

Energies Renouvelables

Les modèles européens

Isigny 30 août 2021

Antoine Bonduelle



À l'invitation de La Grande Marche 2021



Résumé

Solaire

- Les ENR ont un **potentiel massif**, bien suffisant pour couvrir les besoins du continent européen et du monde.
- Un **développement systématique** de l'éolien d'abord au Danemark puis en Allemagne et au Royaume-Uni (dont offshore éolien)
- Les politiques industrielles de ces pays créent **des biens publics mondiaux** cruciaux pour la transition énergétique.
- Au cœur de la transition il y a aussi le **choix des réseaux de chaleur** par l'Etat au Danemark (cf nucléaire français) et par les métropoles en Suède (1/2 à 2/3 des bâtiments sont reliés désormais).

Eolien

Hydro



Ressource solaire : flux annuels

Dans cet exemple, la production électrique (2008) est produite dans les centrales solaire thermodynamiques respectivement pour le Monde, pour l'Union Européenne, et pour les pays méditerranéés.

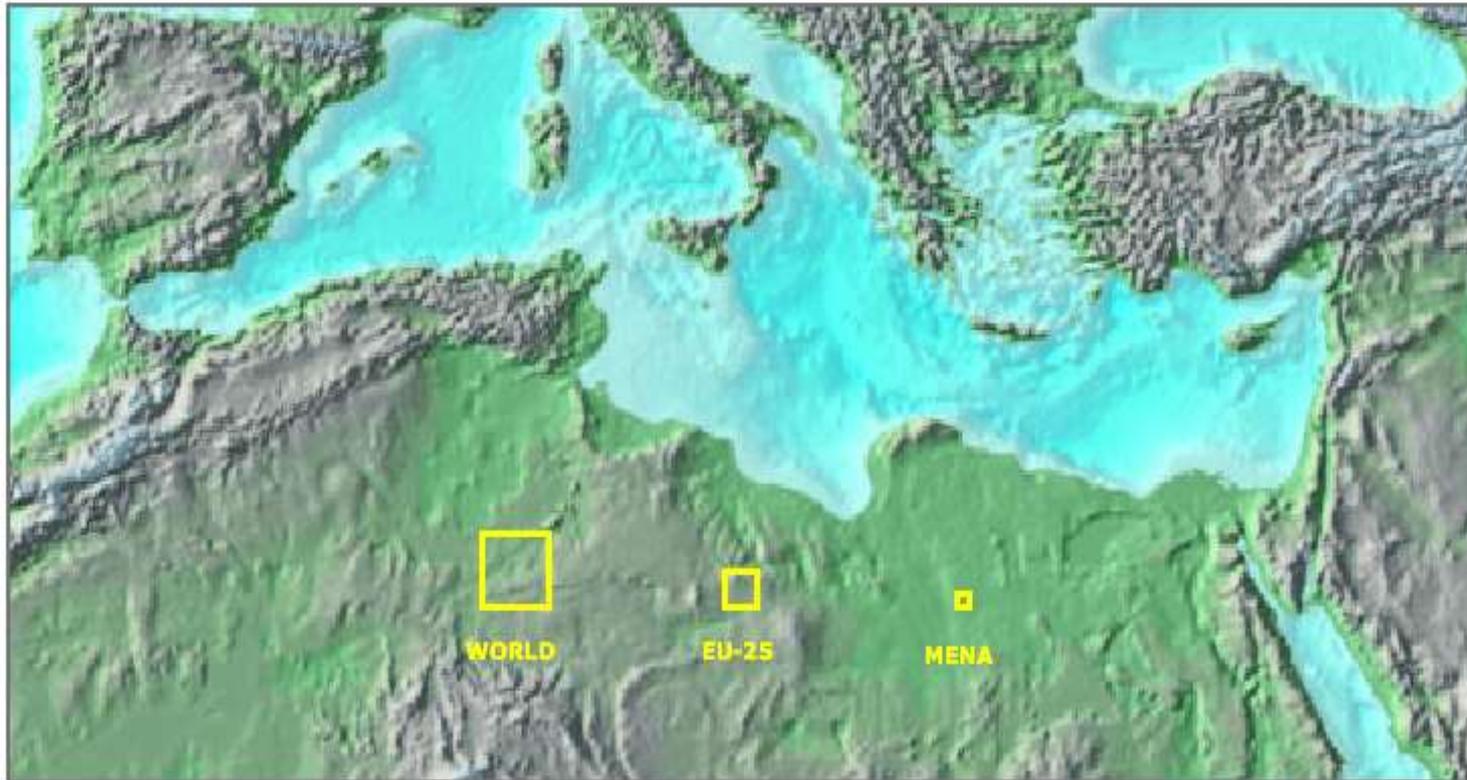


Figure 2: Areas of the size as indicated by the yellow squares would be sufficient for Solar Thermal Power Plants to generate as much electricity as is currently consumed by the World (17,000 TWh/y), by Europe (EU-25, 3,200 TWh/y) and by MENA (600 TWh/y) respectively.

L'offshore peut fournir sept fois la demande européenne d'électricité

Technical potential of offshore wind

- 25,000 TWh by 2020
- 30,000 TWh by 2030

EU energy demand

- 3,537 TWh by 2020
- 4,279 TWh by 2030



Novembre 2020. L'éolien en mer « devrait être multiplié par 25 d'ici à 2050 », peut-on lire dans une esquisse de document d'orientation rédigée par la Commission européenne. À l'heure actuelle, la capacité européenne offshore se situe à **23 Gigawatts (GW)**. La stratégie divulguée prévoit toutefois de la porter à 60 GW d'ici à 2030 et à **300 GW** d'ici à 2050.



