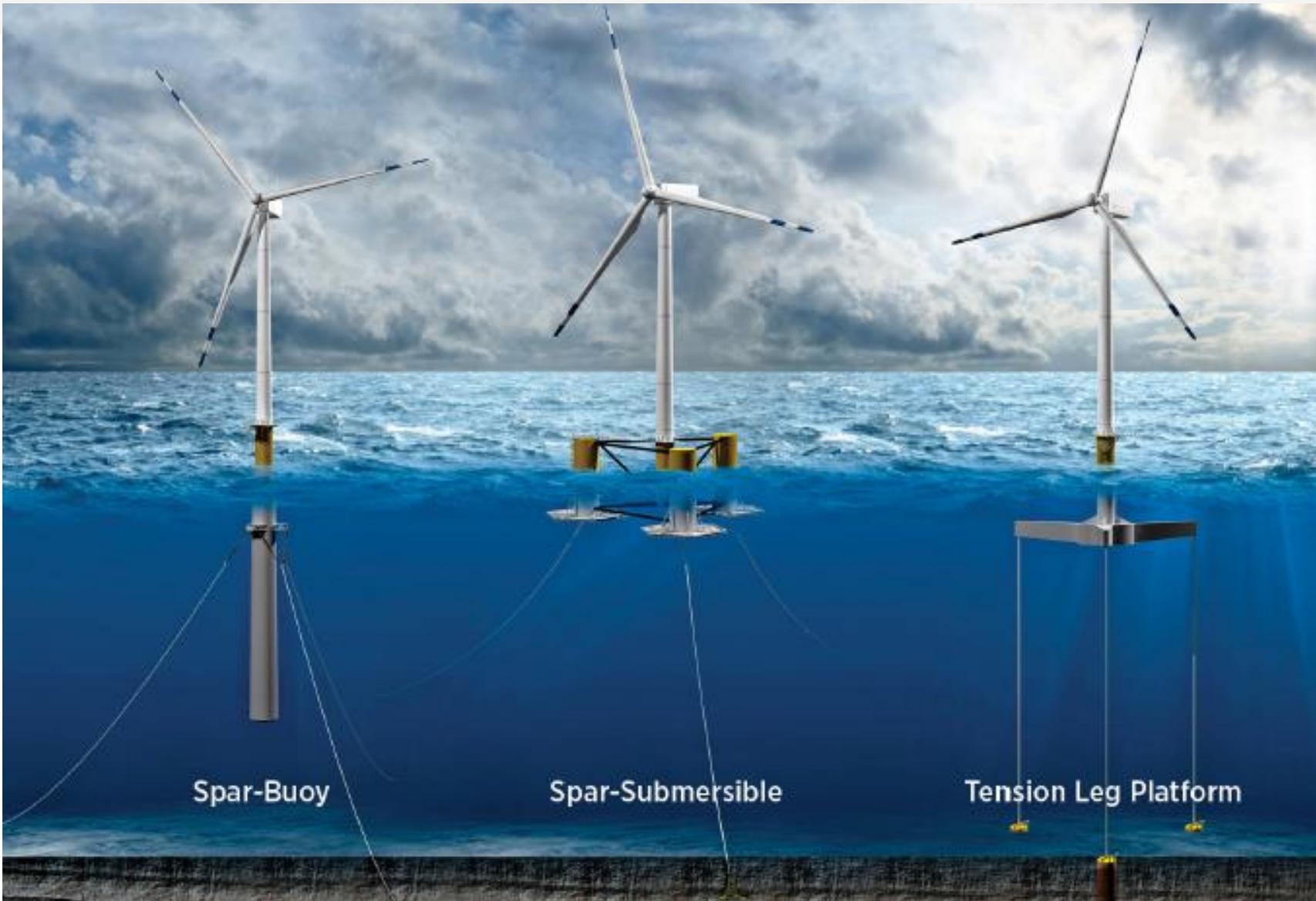
↘ Eolien en mer flottant



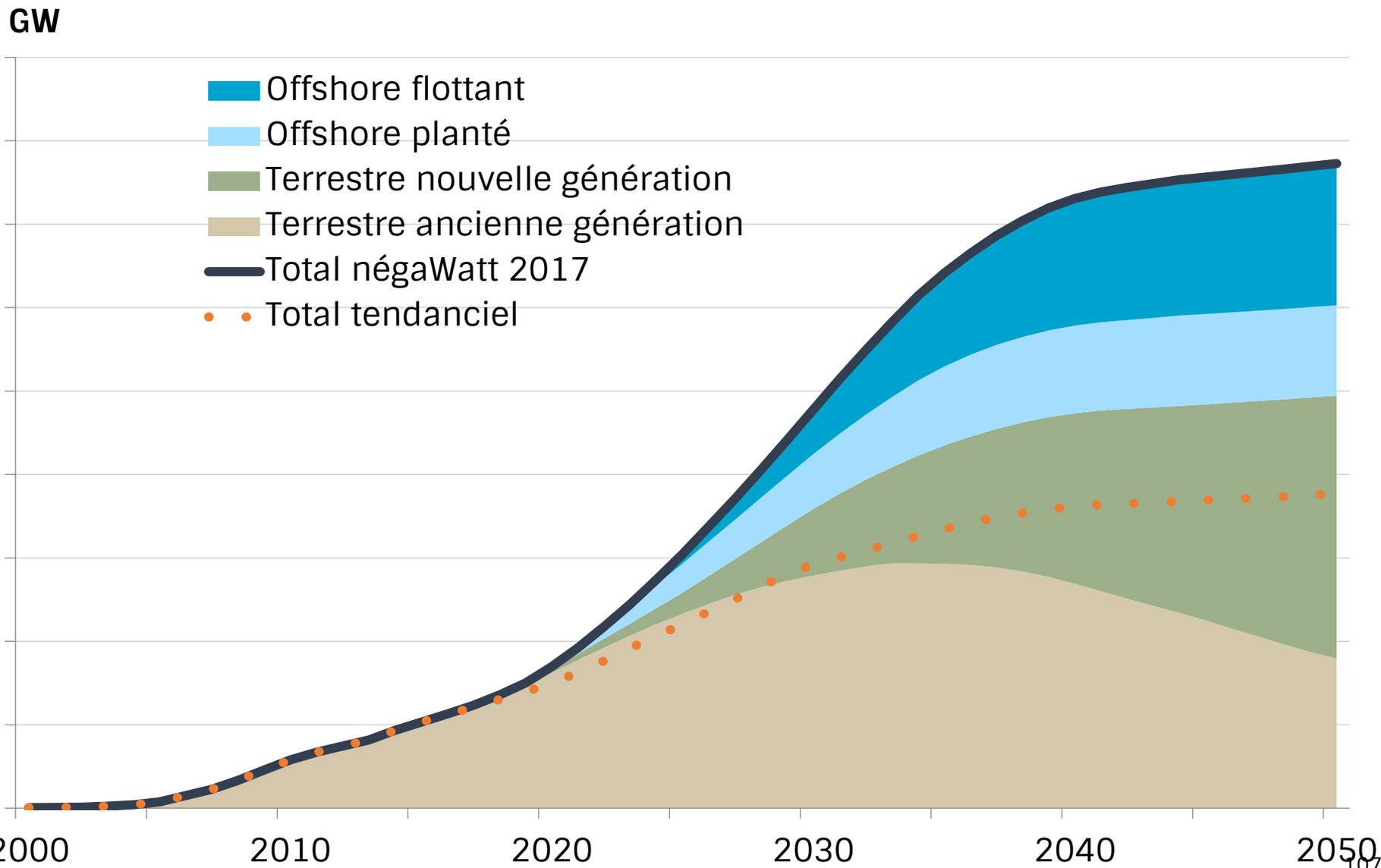
Projets éoliens en Occitanie (2 parcs éoliens de 4 x 2 MW)

↘ Eolien en mer flottant

X



Éolien : 80 GW, 250 TWh en 2050





Focus sur l'éolien



↳ Pourquoi l'énergie éolienne ?



DRAWDOWN



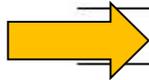
email sign up

donate

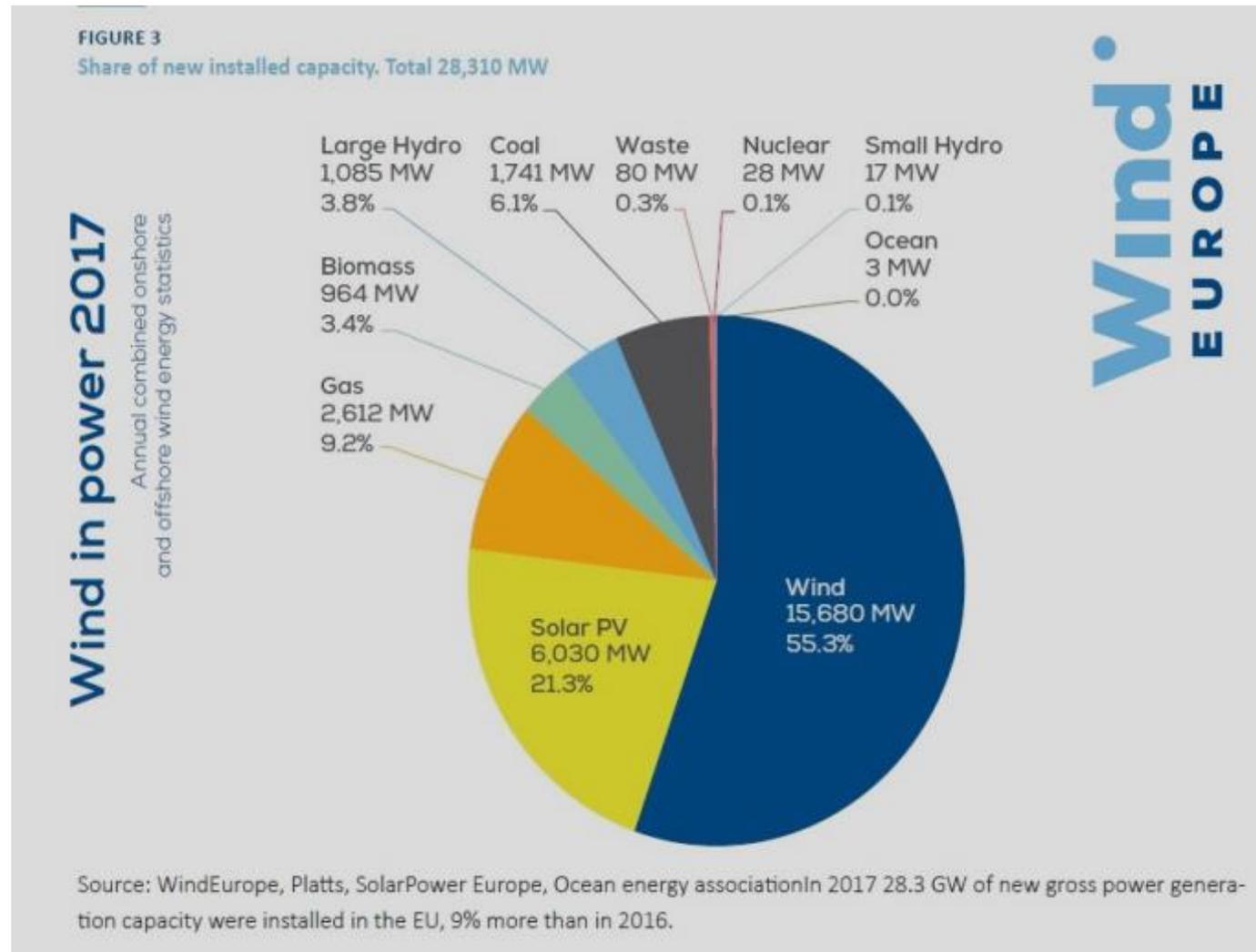


Solutions by Rank

Rank	Solution	Sector	TOTAL ATMOSPHERIC CO2-EQ REDUCTION (GT)	NET COST (BILLIONS US \$)	SAVINGS (BILLIONS US \$)
1	Refrigerant Management	Materials	89.74	N/A	\$-902.77
2	Wind Turbines (Onshore)	Electricity Generation	84.60	\$1,225.37	\$7,425.00
3	Reduced Food Waste	Food	70.53	N/A	N/A
4	Plant-Rich Diet	Food	66.11	N/A	N/A
5	Tropical Forests	Land Use	61.23	N/A	N/A
6	Educating Girls	Women and Girls	59.60	N/A	N/A
7	Family Planning	Women and Girls	59.60	N/A	N/A
8	Solar Farms	Electricity Generation	36.90	\$-80.60	\$5,023.84
9	Silvopasture	Food	31.19	\$41.59	\$699.37
10	Rooftop Solar	Electricity Generation	24.60	\$453.14	\$3,457.63

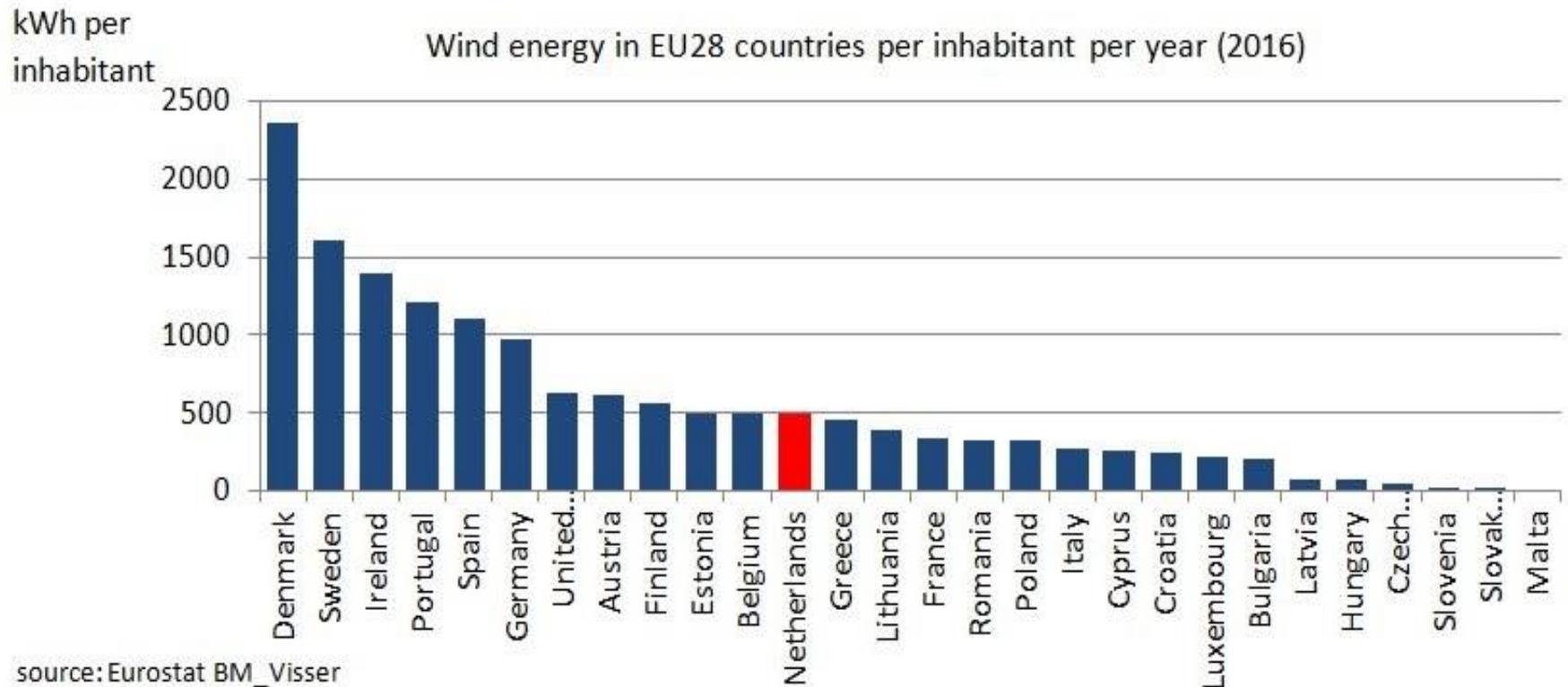


➤ Nouvelles capacités électriques en Europe en 2017



↘ L'énergie éolienne en Europe

Production éolienne par habitant par pays UE 28 (2016)