Huit centrales de 100kmX100 km produiraient toute l'électricité de l'UE

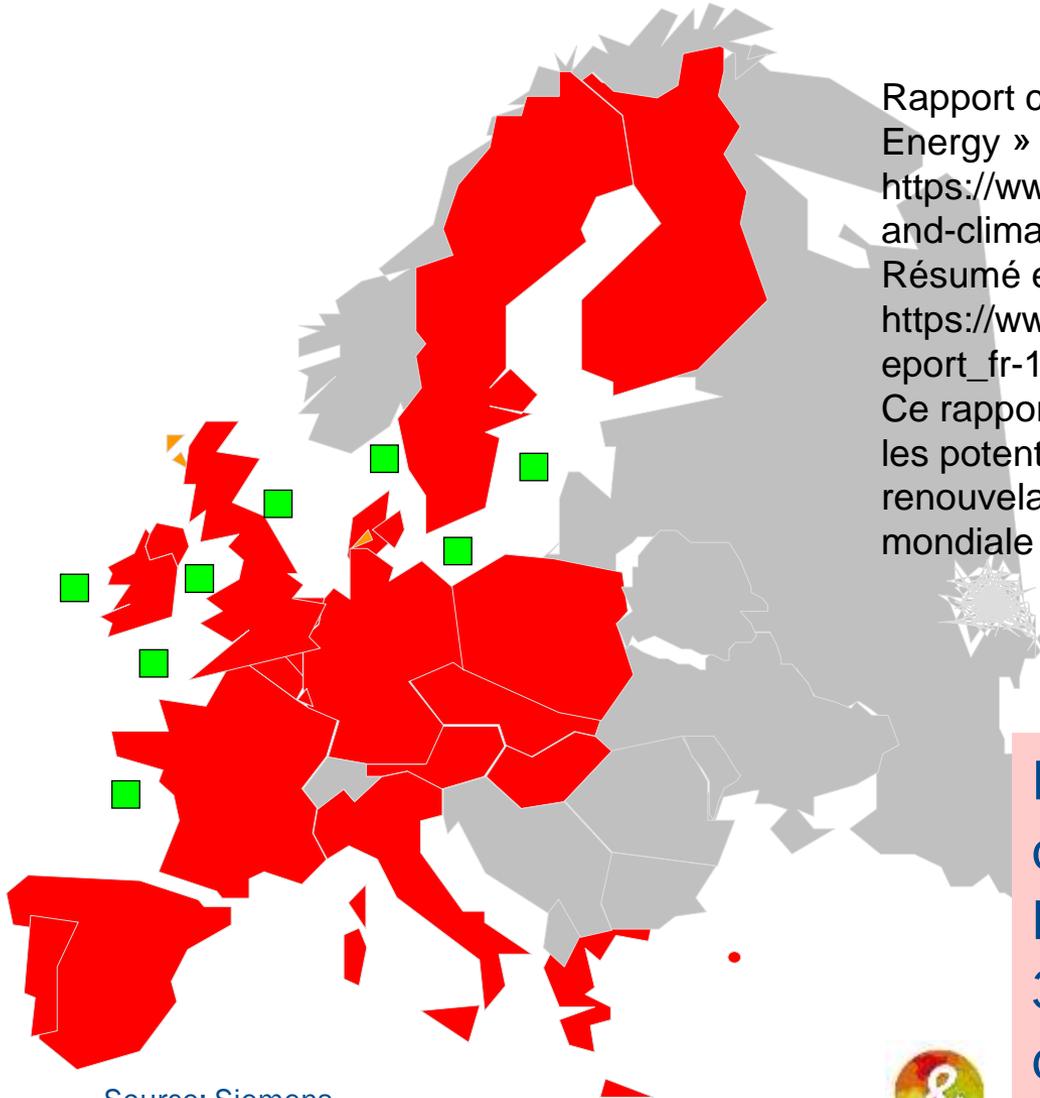
Rapport complet « Special Report on Renewable
Energy » (SRREN)

<https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>

Résumé en Français

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_fr-1.pdf

Ce rapport du GIEC démontre de façon extensive que les potentiels techniques accessibles des énergies renouvelables dépassent de plusieurs fois la demande mondiale



Source: Siemens



Huit centrales
offshore de 100x100
km peuvent produire
3,000 TWh – soit la
demande électrique
de l'UE

L'hydraulique

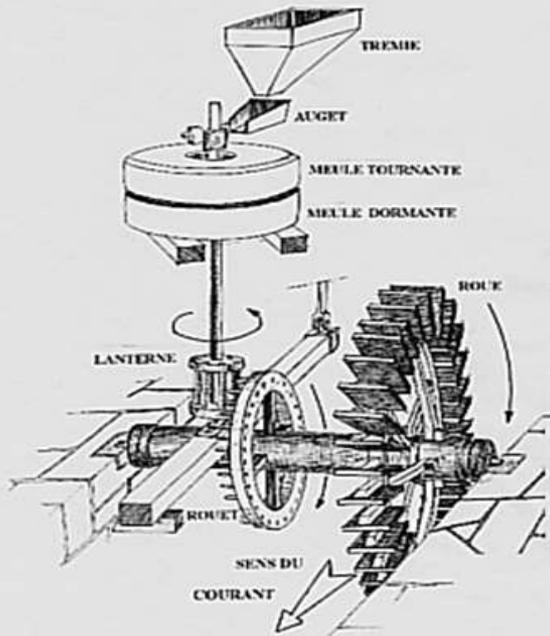


Schéma d'un moulin
mettant en valeur son mécanisme et son fonctionnement.
(Dessin J.L. Rousseau)

- La plus mature des technologies renouvelables a été présente dès l'origine.
- Elle produit le plus d'électricité : 4350 TWh (contre 2700 nucléaire, 1272 éolien et 6000 TWh gaz) et augmente encore
- Elle représente 17% de l'électricité dans le monde (contre 10% environ pour le nucléaire et 9% pour solaire et éolien)

Une soutenabilité en question (surtout pour les nouvelles installations)

1. Problèmes d'habitat et d'usage des sols dans des vallées fertiles noyées par le réservoir
2. Questions posées par la sédimentation et le comblement (0,5 à 1%/an selon la Banque Mondiale)
3. Questions posées par les dépenses d'énergie indirecte pour les barrages et par leur entretien
4. Questions posées par les émissions de méthane à la construction et à l'usage notamment en zone tropicale
5. Questions posées par la concentration de polluants (mercure notamment au Québec)
6. Menaces sur la production dans un contexte du réchauffement climatique