source: Eurostat BM_Visser

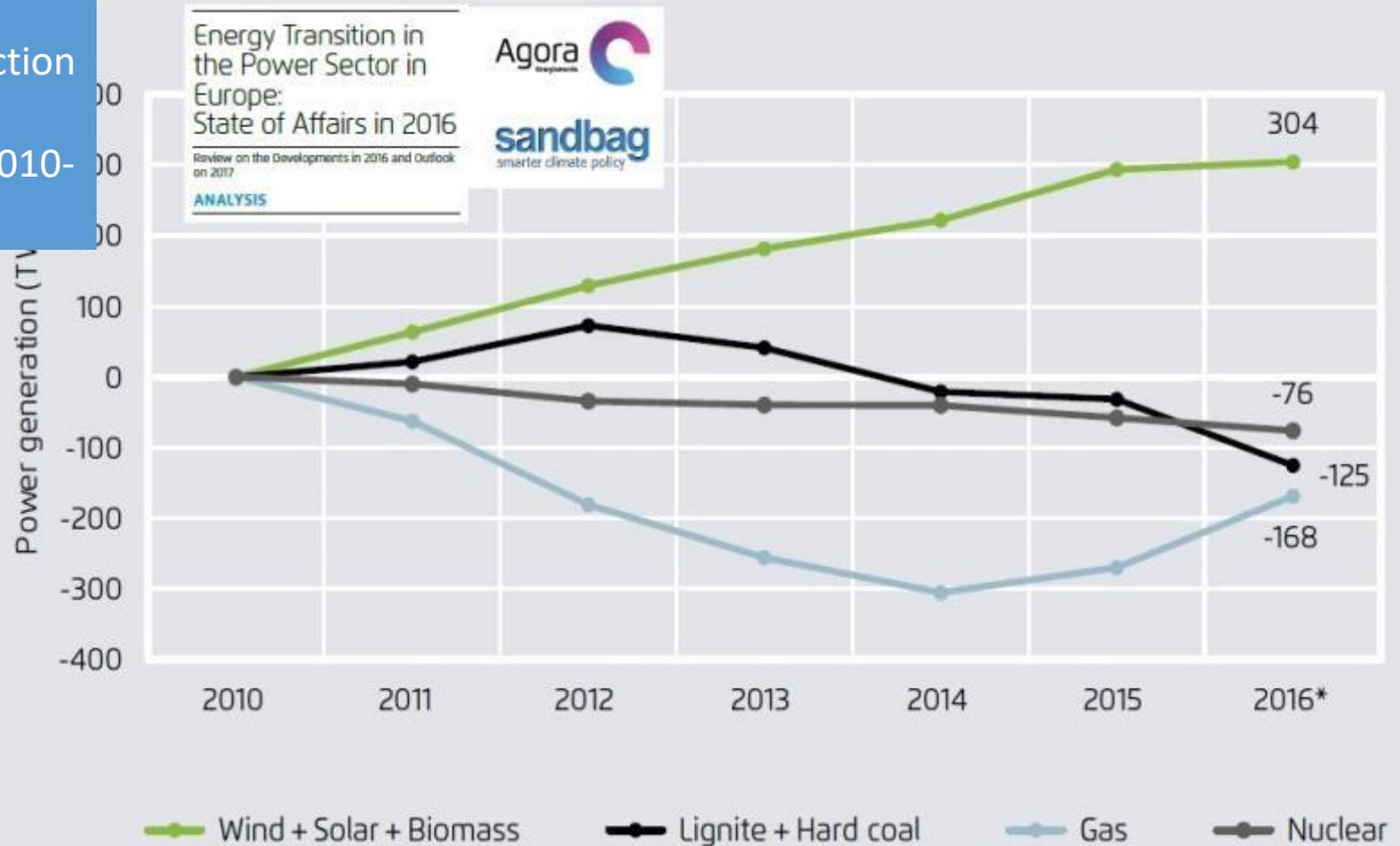
↘ Changements dans la production électrique UE



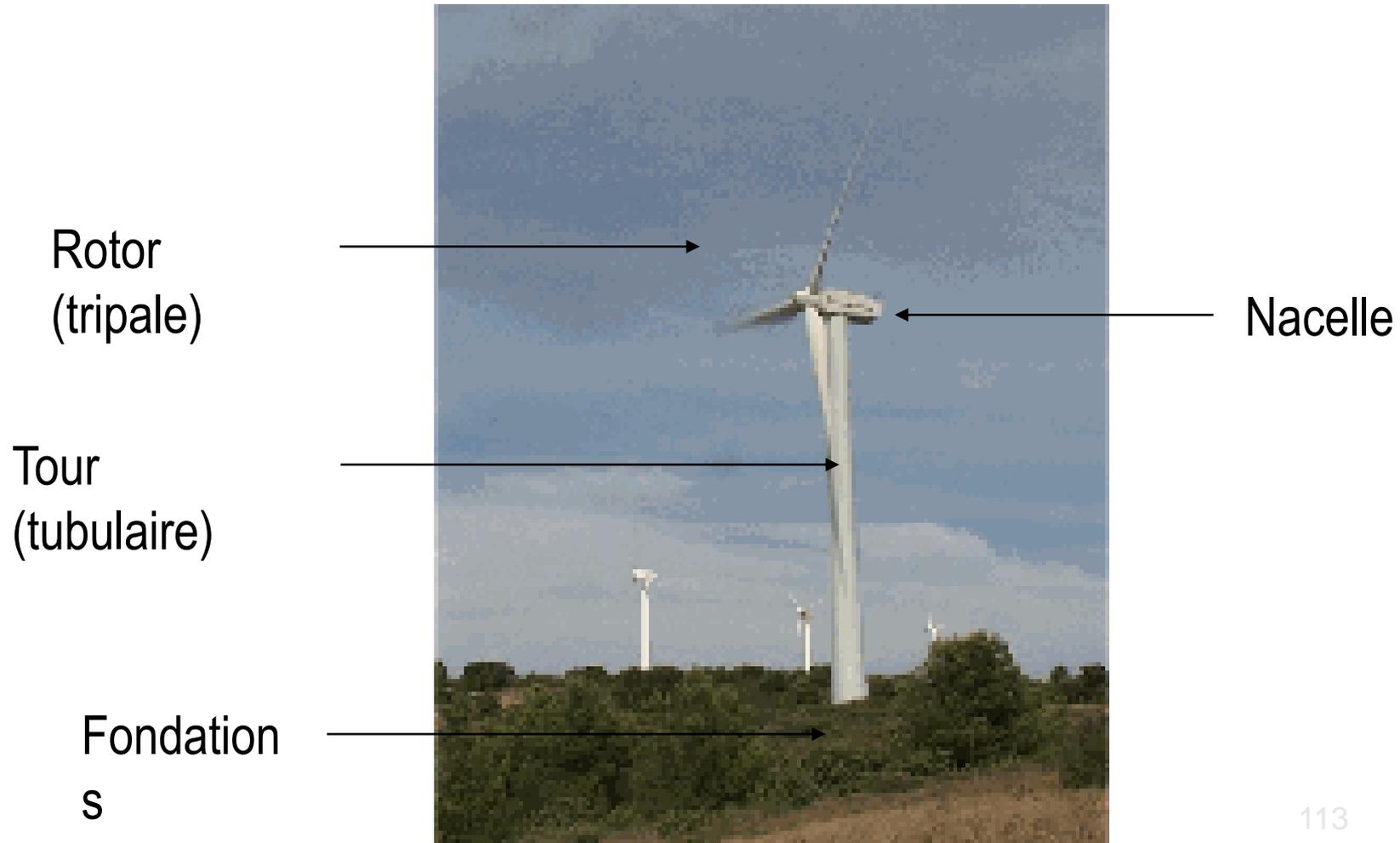
Change of electricity production since 2010

Figure 18

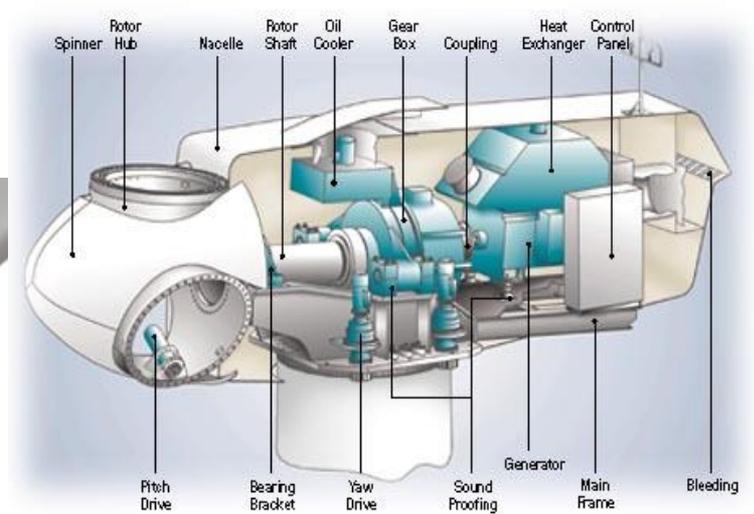
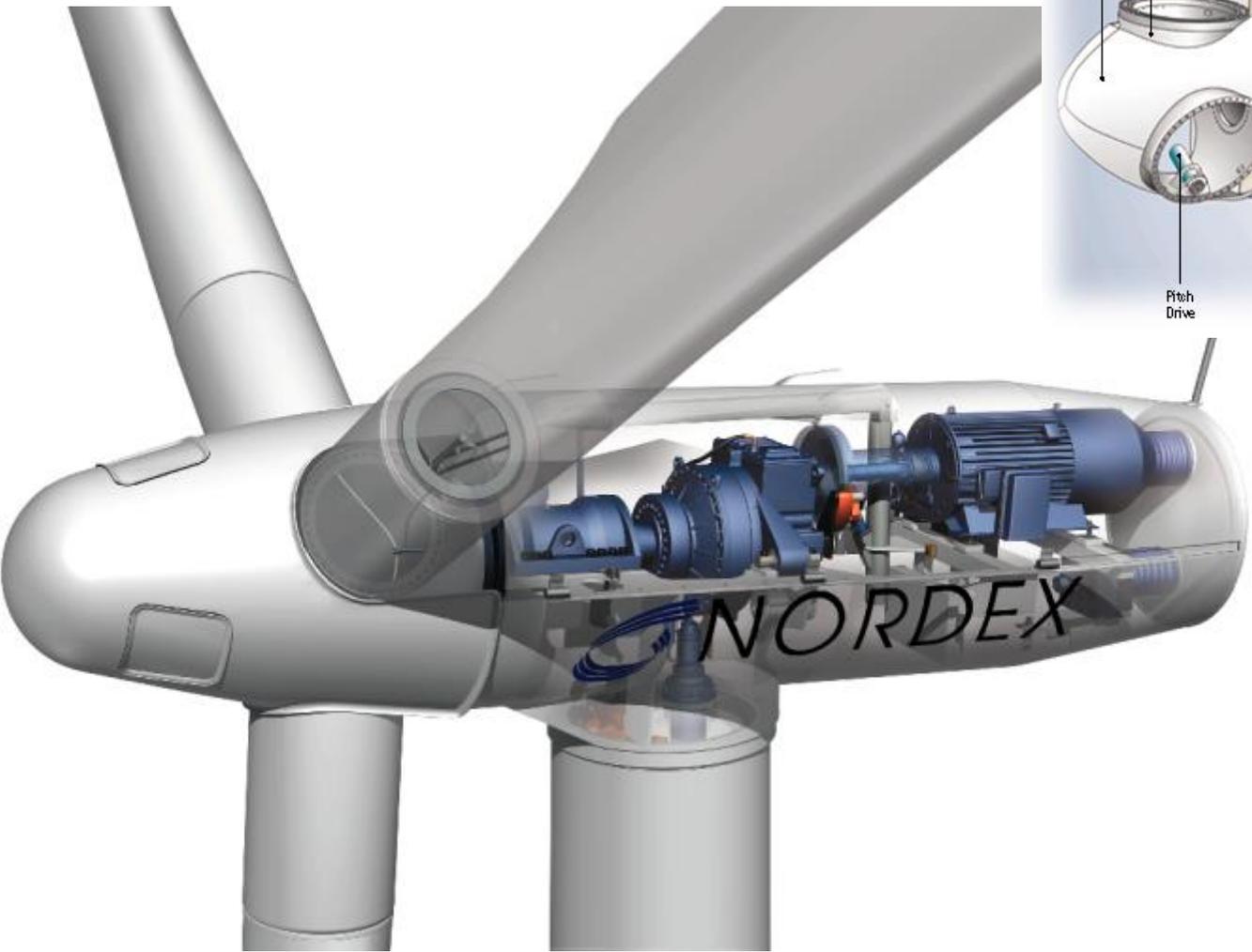
Changements dans la production électrique européenne 2010-2016



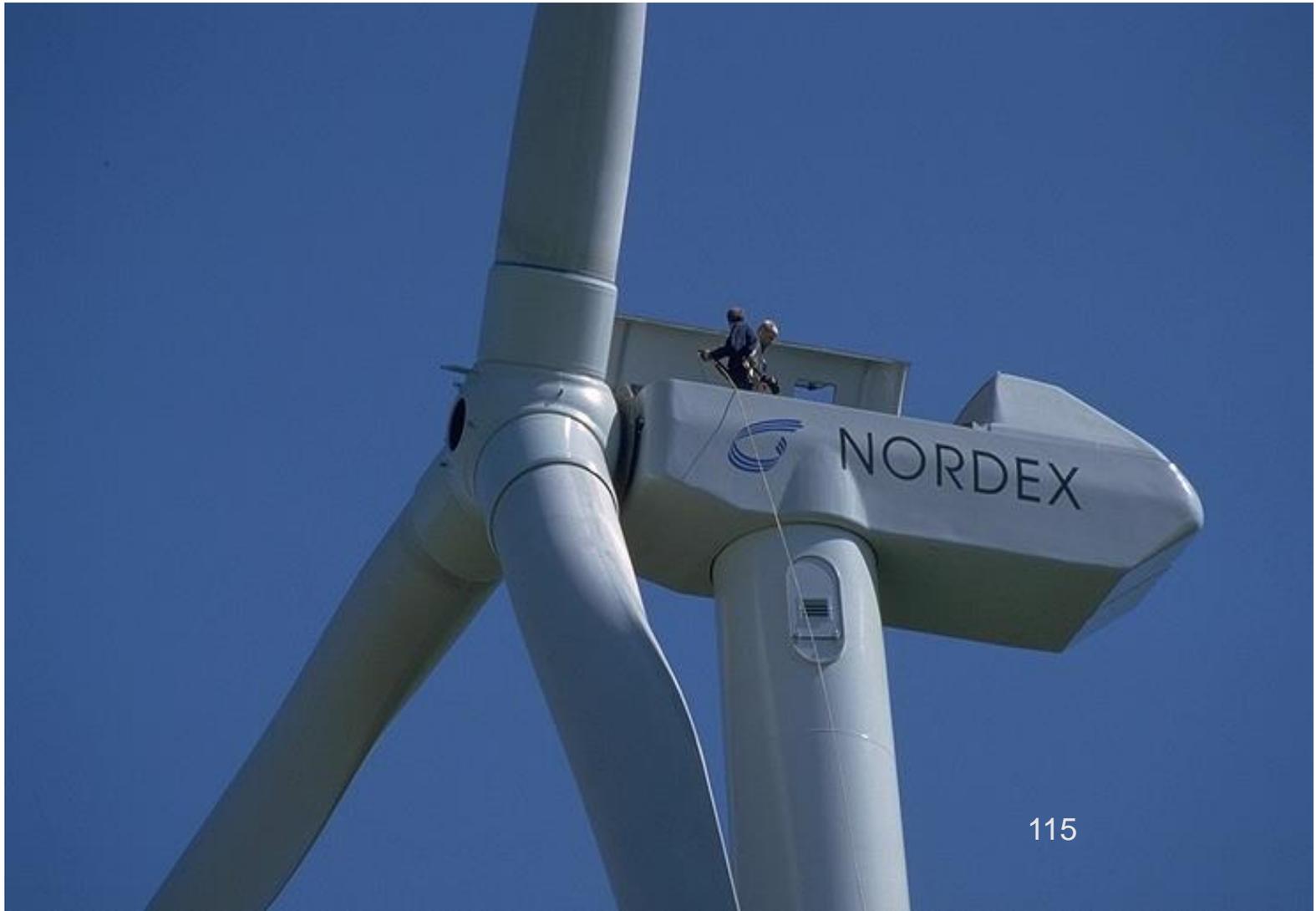
➤ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



Machine asynchrone, architecture avec multiplicateur : vue éclatée de la nacelle



Machine asynchrone (NORDEX N80), rotor et nacelle



↳ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



Formule de Betz :

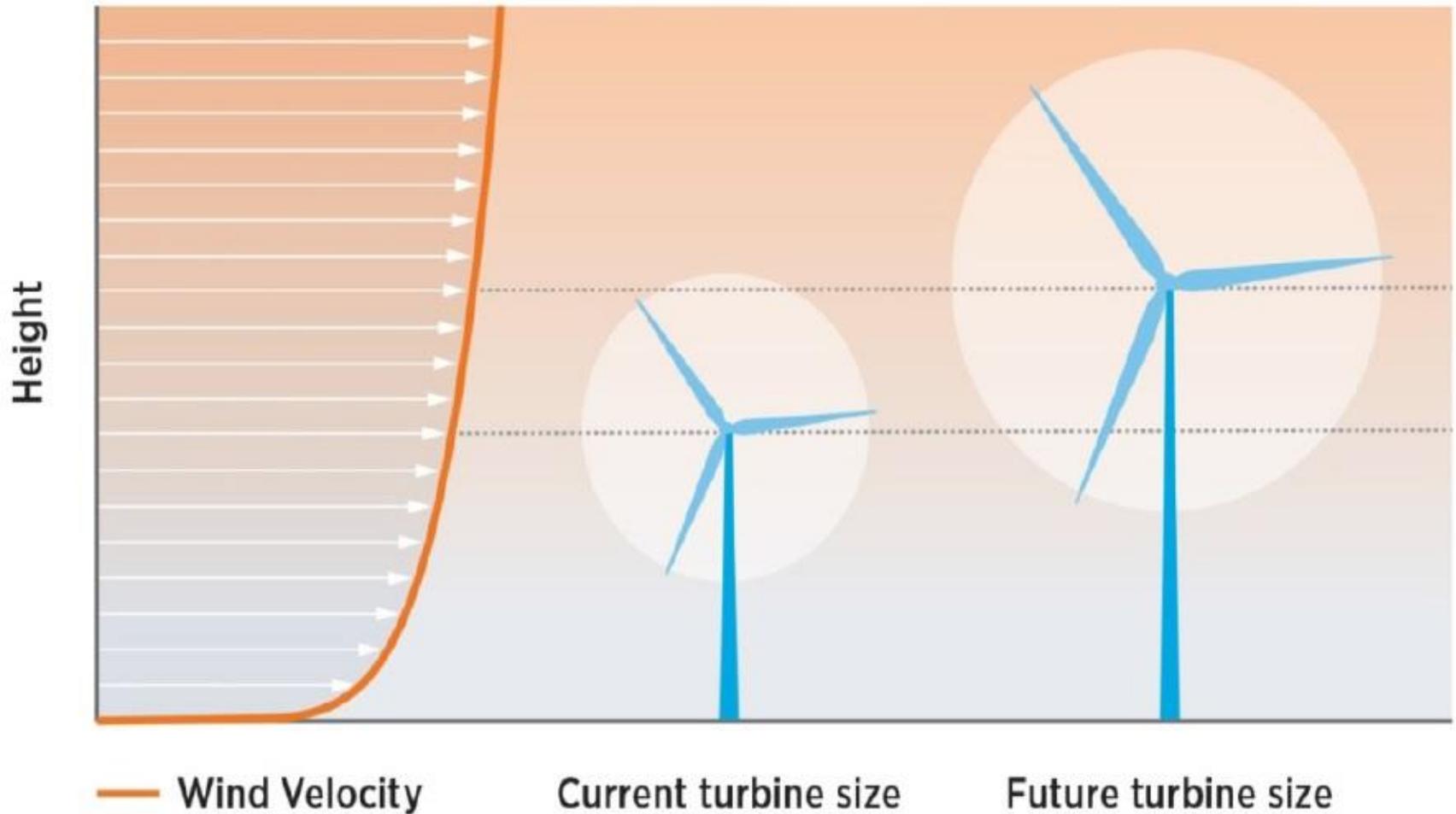
$$P = 0,37 * S * V^3$$

Où P est une puissance en Watts

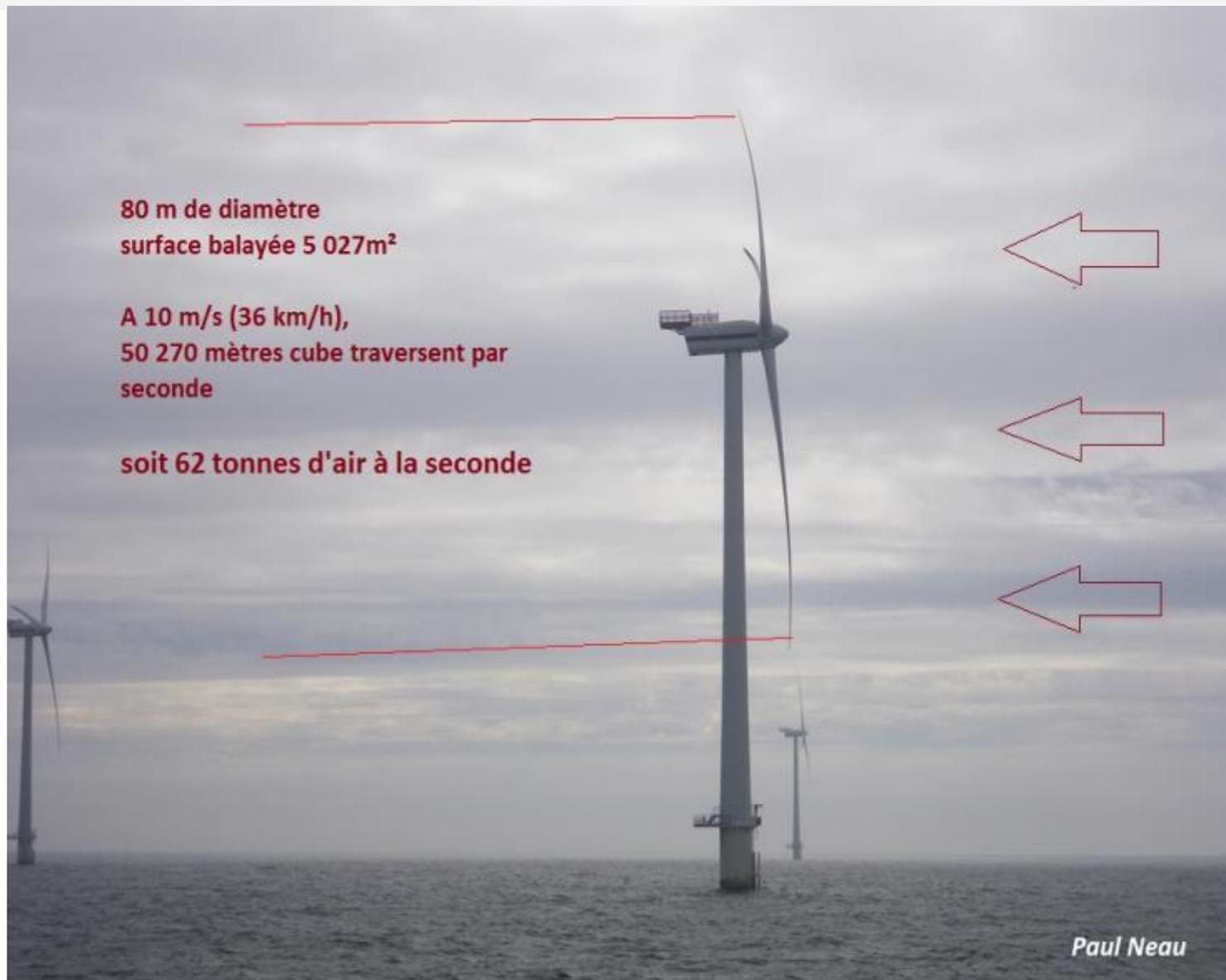
S est la surface balayée par les pales en m²

V est la vitesse du vent exprimée en mètre par seconde.

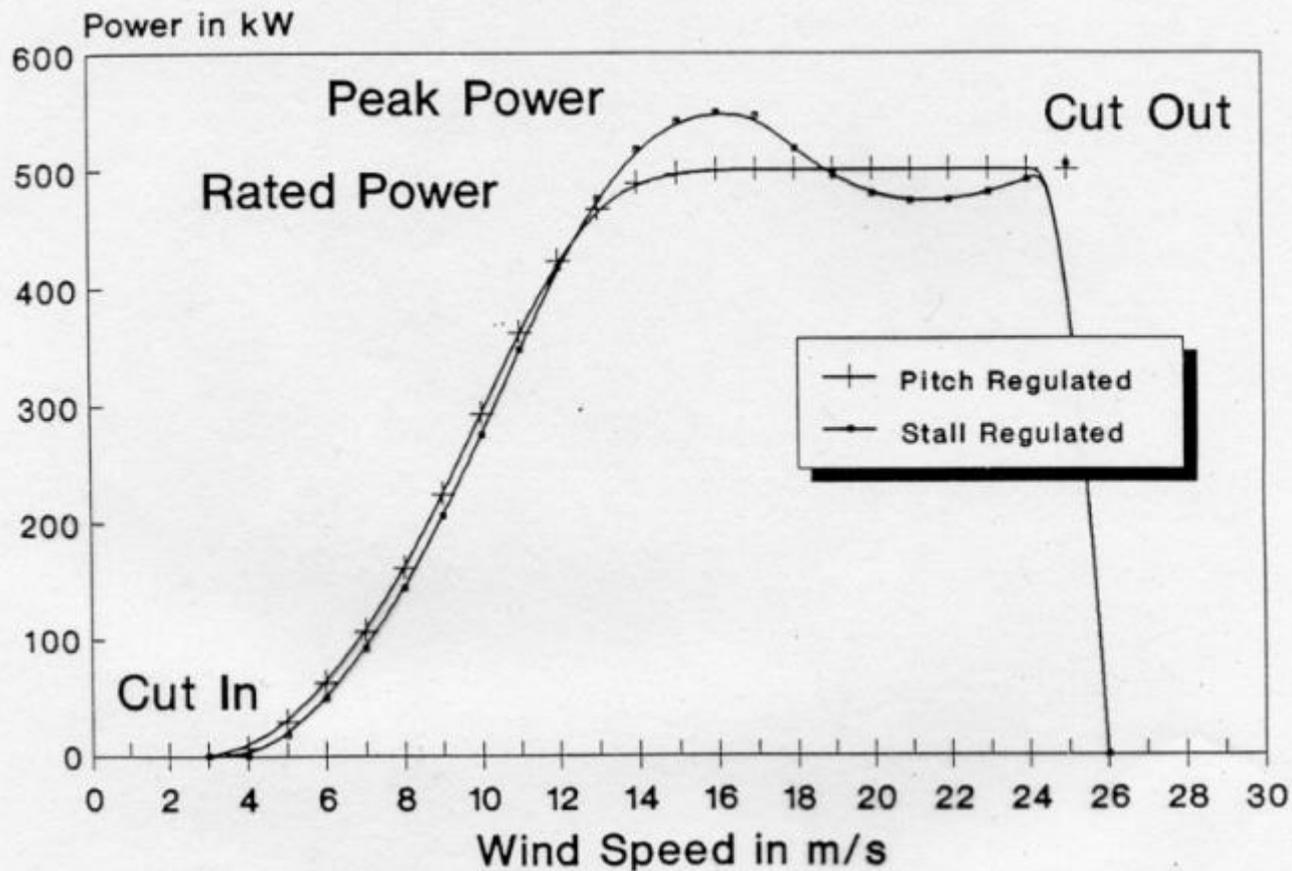
Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



➤ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



➤ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



162

6. The Giant Killers

Productivity

163

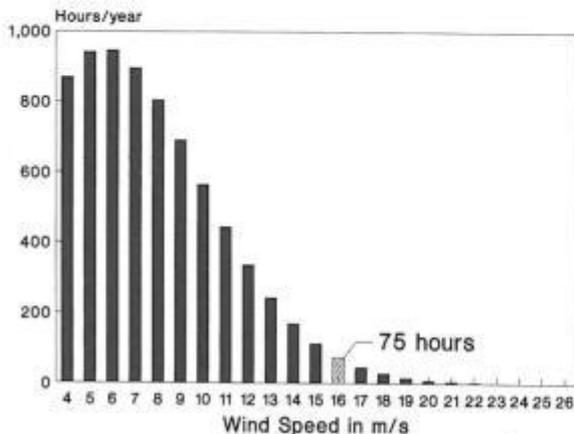
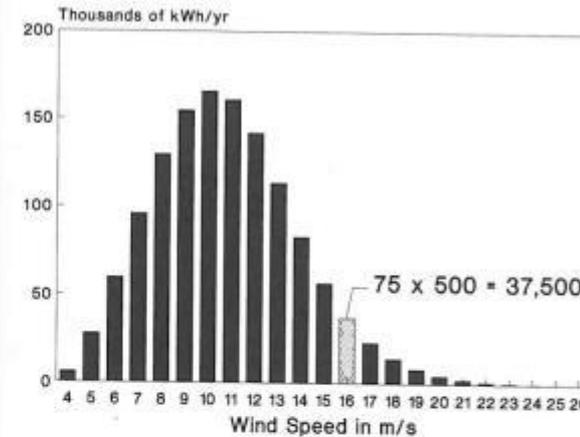
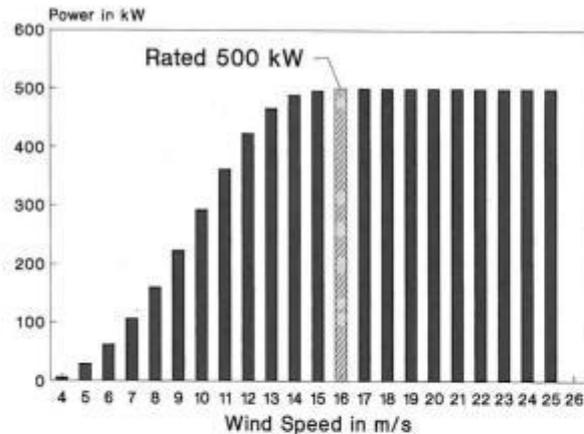