Les gagnants

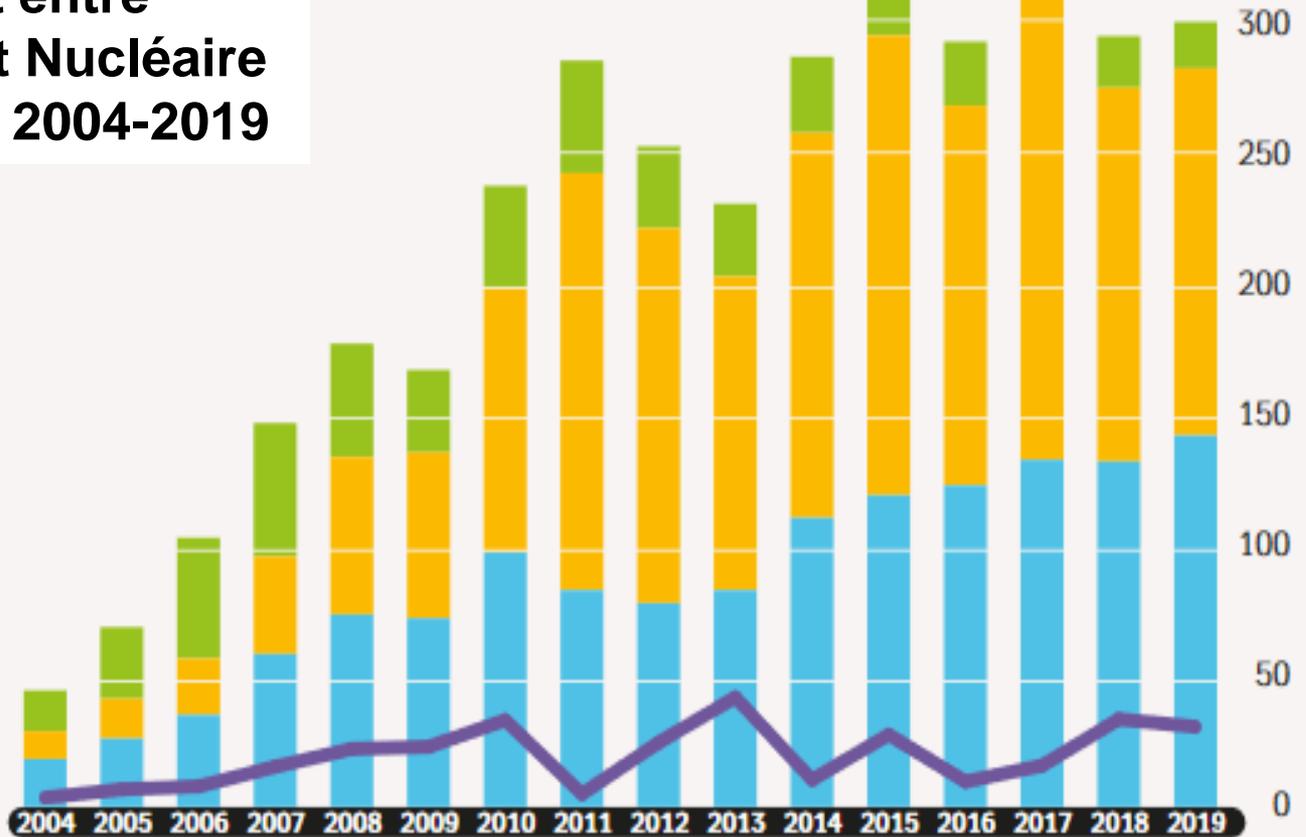


Eolien et solaire passent **de la marge au centre** du système énergétique. Ils sont les **ressources dominantes** dans la plupart des scénarios étudiés par le GIEC pour limiter le réchauffement à 2°C ou 1,5°C

Investissements dans le monde: c'est plié pour le nucléaire

Décisions mondiales
d'investissement entre
Renouvelables et Nucléaire
Milliards de US\$, 2004-2019

■ Other Renewables
■ Solar
■ Wind
— Nuclear*



WNISR – Mycle
Schneider

Deux énergies décollent



- **L'éolien et le solaire** vont devenir dominantes sur la production d'électricité en Europe. Ce sont deux énergies **variables mais prévisibles**. Leur gestion par un système décentralisé et maillé est l'objet de multiples développements.

<https://fee.asso.fr/pub/enquete-harris-lopinion-des-francais-sur-leolien-tres-stable-et-largement-favorable/>

Pour introduire le sujet des systèmes 100% ENR électriques, voir le document (en français) de Agora : https://static.agora-energiawende.de/fileadmin2/Projekte/2012/12-Thesen/Agora_12reflexions_transition_energetique.pdf

Les pionniers

[DK] En phase de développement, la transparence, la coopération entre les acteurs et avec le monde de la recherche vont jouer un rôle central.

- C'est d'abord une réussite du « fordisme », qui multiplie la production en série et permet l'ouverture de nouveaux marchés puisque le produit devient plus abordable et fiable
- Il bénéficie du **système danois coopératif** qui limite la propriété privée des turbine (les coopératives locales sont encouragées), et par un système progressif de développement



La Bonus 30 kW est réalisée par un fabricant de machines agricoles en conversion.

<http://ele.aut.ac.ir/~wind/en/core.htm>

Bonus-Siemens reste avec Vestas l'acteur dominant de l'éolien mondial quant au parc installé 89.6 GW et 100.4GW en 2019 (sur environ 650 GW dans le monde)



Des outils politiques



La MAN Growian (3 MW de 1983-87) même si elle fonctionne, fait peu avancer la filière car elle relève d'un seul acteur.

Pour développer son éolien, le Danemark évite le modèle dominant (F, USA, D...). Dans les grands pays, des acteurs subventionnés aéronautiques échouent avec une grosse machine. En échange d'un crédit d'impôt, les autorités danoises **exigent la transparence du fonctionnement des prototypes, la séparation des acteurs de la filière, multiplient la recherche.** On finance des machines **incrémentales** (50 kW, 100 kW, 200 kW...) avant de passer aux suivantes. Ceci améliore ainsi à la fois la machine et son fonctionnement et son **environnement économique et institutionnel** (banques, assurances, normes).