Figure 6.9. (Continued)

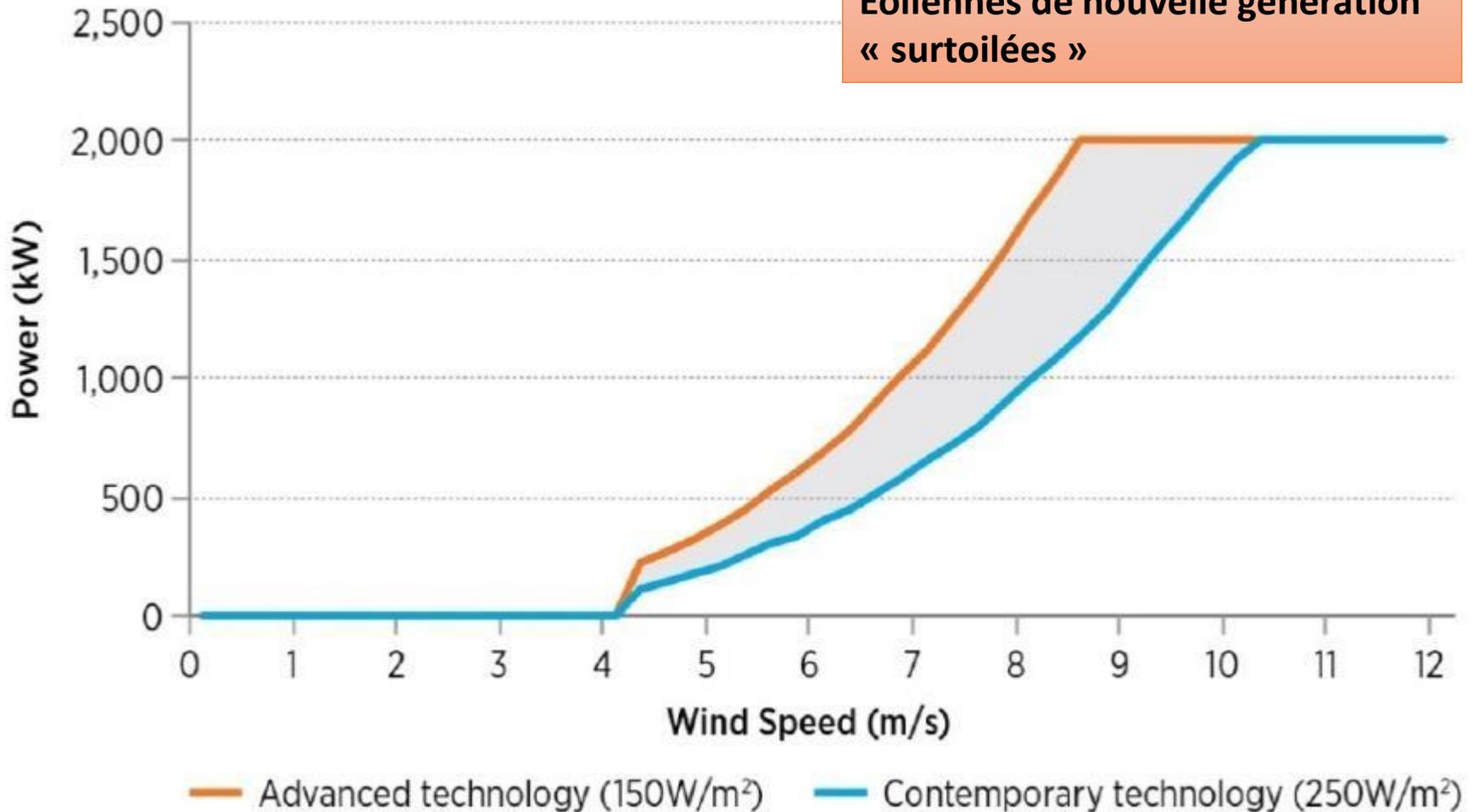
La production (annuelle) d'une éolienne c'est la multiplication de la courbe de puissance de l'éolienne par la distribution des vitesses de vent sur le site éolien.

Figure 6.9. Power curve and annual energy output. Matching the power curve to the wind-speed distribution enables estimating the annual energy output.

➤ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



Eoliennes de nouvelle génération
« surtoilées »



↘ Le facteur de charge



Exemple de la production annuelle d'une éolienne de 2 MW (2 000 kW) : 4 400 000 kWh

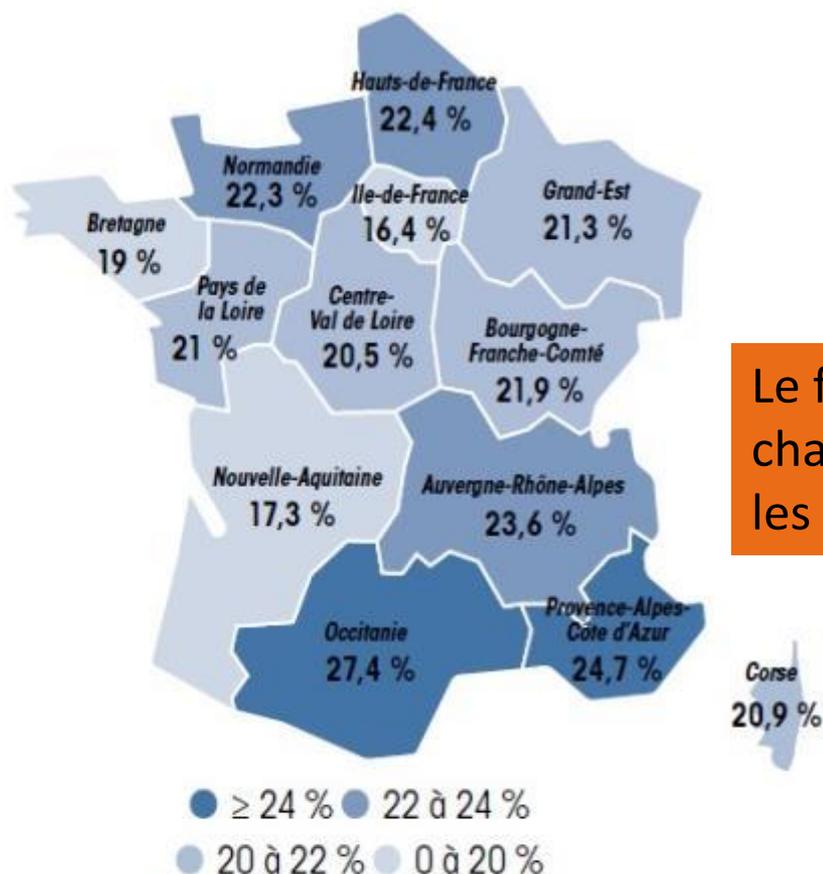
Soit un nombre (théorique) d'heures annuel de fonctionnement pleine puissance : 2 200 heures ($4\,400\,000 / 2\,000$)

Le facteur de charge est égal au ratio entre ce nombre théorique et celui des heures dans une année (8 760 heures), soit présentement 25,1%.

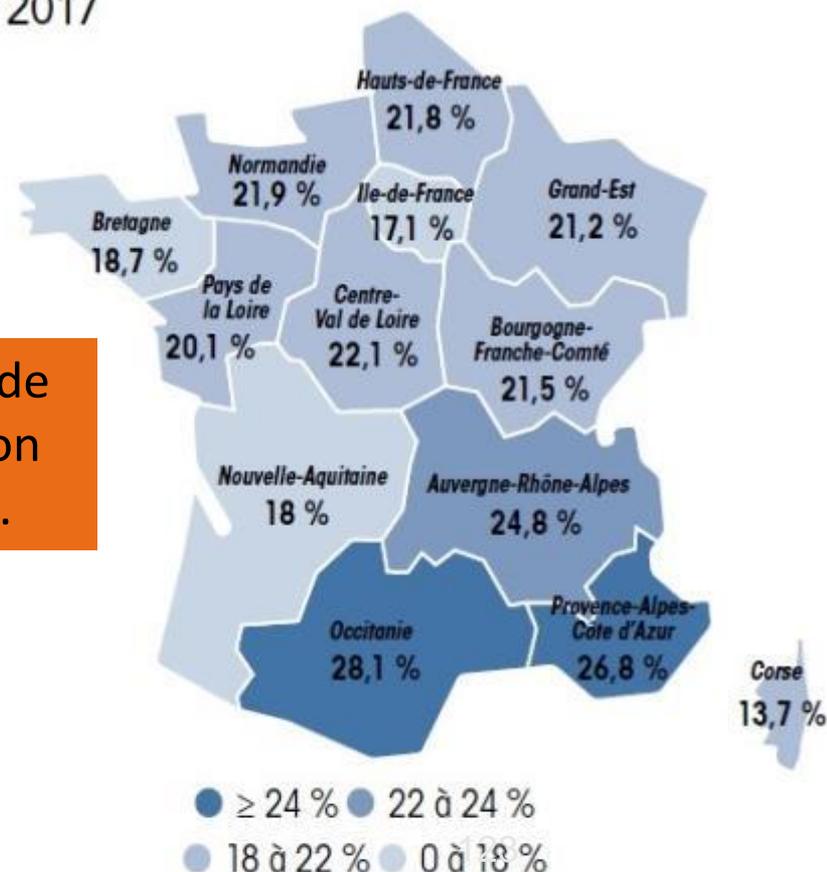
Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



Facteur de charge éolien moyen en 2016



Facteur de charge éolien moyen en 2017

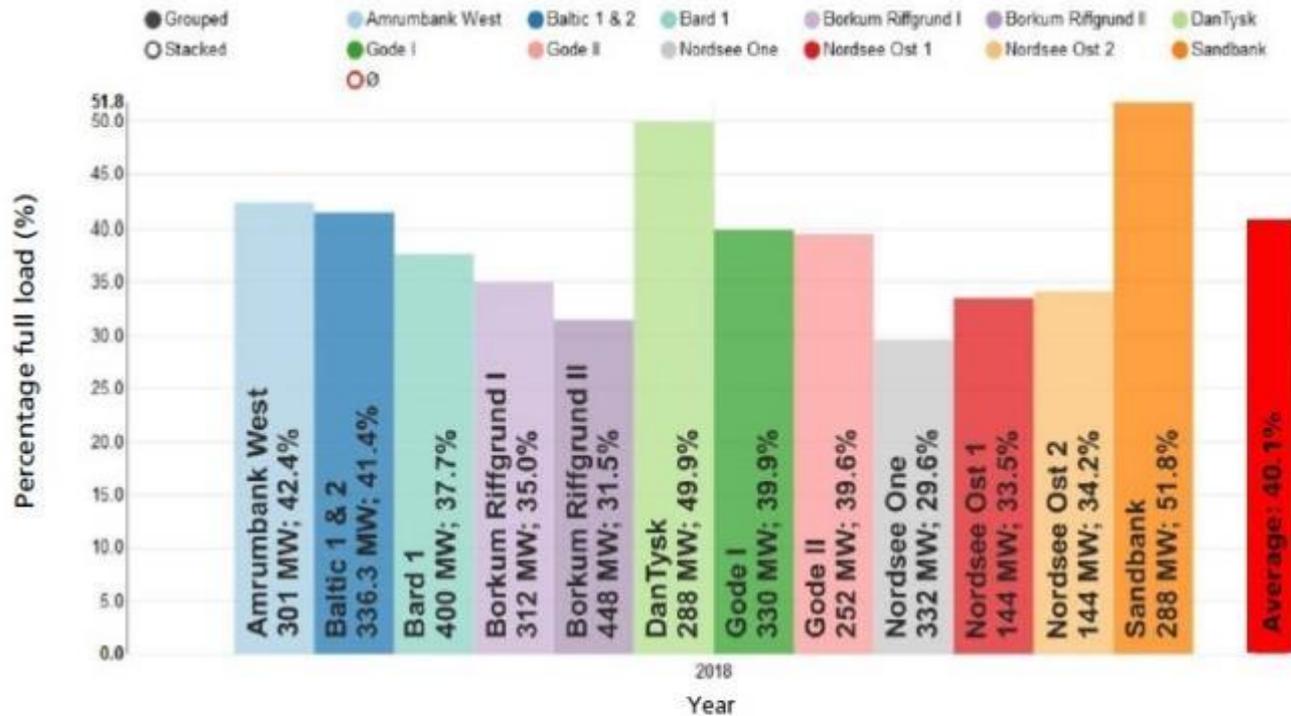


Le facteur de charge selon les régions.

➤ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



Percentage full load hours of wind offshore 2018



Graph: B. Burger, Fraunhofer ISE; Source: https://www.energy-charts.de/percent_full_load_de.htm

Le site d'implantation d'un parc éolien doit répondre aux conditions suivantes :

- ⌘ Être suffisamment **venté** ;
- ⌘ Être suffisamment proche des **réseaux électriques** ;
- ⌘ Être accessible par **la route** ;
- ⌘ Être compatible avec les **contraintes** environnementales ou réglementaires, et avec les **servitudes** techniques ;
- ⌘ Disposer d'un accord avec les **propriétaires** du foncier ;
- ⌘ Être en phase avec les objectifs d'**aménagement du territoire**.

↘ Choix d'un site éolien



↘ Montage d'une éolienne



➤ Comment fonctionne l'énergie éolienne ?



↘ Intermittence/variabilité : mythe et réalité



Première idée : le vent et la production électrique éolienne ne sont pas « intermittents » et « aléatoires », mais variables et prévisibles.

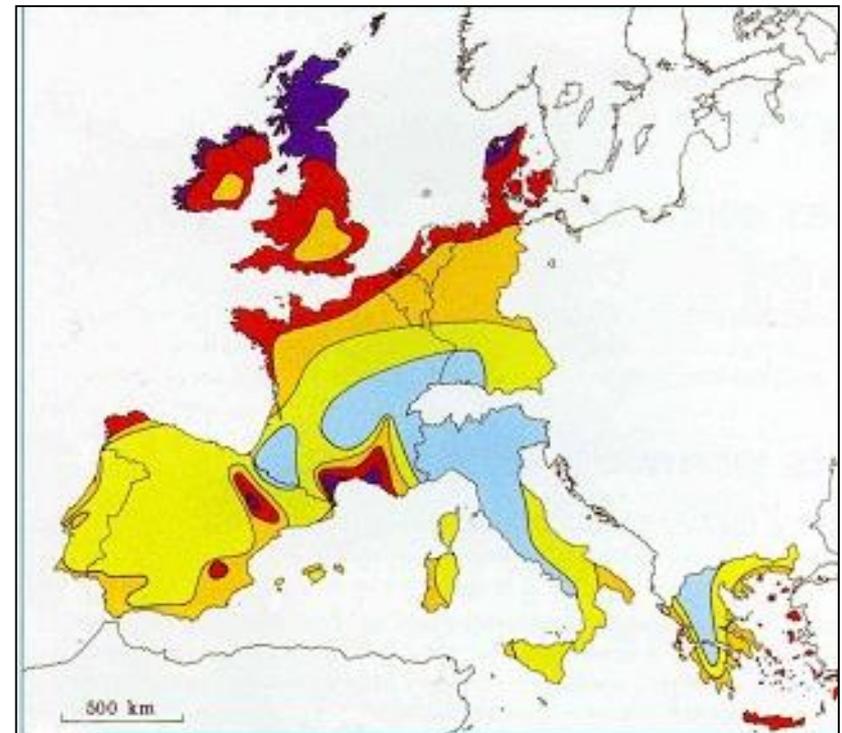
Avec les progrès de la prévision météorologique et les retours d'expériences, on sait prévoir à moins de 5% près 24 heures à l'avance la production éolienne.