Bourse, enchères et tarifs fixes

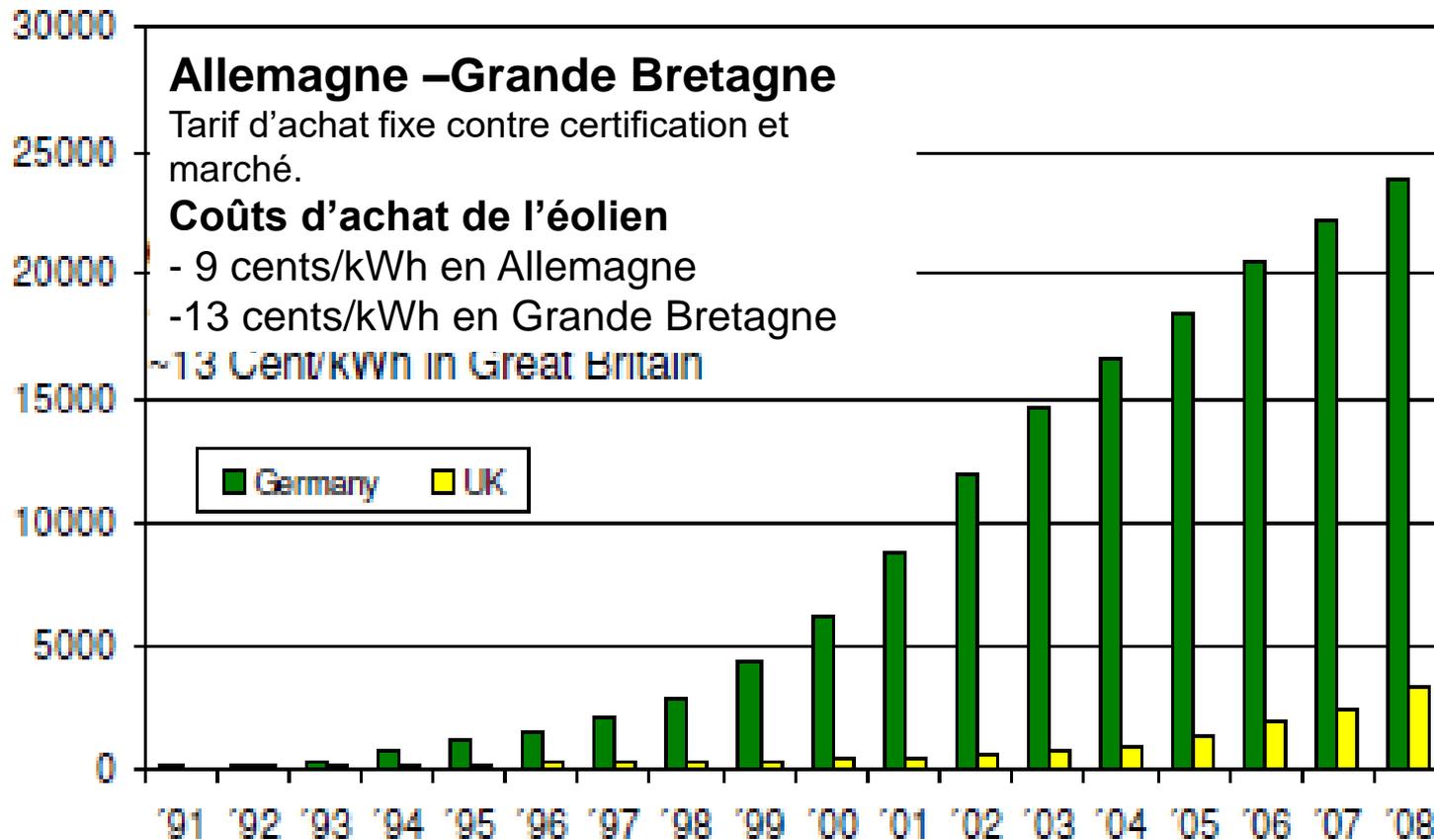


- Les marchés de l'électricité ont **échoué** historiquement face aux primes fixes et aux **tarifications d'achat** notamment en période de développement de nouvelles technologies [éolien D vs UK].

Il faut distinguer les systèmes de marché par enchères et les systèmes de vente sur le marché. Dans le premier le projet devient « bankable », même si le prix offert est inférieur au marché (donc « sans subvention »). A l'inverse, la rémunération par la bourse d'échange (même avec une priorité d'achat) rend le financement de projet quasi-impossible. La bourse d'échanges régule les prix de court terme mais son signal est trop confus pour l'investissement dans un projet long terme. L'exemple de l'échec britannique page suivante...

Marché « boursier » contre tarif fixe

1990-2008 : L'Allemagne construit **dix fois plus d'éolien** que le Royaume-Uni pour **moins cher**. Il existe d'autres différences entre pays, comme l'assentiment populaire ou celui des acteurs économiques locaux (syndicats, corporations...), mais c'est le tarif fixe d'achat qui explique le mieux la différence.



Enchères: prix en chute

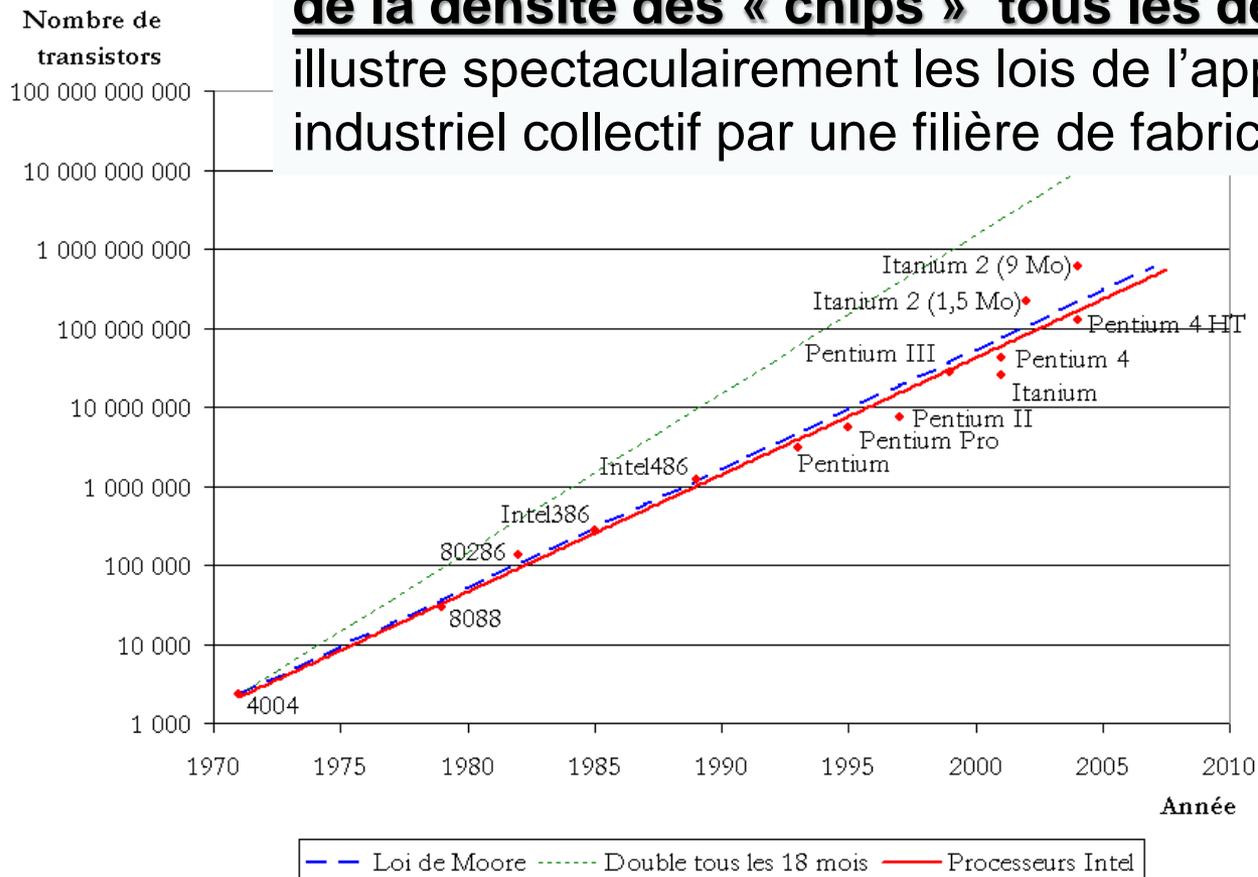


- Eolien terrestre et solaire PV au sol < 60€/MWh
- Nucléaire Hinckley Point > 100 €/MWh
- Eolien offshore mer du Nord 2023 <50€/MWh
[dont Dunkerque 2019 3 offres « sans subvention »]
- PV au sol Chili ou Arabie Saoudite <30 €/MWh derniers AO 20 \$/MWh (!) [IRENA] et une proposition au Portugal à 15 €/MWh.
- Electricité (en gros) 60 €/MWh
- Electricité (détail) 120-150 €/MWh