↘ Intermittence/variabilité : mythe et réalité



↘ Intermittence/variabilité : mythe et réalité

De plus en France, nous avons trois grands régimes de vent, décorrélés. Il n'y a pas de panne de vent.



Carte des vents en Europe (Source : European Wind Atlas (Troen and Petersen, 1989))

Vitesse du vent à 50 mètres au-dessus du niveau du sol pour 4 situations topographiques différentes (en mètres par seconde)

Couleurs sur la carte	■	■	■	■	■
Plaine, en rase campagne	> 7,5	6,5 - 7,5	5,5 - 6,5	4,5 - 5,5	< 4,5
Région côtière	> 8,5	7,0 - 8,5	6,0 - 7,0	5,0 - 6,0	< 5,0
Haute mer	> 9,0	8,0 - 9,0	7,0 - 8,0	5,5 - 7,0	< 5,5
Collines et crêtes	> 11,5	10,0 - 11,5	8,5 - 10,0	7,0 - 8,5	< 7,0

Troisième idée : il y a des solutions techniques pour gérer la variabilité de l'éolien : complémentarité des barrages, les STEP (station de Transfert d'Énergie par Pompage), l'interconnexion des réseaux, ..

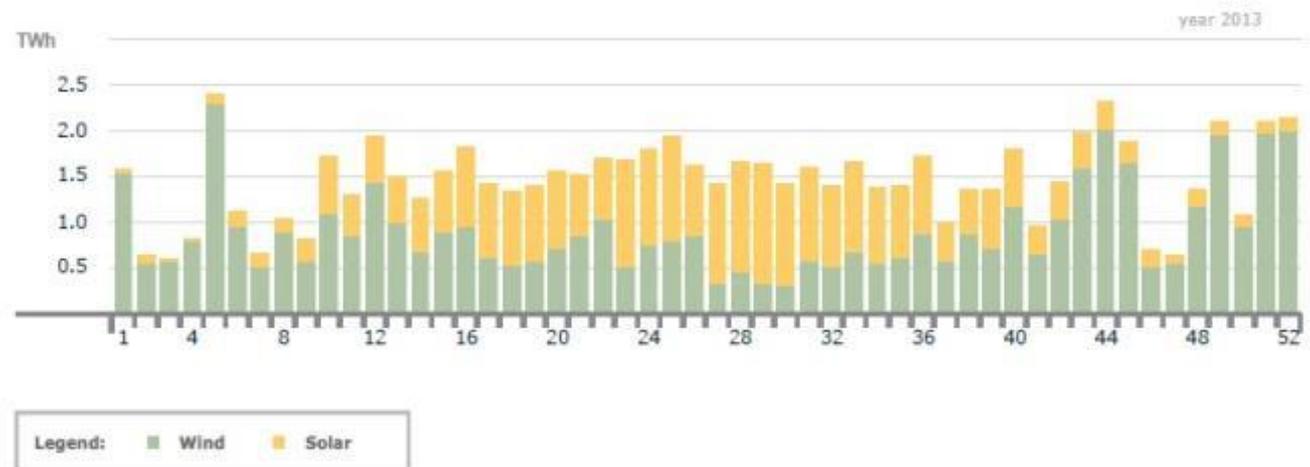
Il y a aussi des solutions tarifaires (le tarif «heures creuses» a été mis en place pour pallier la non-souplesse de la production nucléaire). Ce sont aussi les « smart grids ».

Note de RTE sur le site du Débat Public du parc éolien des Deux Côtes. : <http://www.debatpublic-eolien-en-mer.org/docs/docs/contribution-rte.pdf>

- « *l'installation de 20 GW d'éoliennes ou de 4 GW d'équipements thermiques apparaissent équivalents, s'agissant d'apprécier l'ajustement du parc de production* ». Autrement formulé/résumé : l'implantation géographiquement équilibrée de 20 000 MW éoliens ne demande pas l'installation de centrales thermiques pour compenser la variation de la production éolienne ; mieux : ces 20 000 MW éoliens se substituent à 4 000 MW thermiques qu'il n'est plus besoin d'installer.
- « *pour un niveau de consommation donné, chaque kWh produit par une éolienne correspond à autant de production thermique évitée* ».
- « *il est possible de prévoir vent et production éolienne à l'échelle de régions et du pays entier avec une précision suffisante plusieurs heures voire plusieurs jours à l'avance* ».

Weekly Production Solar and Wind

Weekly Production Solar and Wind



Et
foisonnement
avec le solaire

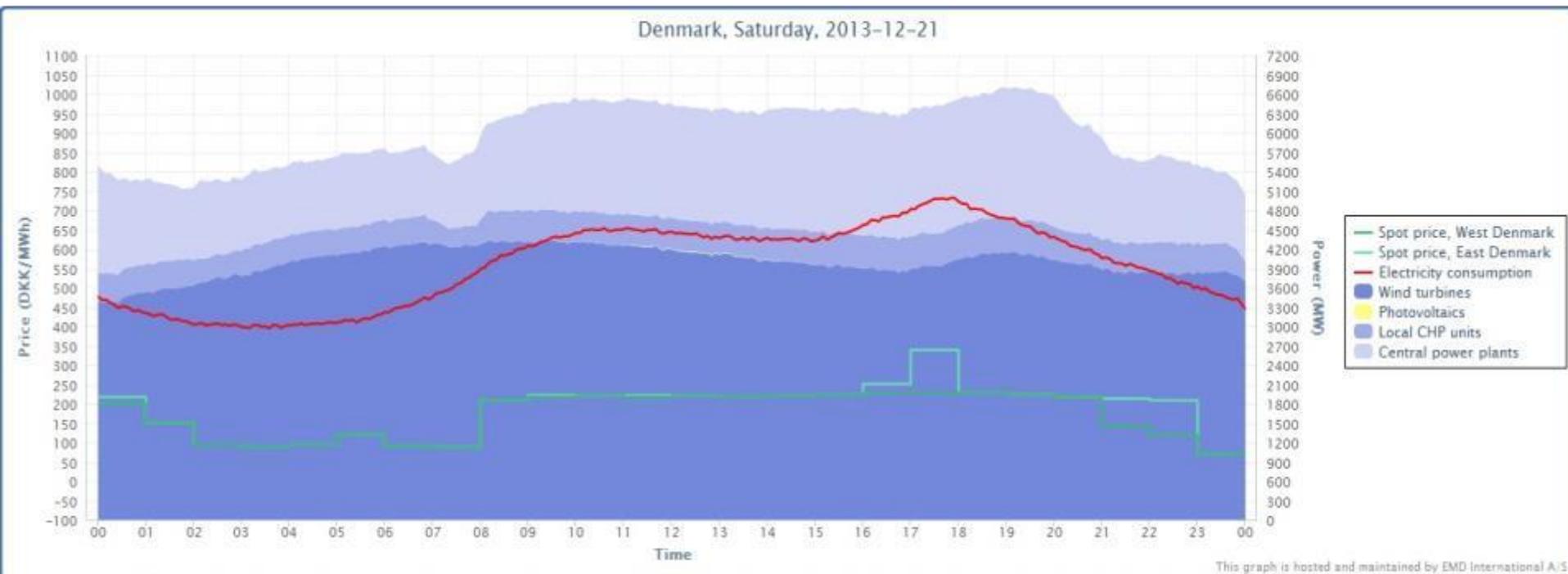
- The maximal weekly sum of solar and wind production was 2.4 TWh in calendar week 5
- The minimal weekly sum was 0.61 TWh in calendar week 3

Graph: B. Burger, Fraunhofer ISE; data: EEX Transparency Platform

↘ L'éolien au Danemark



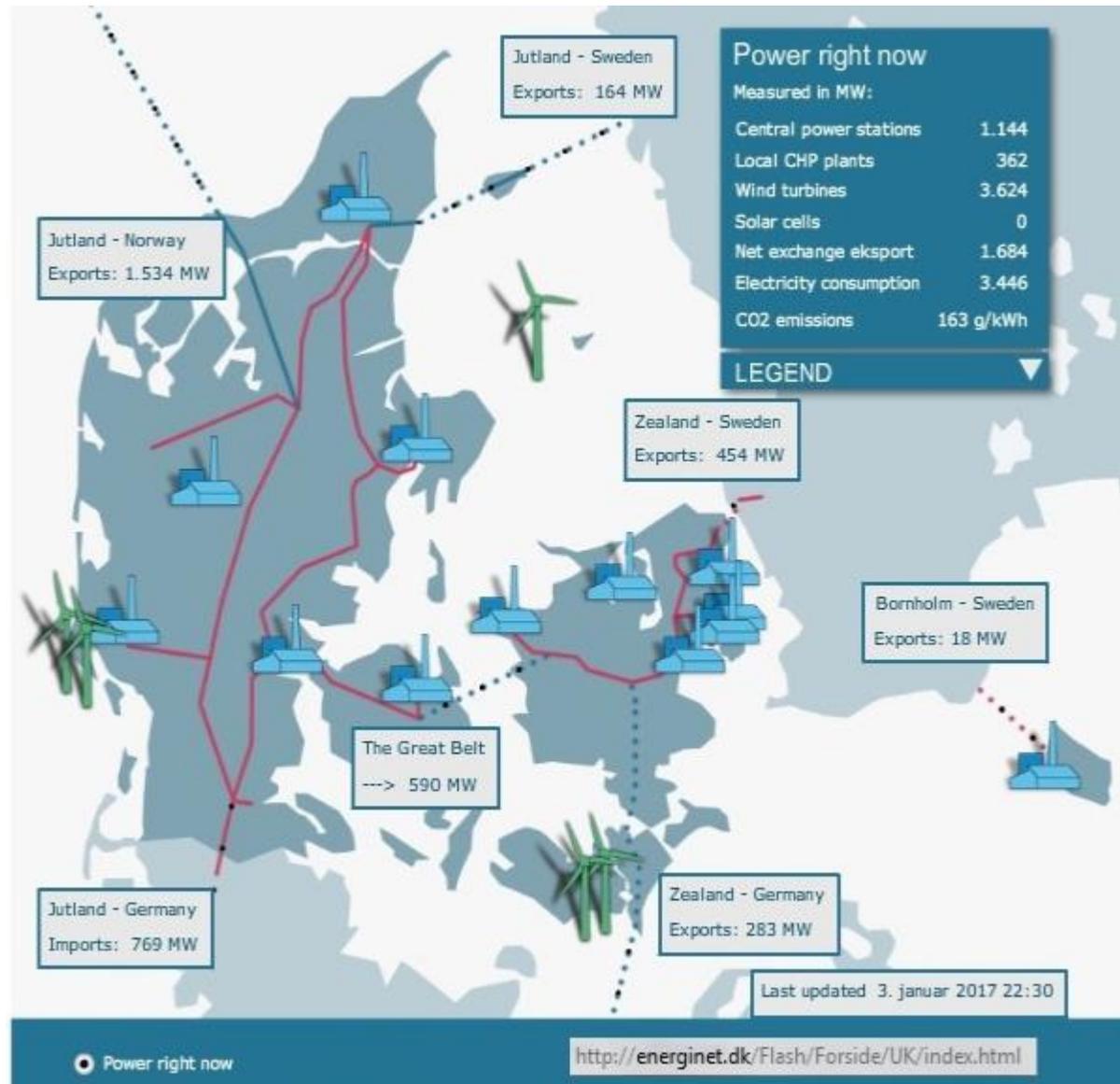
L'éolien couvre régulièrement > 100% de l'électricité consommée au Danemark



↘ L'éolien au Danemark



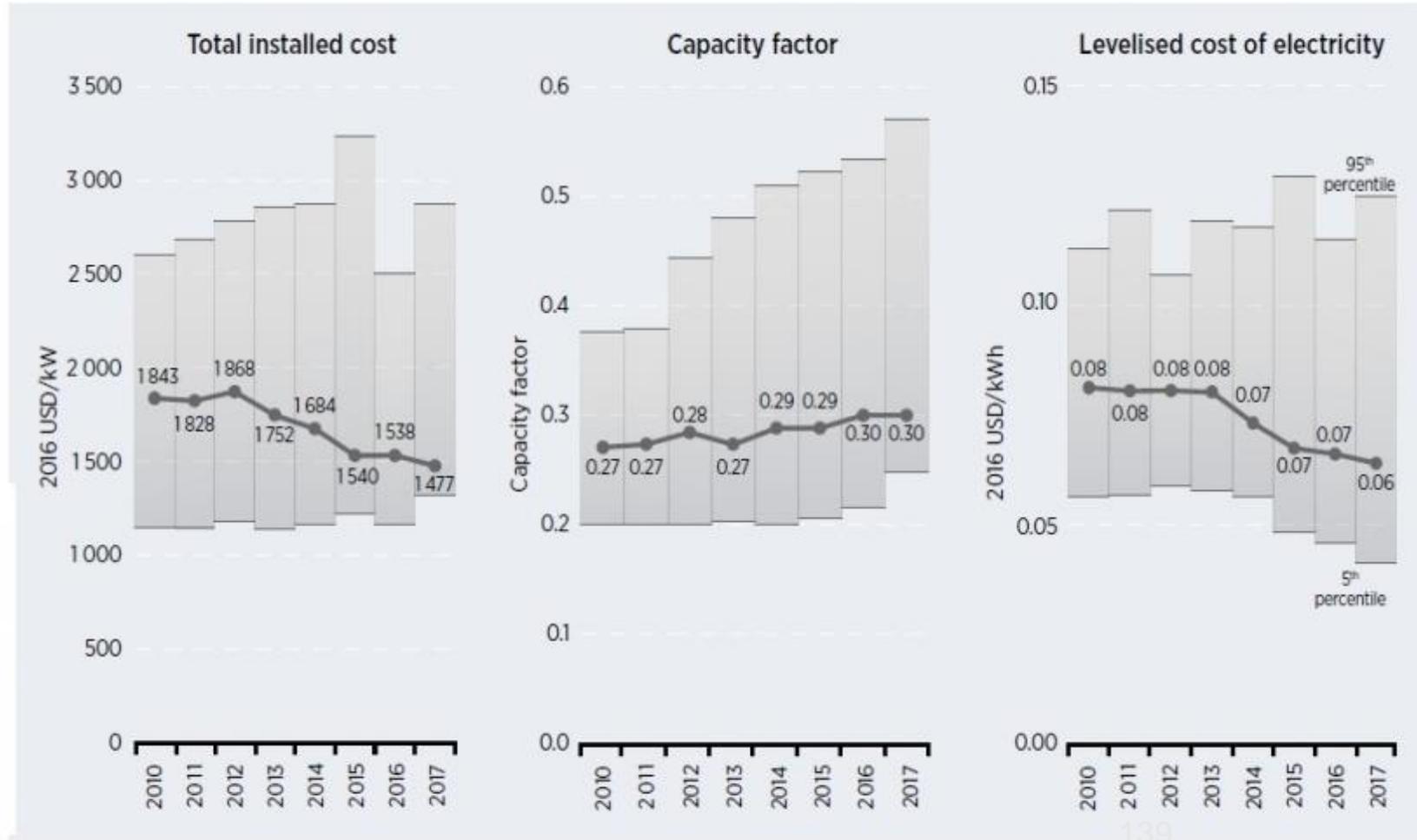
L'éolien couvre régulièrement > 100% de l'électricité consommée au Danemark
→ Possible car réseau interconnecté avec Allemagne, Suède, Norvège



↘ Perspectives économiques

Evolution du prix de revient du kWh éolien

Figure 2.6 Global weighted average total installed costs, capacity factors and LCOE for onshore wind, 2010-2017



Source: IRENA Renewable Cost Database.

↘ Les moins chères, les énergies vertes



L'éolien offshore est (nettement) moins cher que l'EPR:

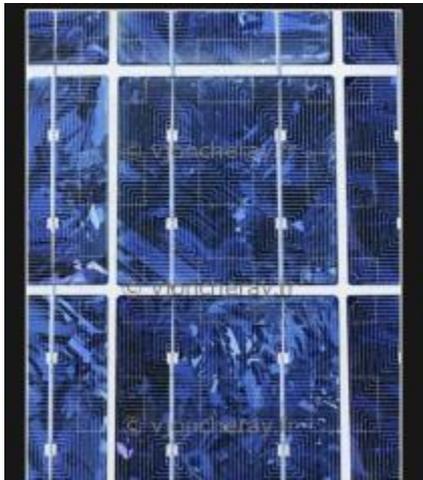
EPR à Hinkley Point au Royaume-Uni : 92,5 £ le MWh

Figure 4: Recent EU tender clearing prices



Source: KPMG analysis

↘ Le soleil



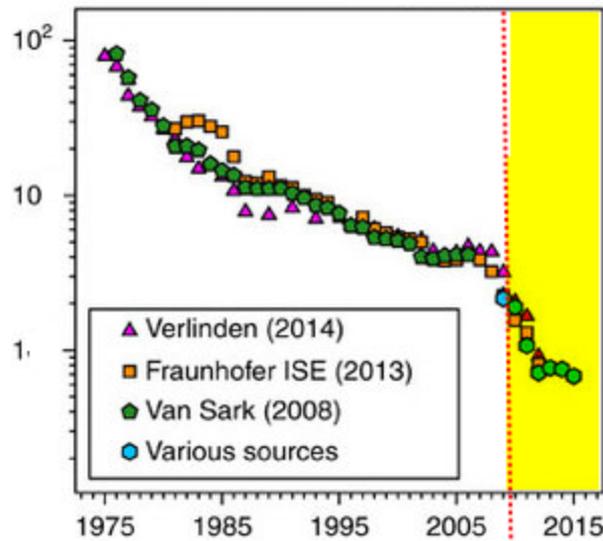


ragais (Haute-Garonne, France)

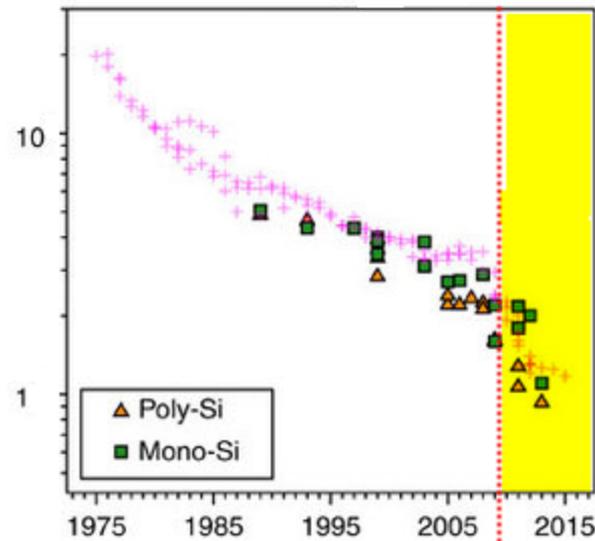
Electricité : la révolution photovoltaïque



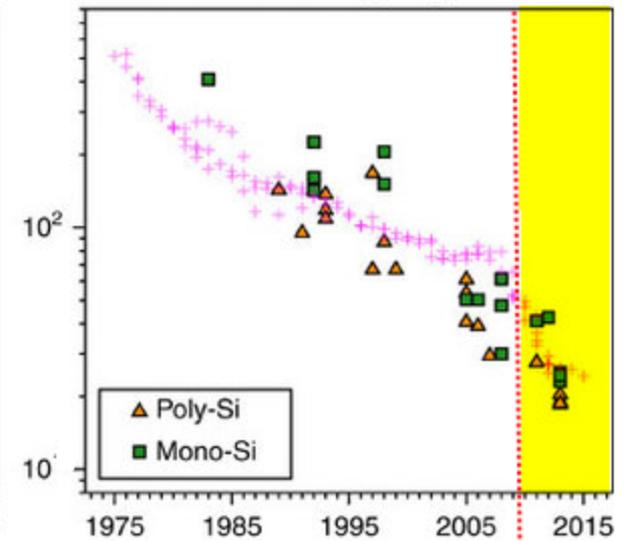
De 2011 à 2016, une rupture radicale par rapport à la courbe d'apprentissage 1975-2010.