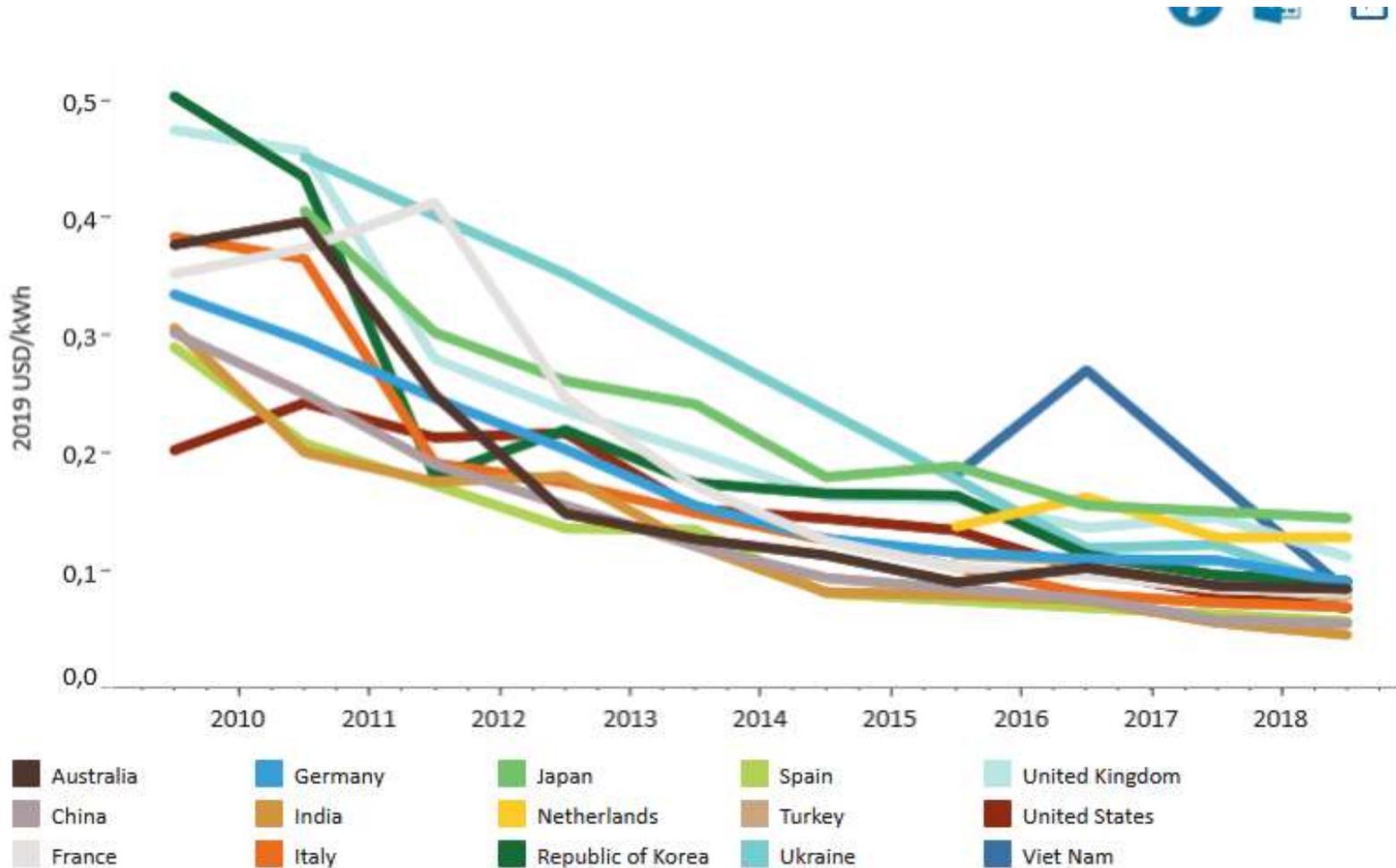


Loi de Moore: quarante ans de validité pour l'électronique

Théorisée par Gordon Moore, co-fondateur de Fairchild puis patron de Intel, cette loi **anticipe un doublement de la densité des « chips » tous les deux ans.** Elle illustre spectaculairement les lois de l'apprentissage industriel collectif par une filière de fabrication.

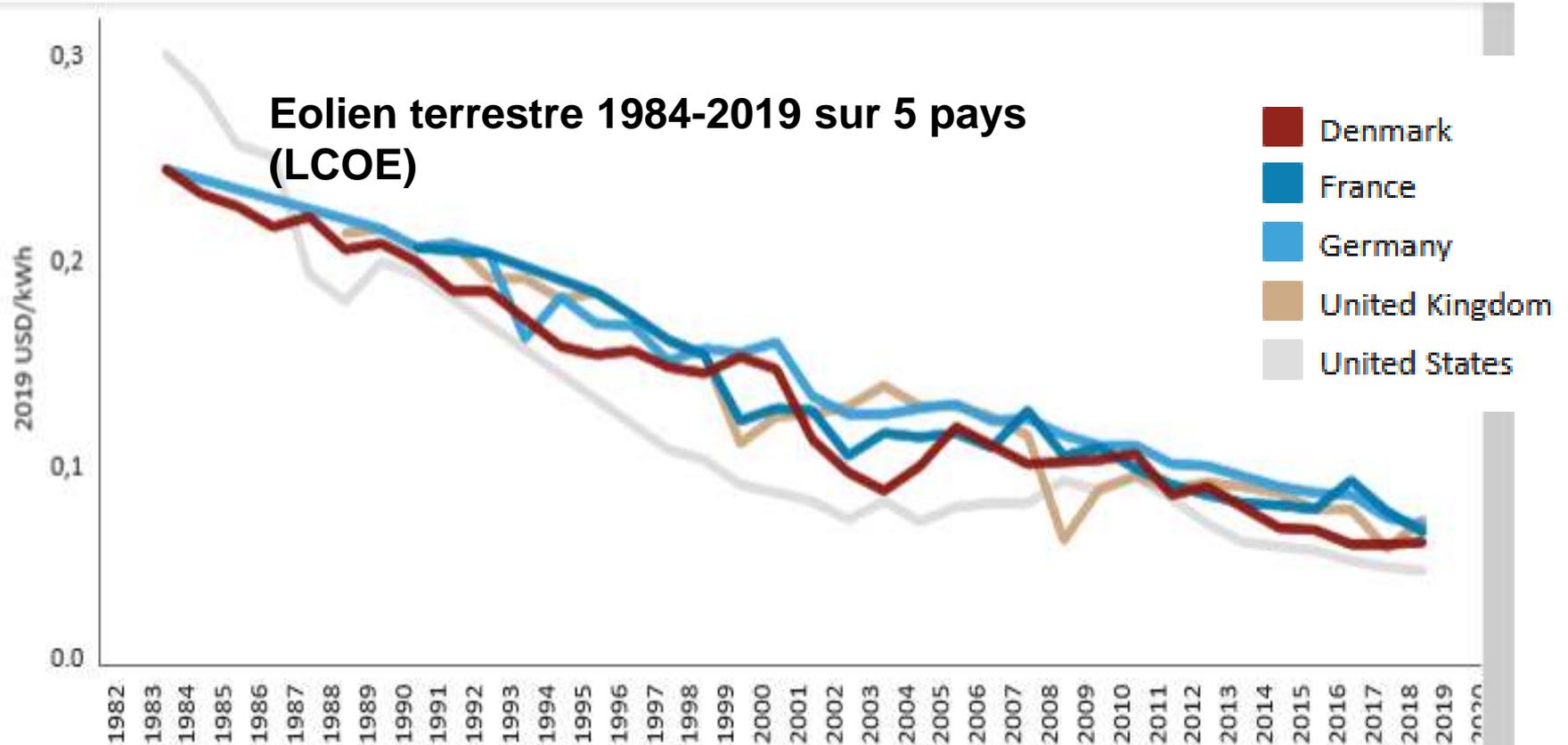


Prix des projets Photovoltaïques



PV à grande échelle/ prix complet / source: bases IRENA 2020

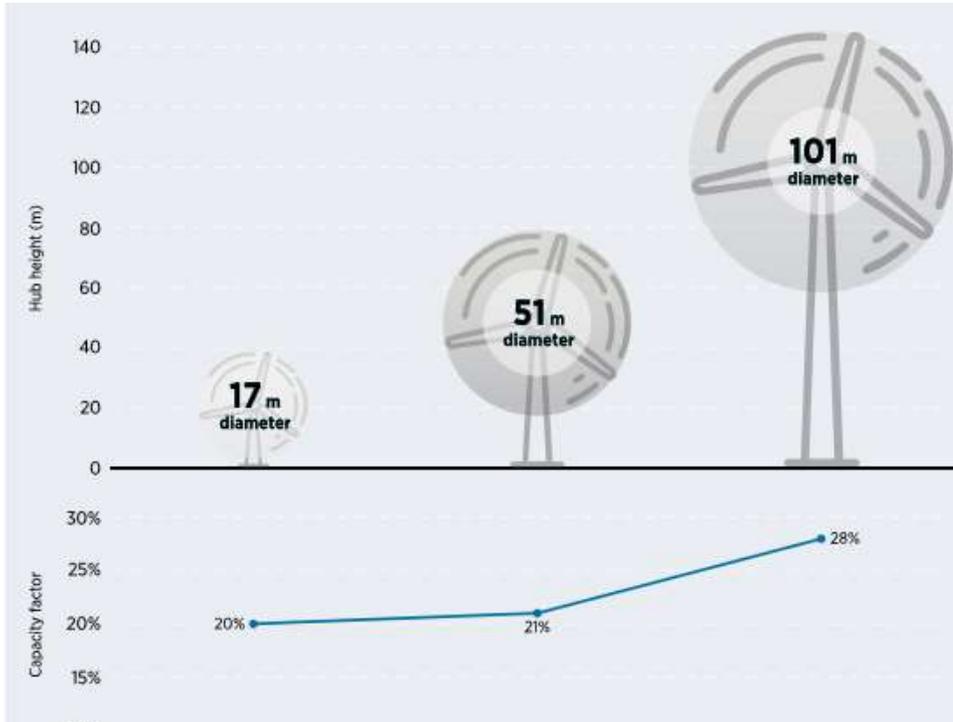
Pour l'éolien la courbe est similaire



Note: All LCOE values are calculated based on project level data for total installed costs and capacity factors from the IRENA Renewable Cost Database, with other assumptions necessary for LCOE detailed in the source link below, notably an assumption of a weighted-average cost of capital of 7.5% real in the OECD and China and 10% elsewhere.

Source: IRENA (2020), Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

Eolien: des déterminants différents du PV



[Document IRENA] Dans un même lieu, la vitesse du vent est nettement plus importante en hauteur (proche du cube de la hauteur). Le facteur de charge annuel pourra être bien plus élevé toutes choses égales par ailleurs pour une plus grande éolienne.

- ✓ Productivité bien plus élevée pour des **hauteurs plus importantes**
- ✓ Un moindre coût de fabrication lié à **la taille du rotor**
- ✓ Un des principaux critères de rentabilité des parcs est la **logistique d'installation** initiale
- ✓ Pour le reste il s'agit de critères de **massification** et d'apprentissage «classiques» fonction de l'organisation industrielle et du nombre d'unités construites

Des grosses machines-outils... produites en série

Plus tard, c'est aussi la plus grosse usine qui gagne. Par exemple pour l'éolien, la Navarre va promettre vers 1995 un tarif d'achat fixe contre l'installation d'une usine du constructeur Vestas, qui va multiplier les productions [en milliers d'exemplaires – de machines de 300kW, la taille standard à l'époque]. La province passe à 100% ENR électrique, elle gagne des emplois et valorise ses ressources.

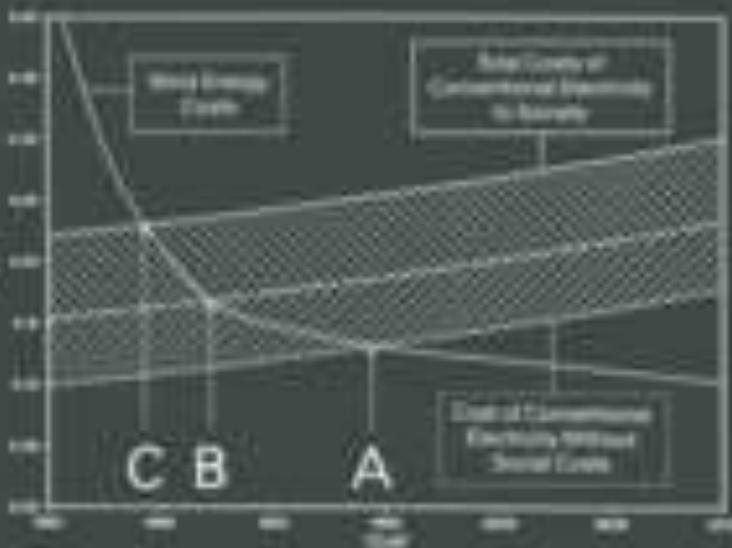


Le parc de Serralta de Cabanillas en Navarre, datait de 1998. Ses 53 turbines [Ecotecnia 300kW] sont remplacées par 9 turbines Nordex pour une augmentation de 30% de sa production.