Coût
en \$ 2015 par Wc

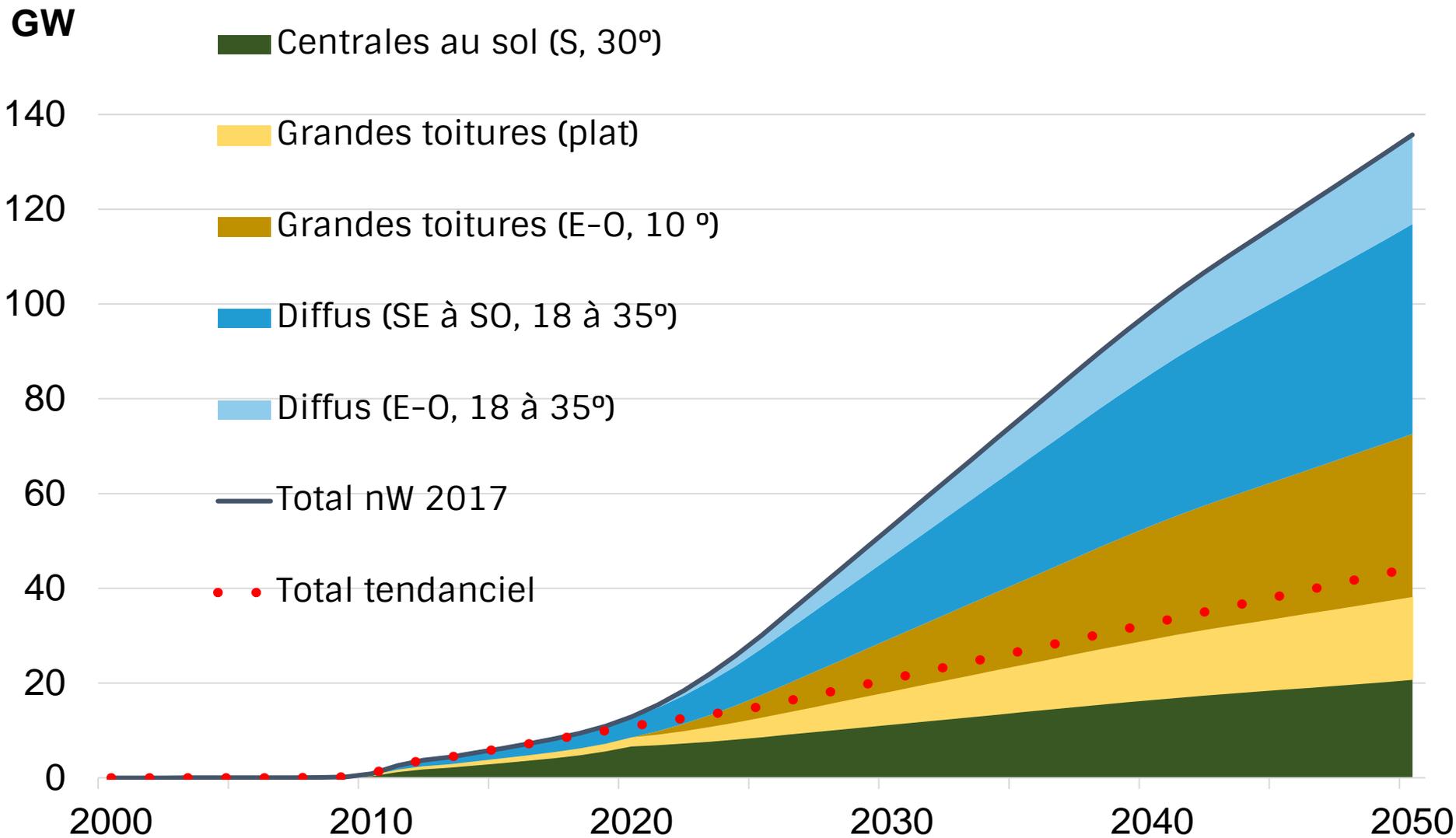


Temps de retour énergie
en années

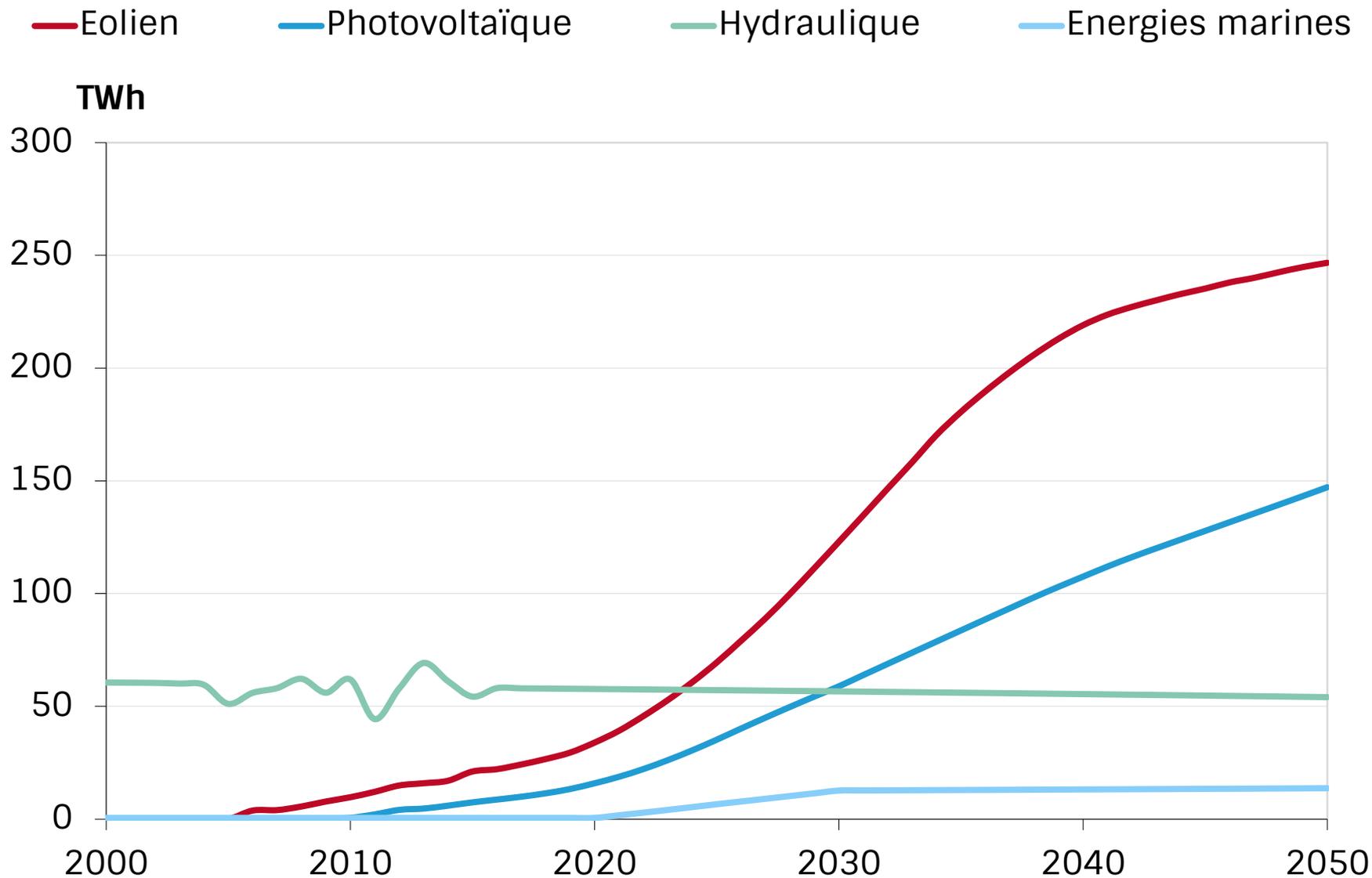


Effet de serre
en gCO₂ par kWh

Photovoltaïque : 140 GW, 150 TWh



↘ Ensemble des renouvelables électriques



Développement de la production d'électricité renouvelable



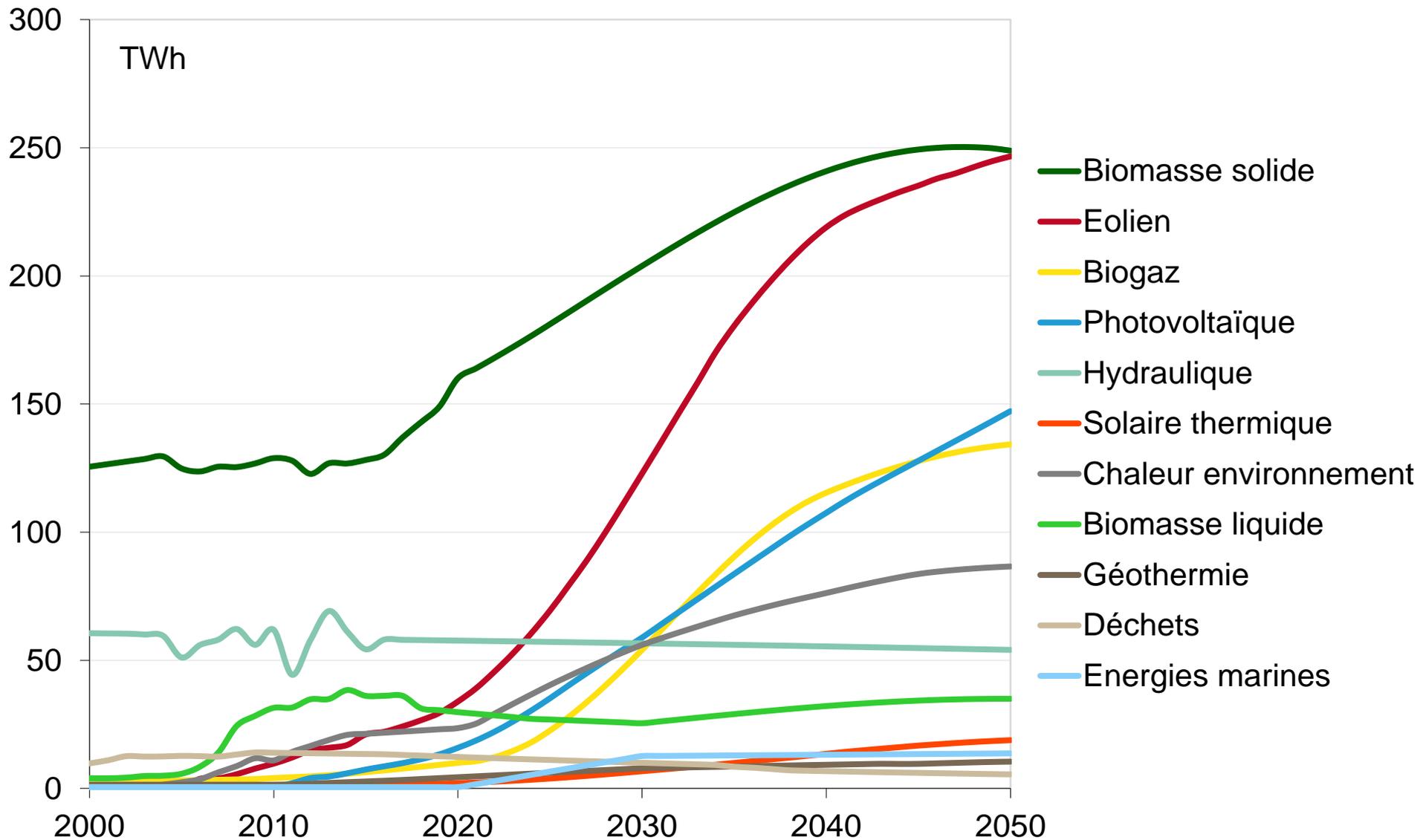
	2015 (64,5 M habitants)	2050 (72,3 M d'habitants)
Eolien terrestre	5 400 éoliennes 1 pour 12 000 hab	15 800 éoliennes 1 pour 4 600 habitants
Eolien en mer		3 200 éoliennes
Photovoltaïque⁽¹⁾	6,2 GWc 0,1 kWc par habitant	136 GWc 1,9 kWc par habitant

Il y a aujourd'hui environ 30 000 éoliennes terrestres en Allemagne.

Dans le scénario négaWatt, d'ici 2050 :

- multiplication par 3 du nombre d'éoliennes ;
- Multiplication par 22 des surfaces en photovoltaïque

↘ Ensemble des renouvelables





Les énergies renouvelables de la mer



↘ Energie des marées

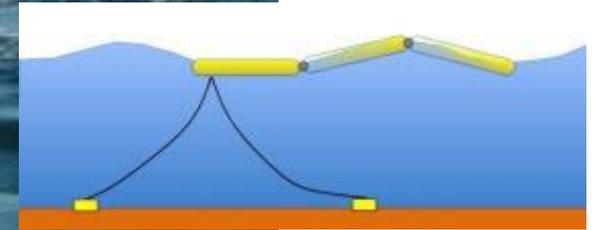
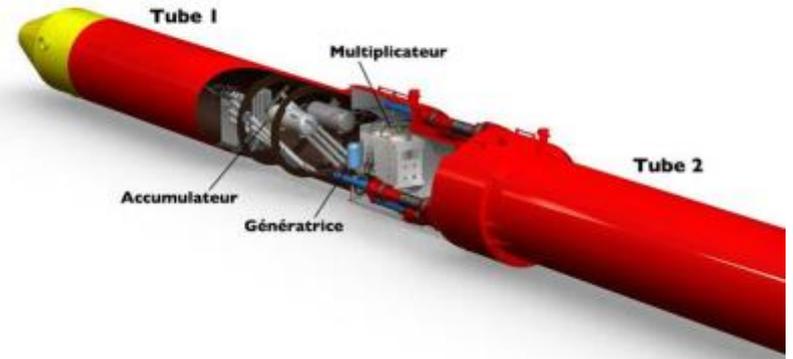


- Usine marémotrice de Sihwa du lac Tidal en Corée du Sud (256 MW)

↘ Energies des vagues



Chaîne flottante articulée Pelamis I



Prototype d'houlomoteur PELAM IS au Portugal (0,75 MW)



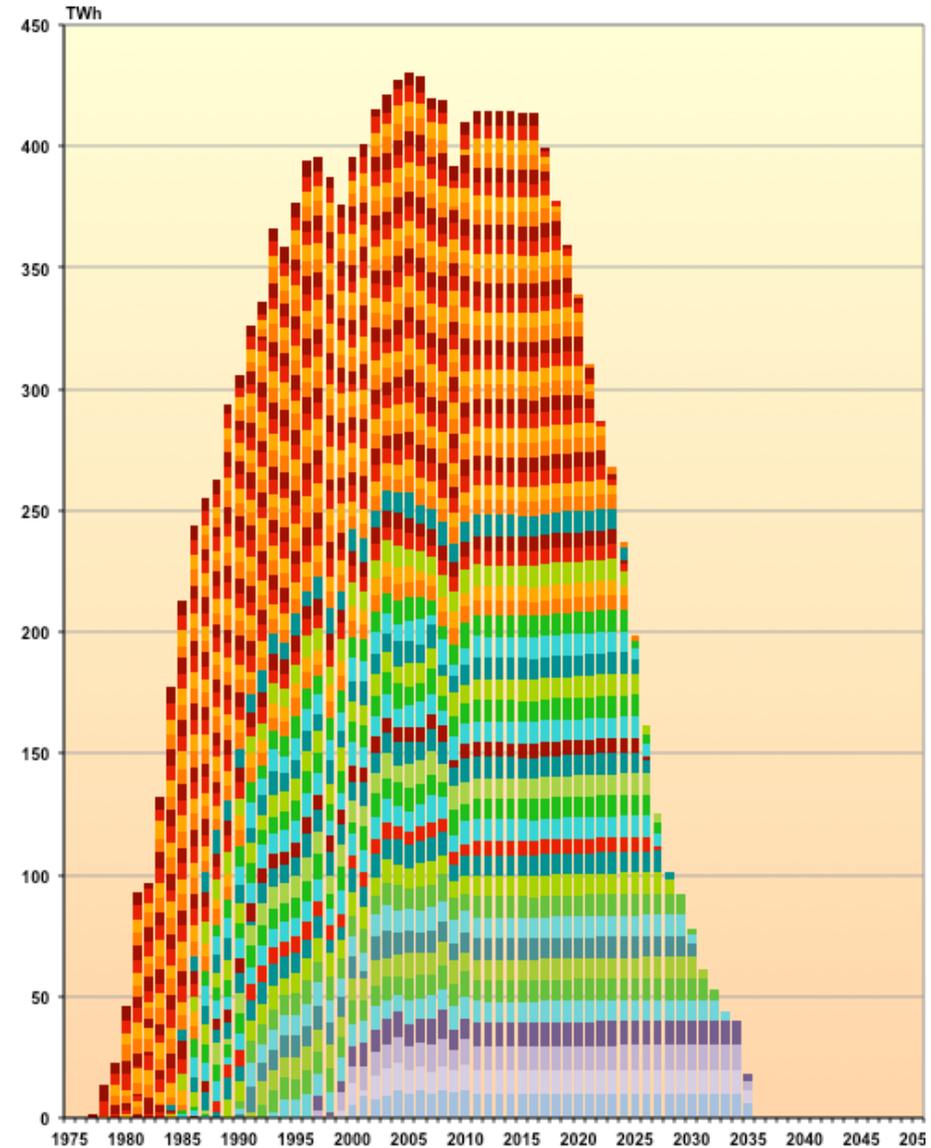
05.

La production d'énergie

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

➤ 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



- **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



05.