Olav Hohmeyer

Social Costs of Energy Consumption

Springer-Verlag



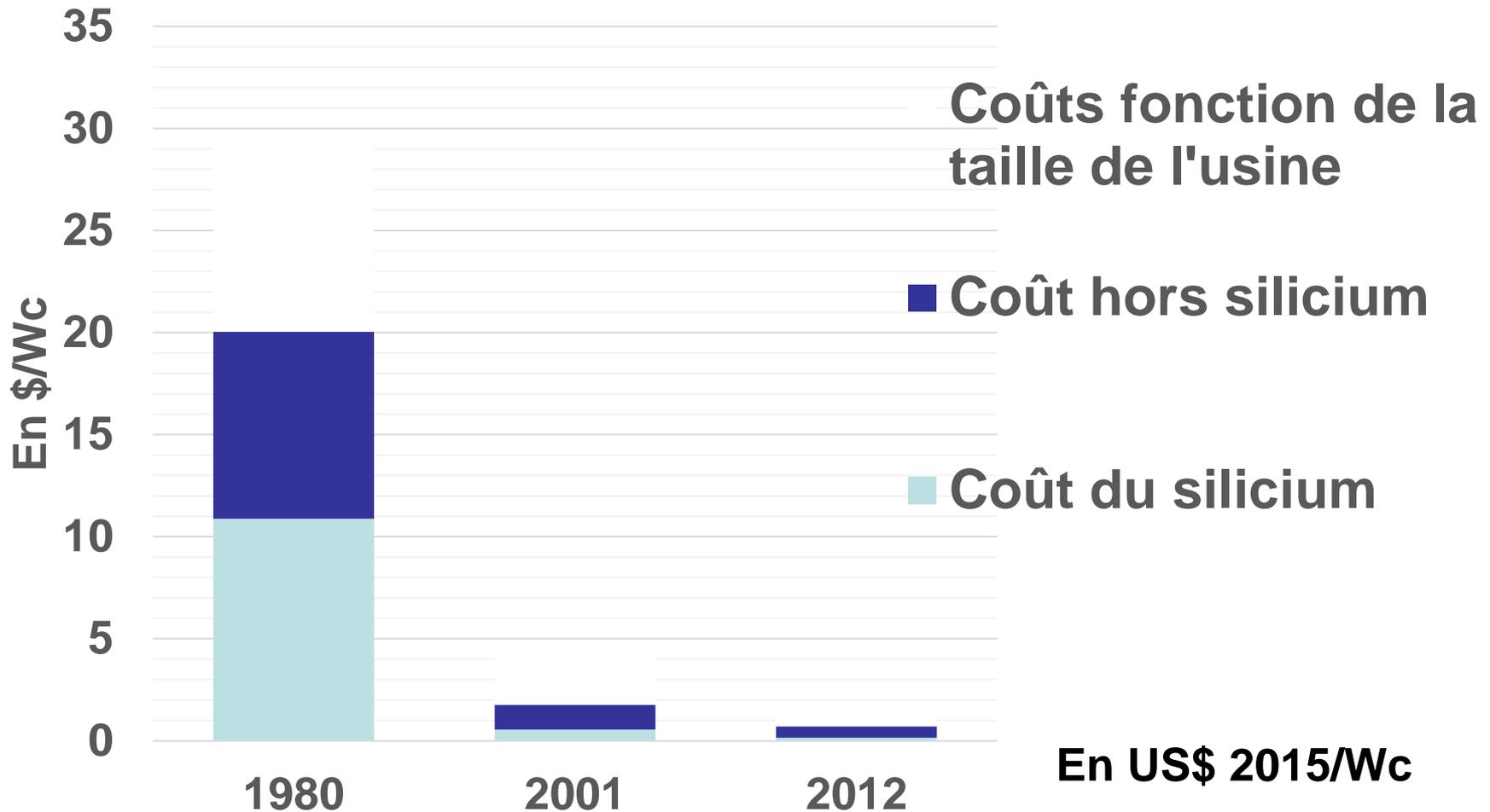
Social Costs of Energy
Consumption, Springer Verlag
1988

Pouvait-on prévoir ces baisses des coûts?

En 1988, Olav Hohmeyer, professeur à Oldenburg (Basse-Saxe), prévoit pour 2017 le croisement entre l'électricité éolienne et solaire avec les sources fossiles (gaz) en se basant sur les courbes d'apprentissage. Il prévoit un croisement dix ans plus tôt si l'on applique une taxation carbone-environnement.

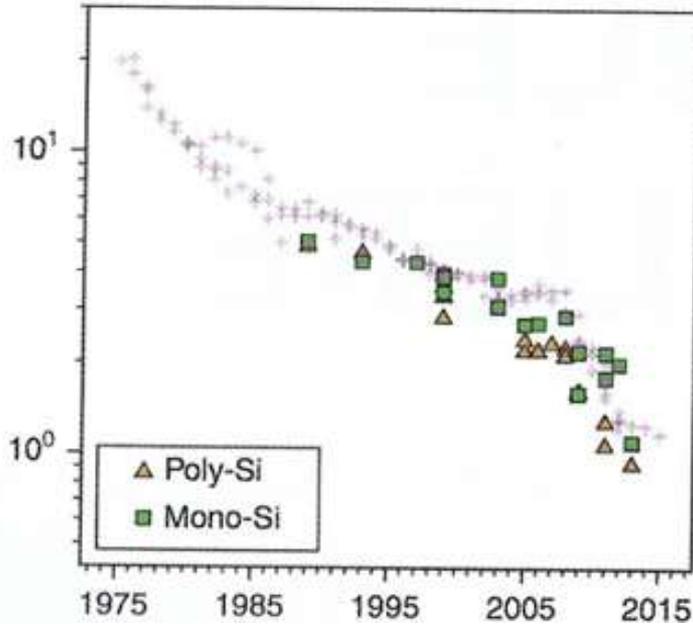
PV: évolution du coût

La part "matière" diminue spectaculairement et donc l'empreinte.

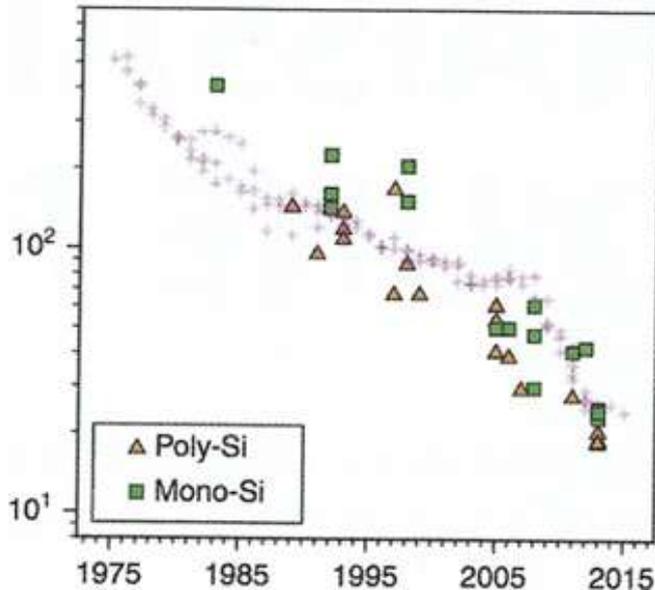


Le coût et l'empreinte

b Bilan énergétique, en années



c Émissions de GES, en gCO₂/kWh

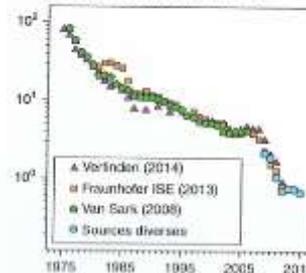


Pour le PV, un bénéfice important de l'industrialisation est la baisse des empreintes unitaires conjointement au prix. En effet que la plus grande part des coûts vient des fournitures matérielles (silicium, etc.) ce qui explique cette corrélation.