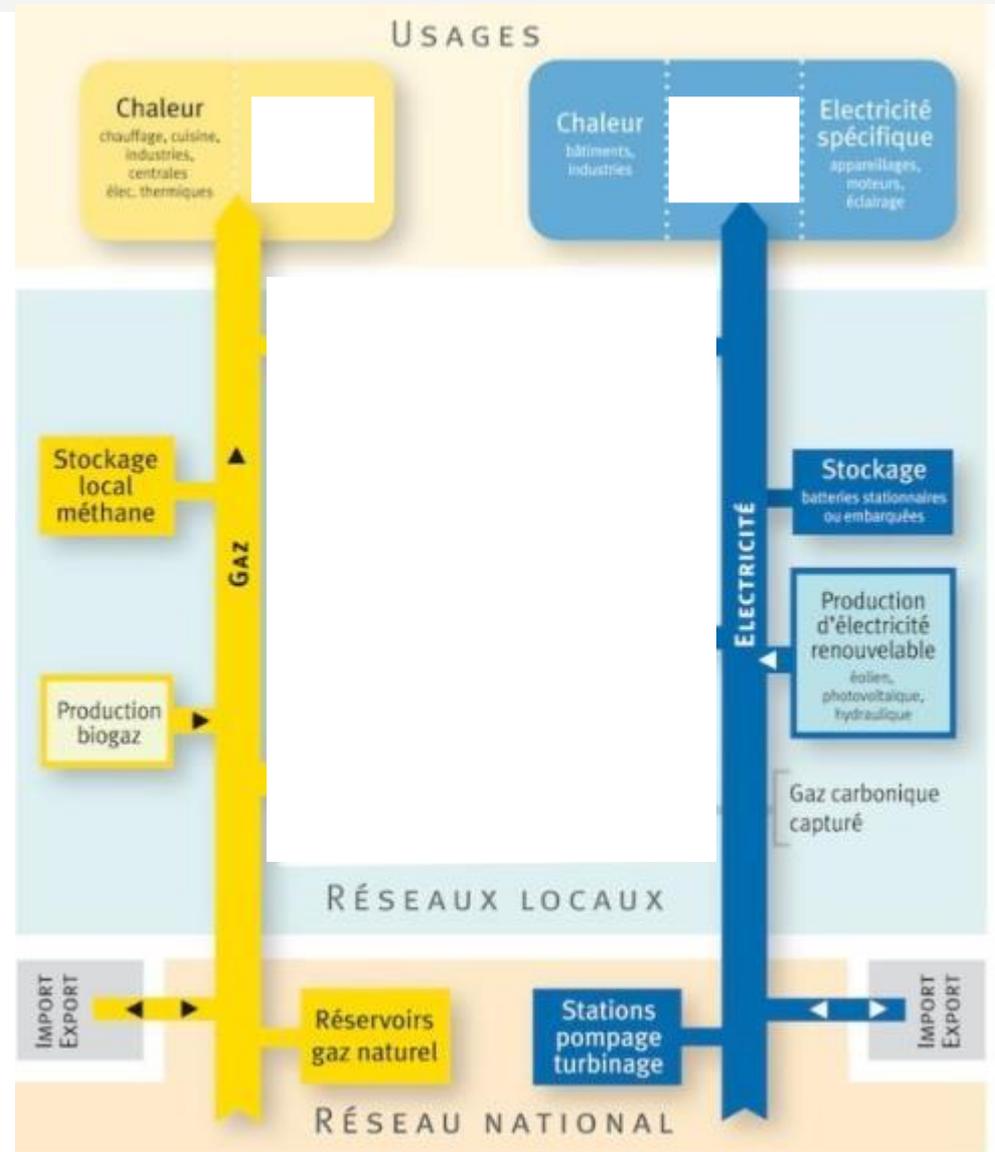
La production d'énergie

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

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



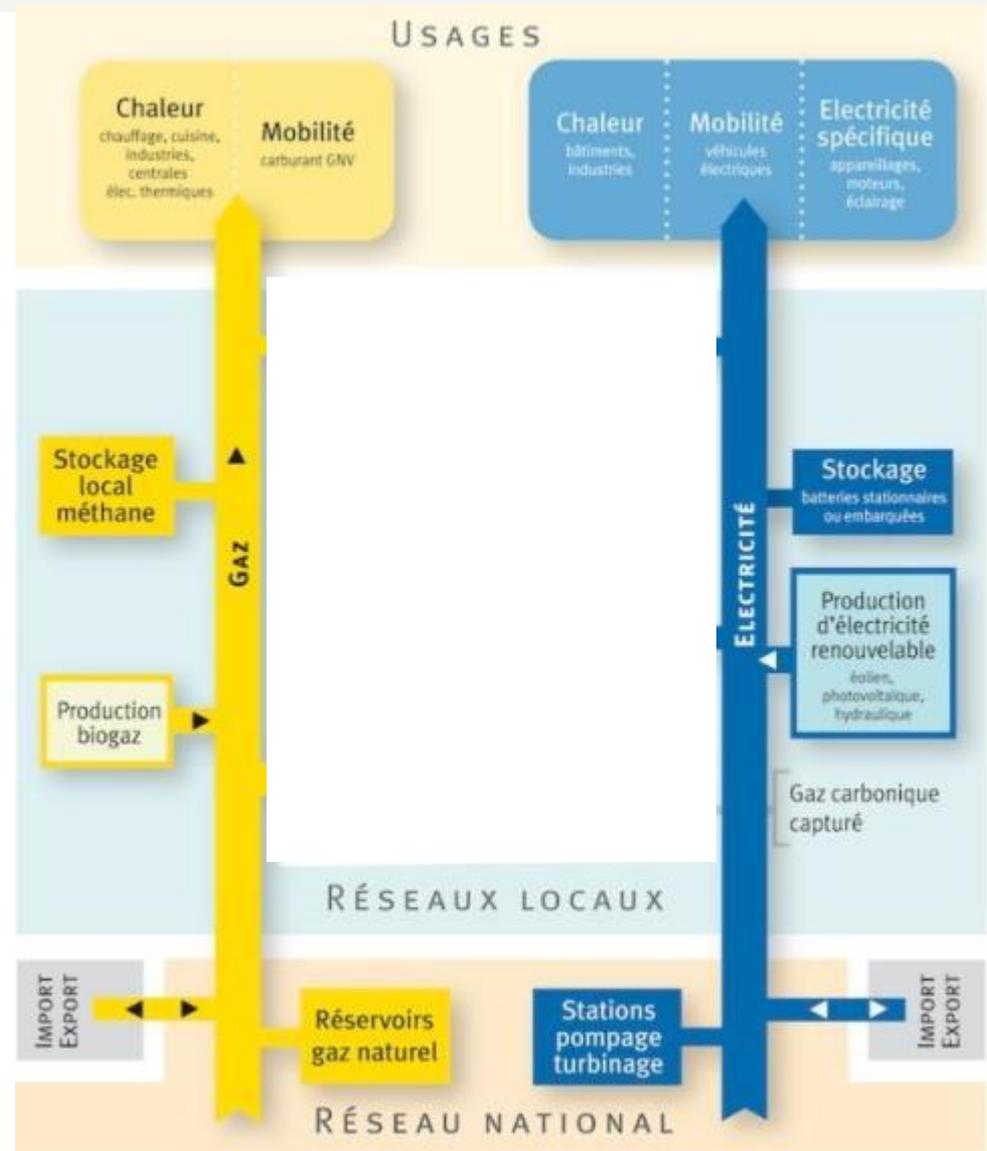
○ Aujourd'hui



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

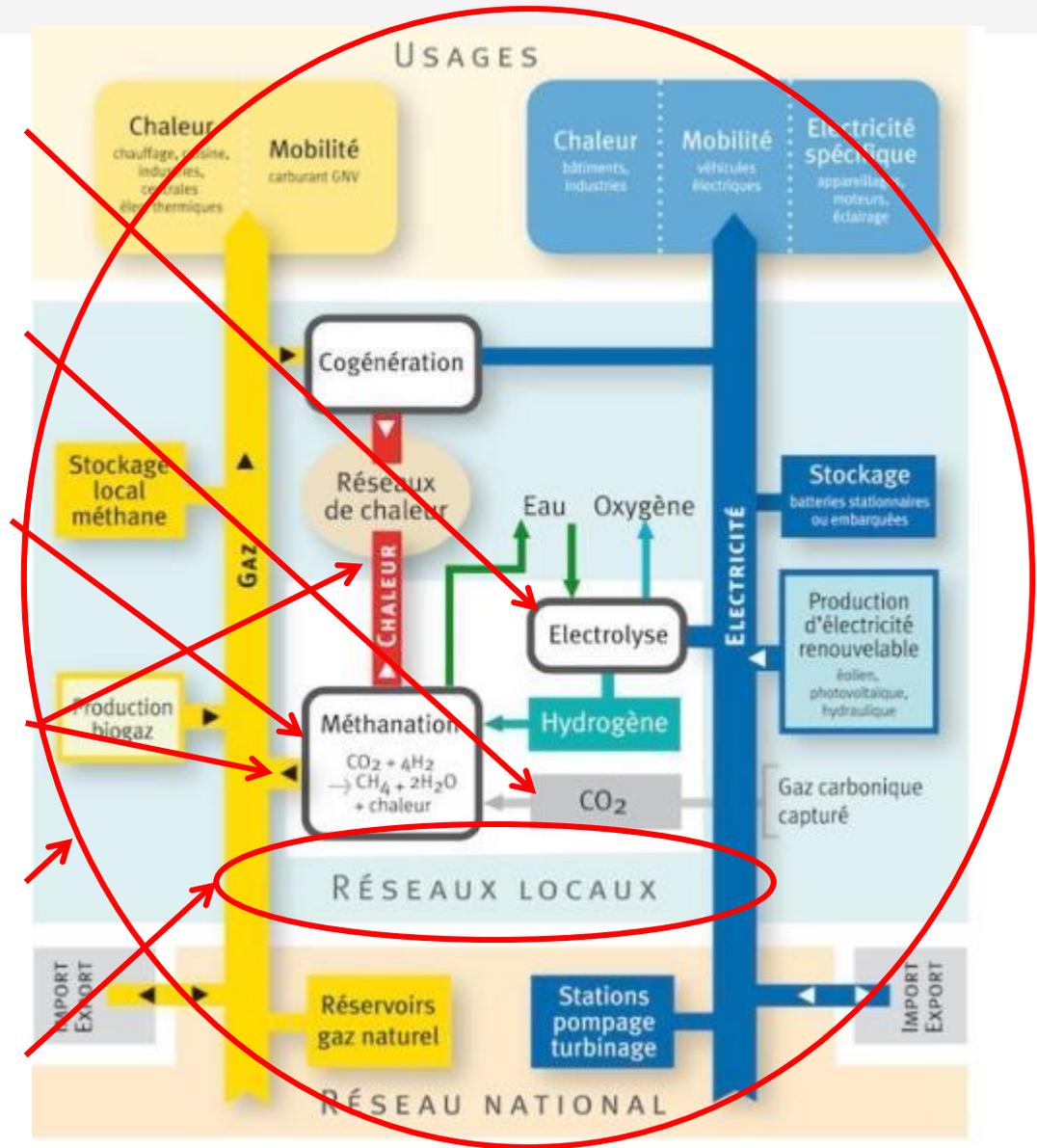
○ Demain

- 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**



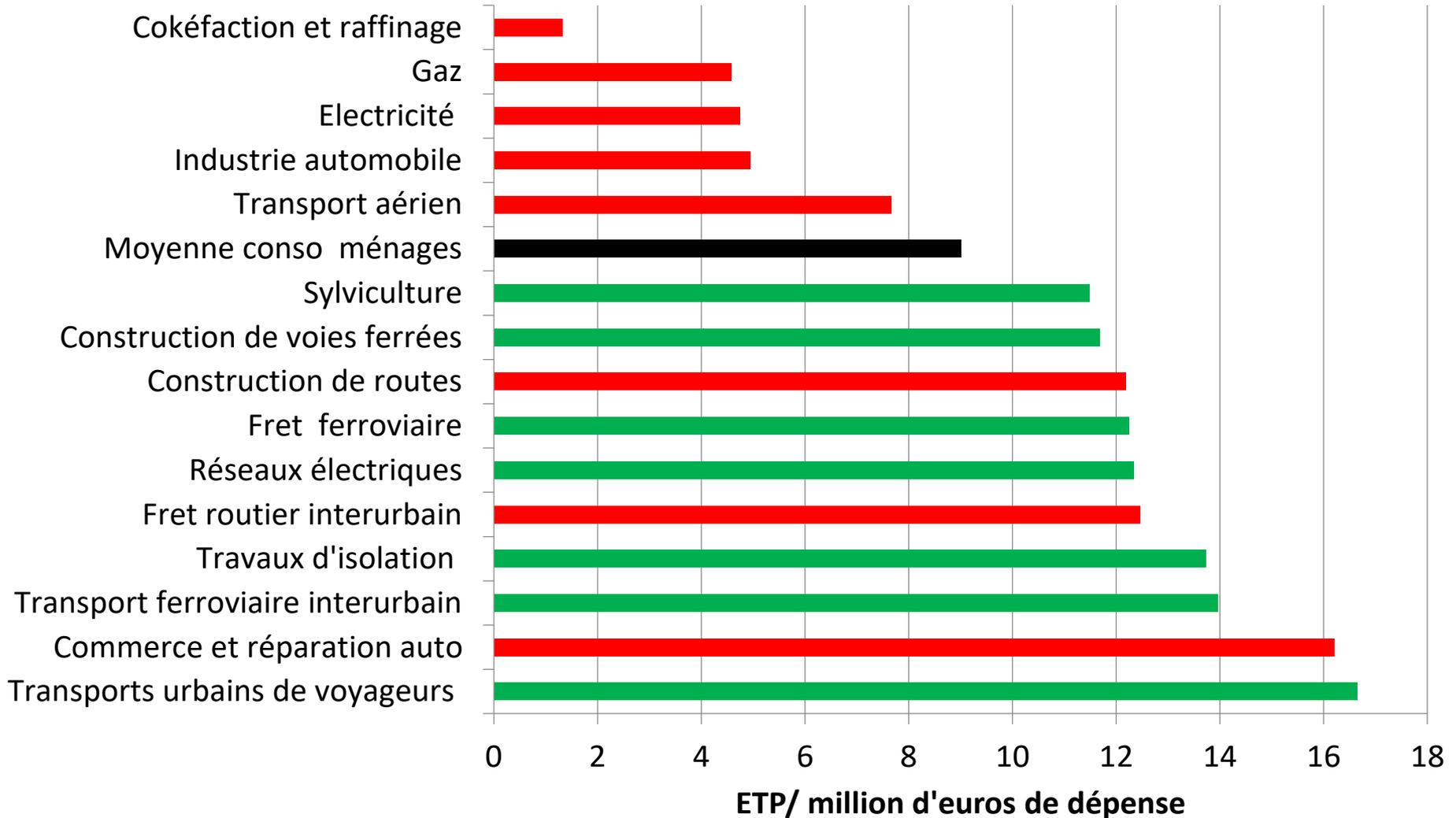


08.

Impacts de la transition énergétique

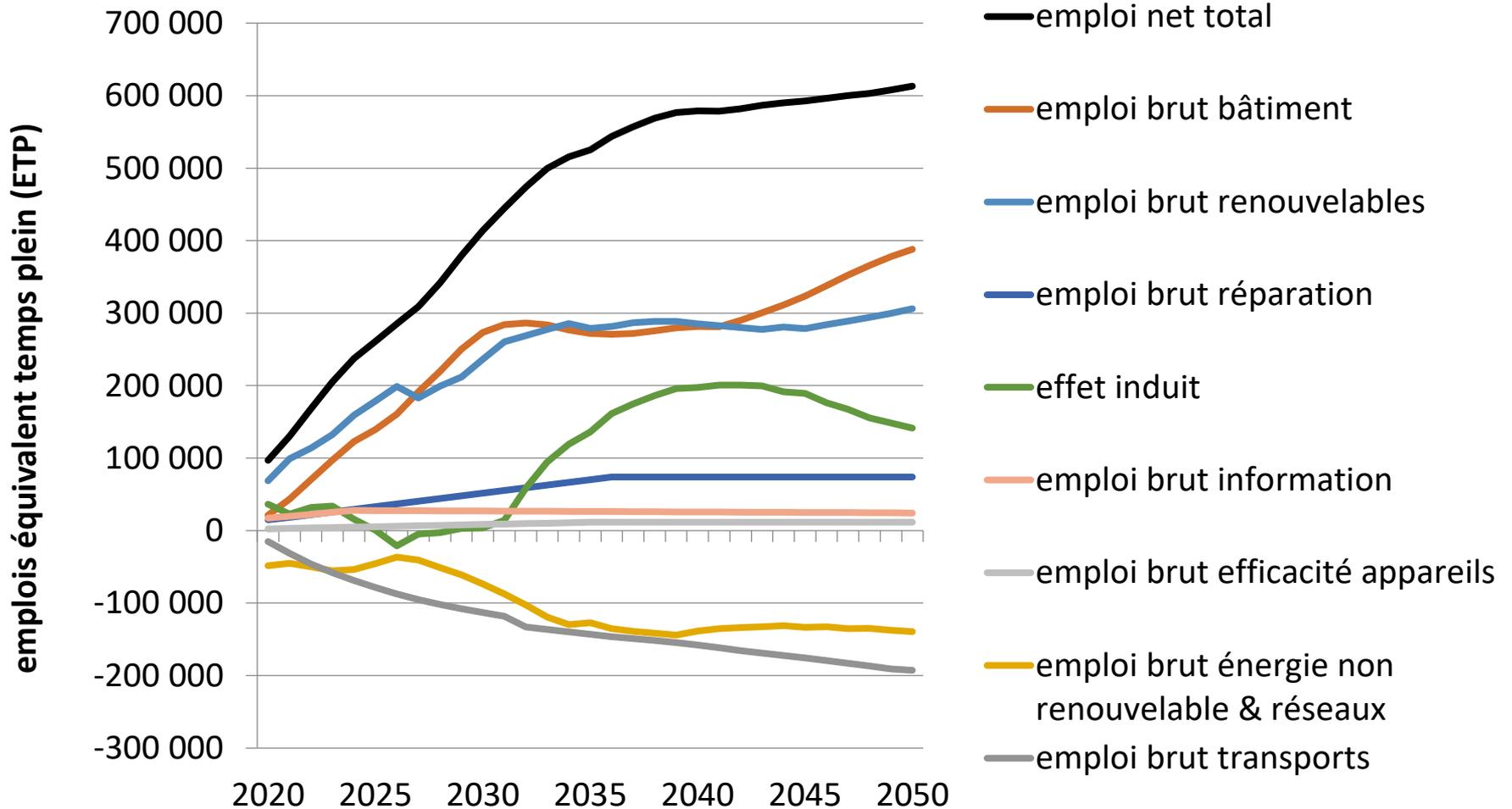
- **Impacts économiques**
- Précarité énergétique
- Qualité de l'air

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



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



09.

**Rendre possible ce qui est
souhaitable**



↳ Une nécessaire synergie entre tous les acteurs

Citoyens

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

Collectivités

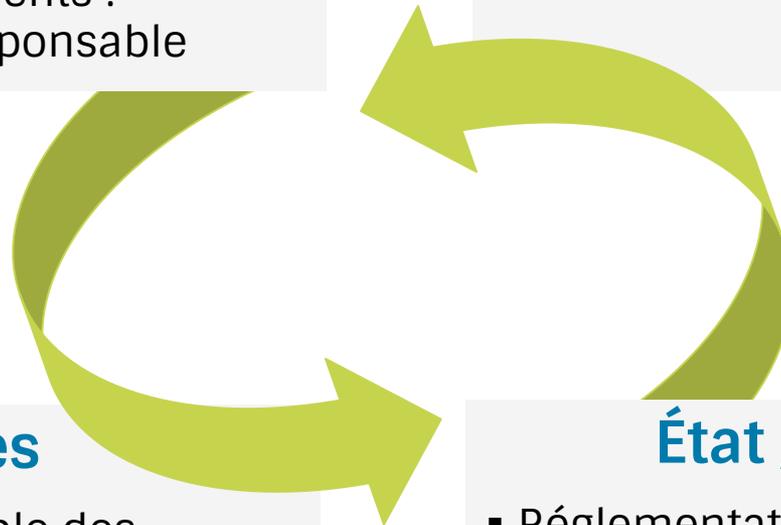
- Politiques locales
- Information/sensibilisation
- Commande publique

Entreprises

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

État / Europe

- Réglementations nationales et européennes
- Fiscalité incitative
- Soutien à la R&D

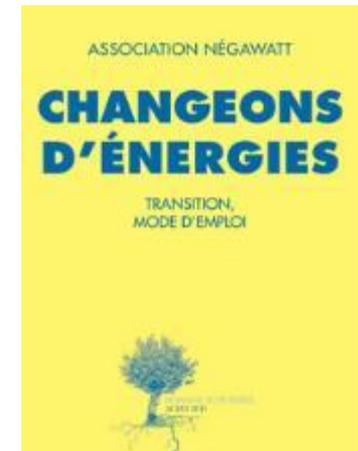
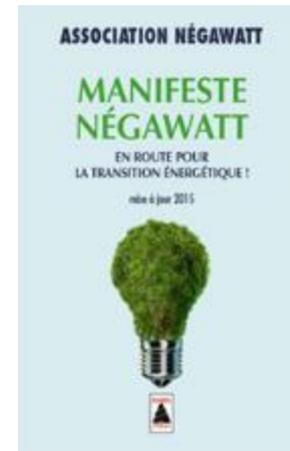


➤ Pour aller plus loin



- 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 !**

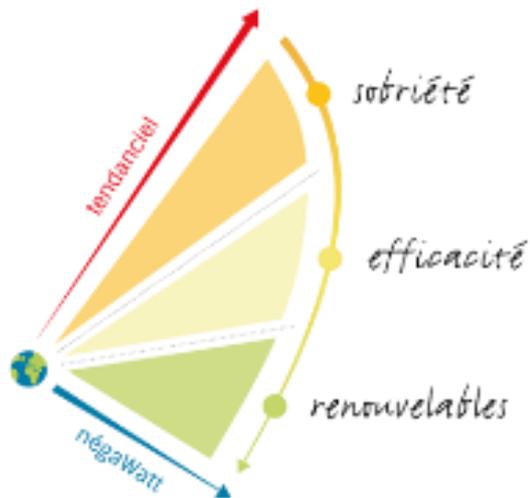
→ Adhésion et don sur negawatt.org

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

↘ Merci de votre attention !



Rendre possible ce qui est souhaitable ...



Décrypter
l'énergie

www.negawatt.org

www.decrypterlenergie.org