[Journal du Photovoltaïque, N°38-2021 p.31]

Voir ce chapitre « énergie grise » en annexe.

a Coût par Wc, en USD 2015



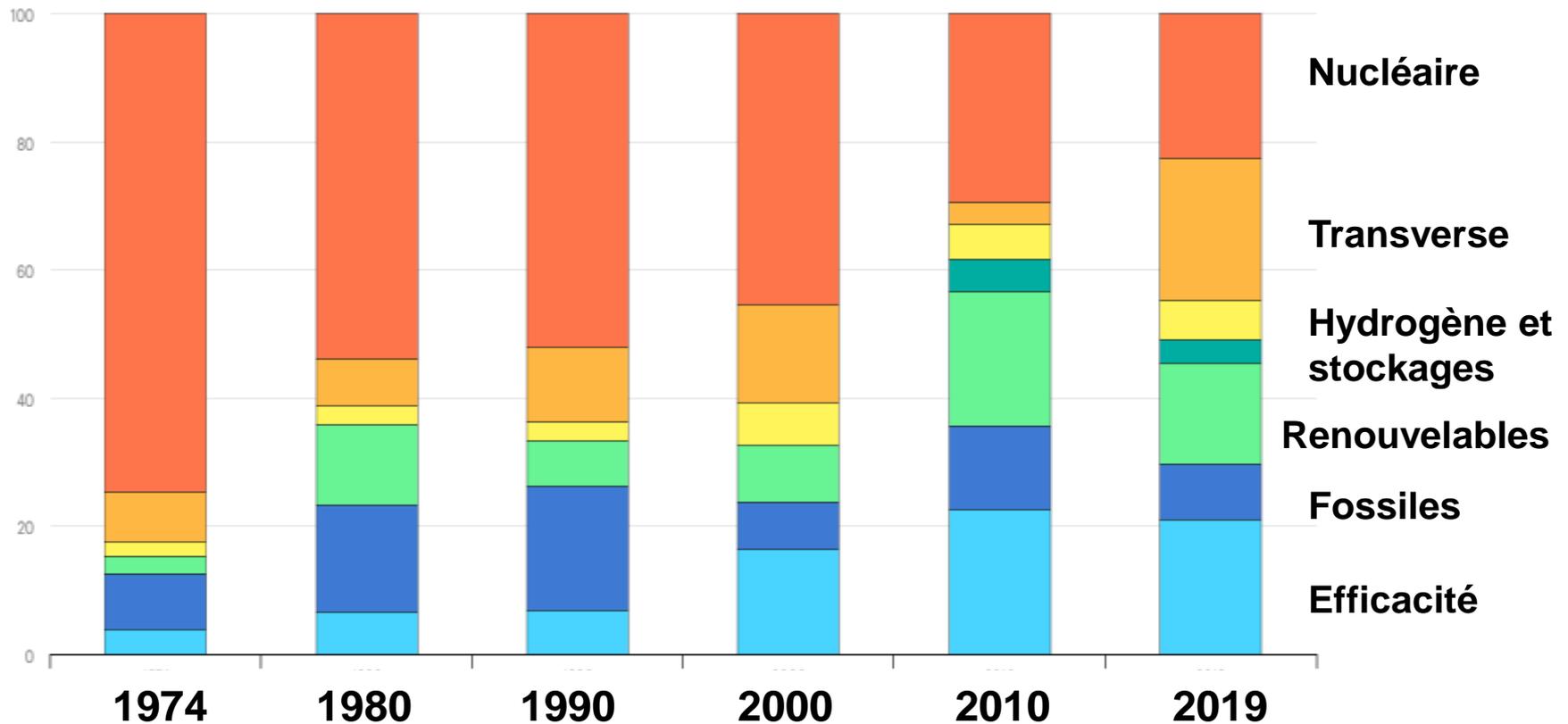
PV: échec ou non des européens?

- ✓ La logique industrielle du PV est celle d'une croissance mondialisée des productions et des demandes. Comme l'ordinateur « local » des Brésiliens des années 80, un PV « tout-relocalisé » a peu de sens.
- ✓ Le prix des modules est devenu si limité que les valeurs ajoutées sont passées dans le reste du système: installation, conception, négoce, supports.... Il y a eu « commodification »
- ✓ Le gain collectif planétaire du PV bon marché est très supérieur au coût de développement payé par les européens (recherche-développement puis « market-pull » via les tarifications garanties). Ce développement est un « bien public mondial » selon le GIEC [AR6]. (*)
- ✓ Ni la France ni l'Allemagne n'ont accepté ce qu'aurait impliqué le maintien de leur leadership mondial sur le PV: arrêt du soutien aux autres énergies, prêts gratuits aux fabricants... et exportations agressives sur l'ensemble du monde.

(*)Et il change la donne aussi face à l'énergie nucléaire

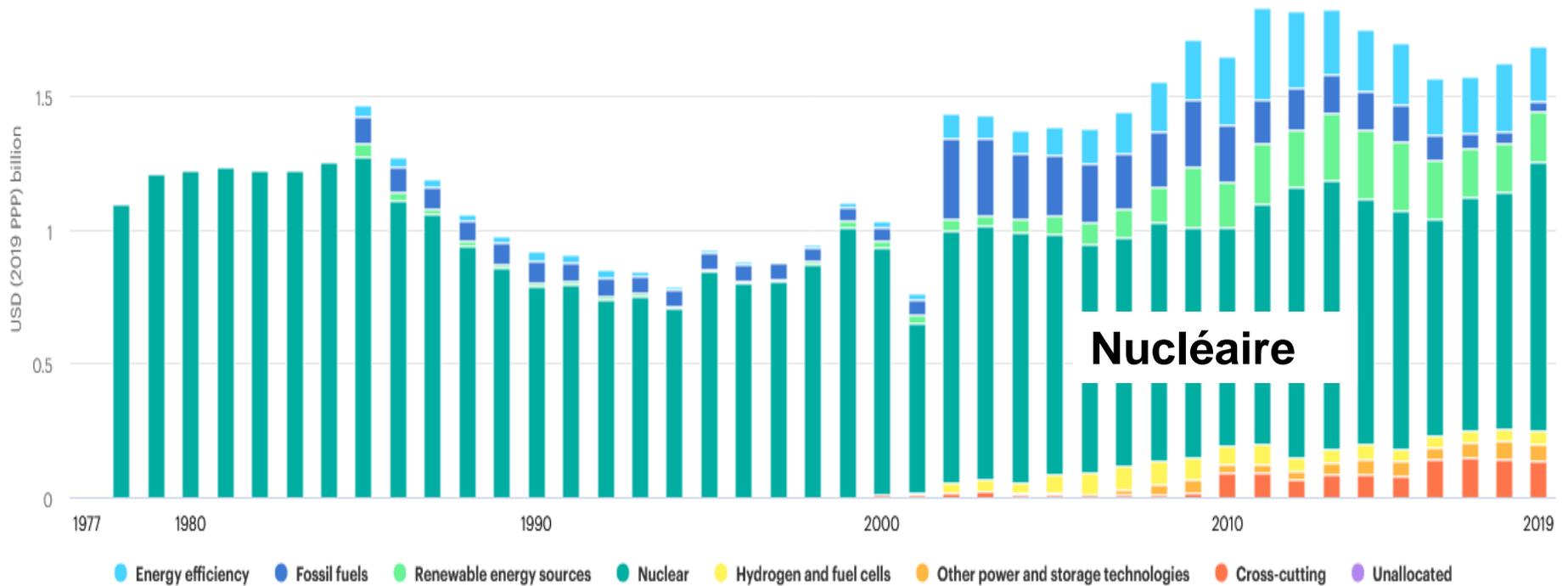
Part des R&D (pays riches)

Après 2000, le nucléaire (en rouge) perd sa domination écrasante jusqu'alors dans la recherche publique du monde entier sur l'énergie... [AIE 2020]



La R&D en France reste nucléaire

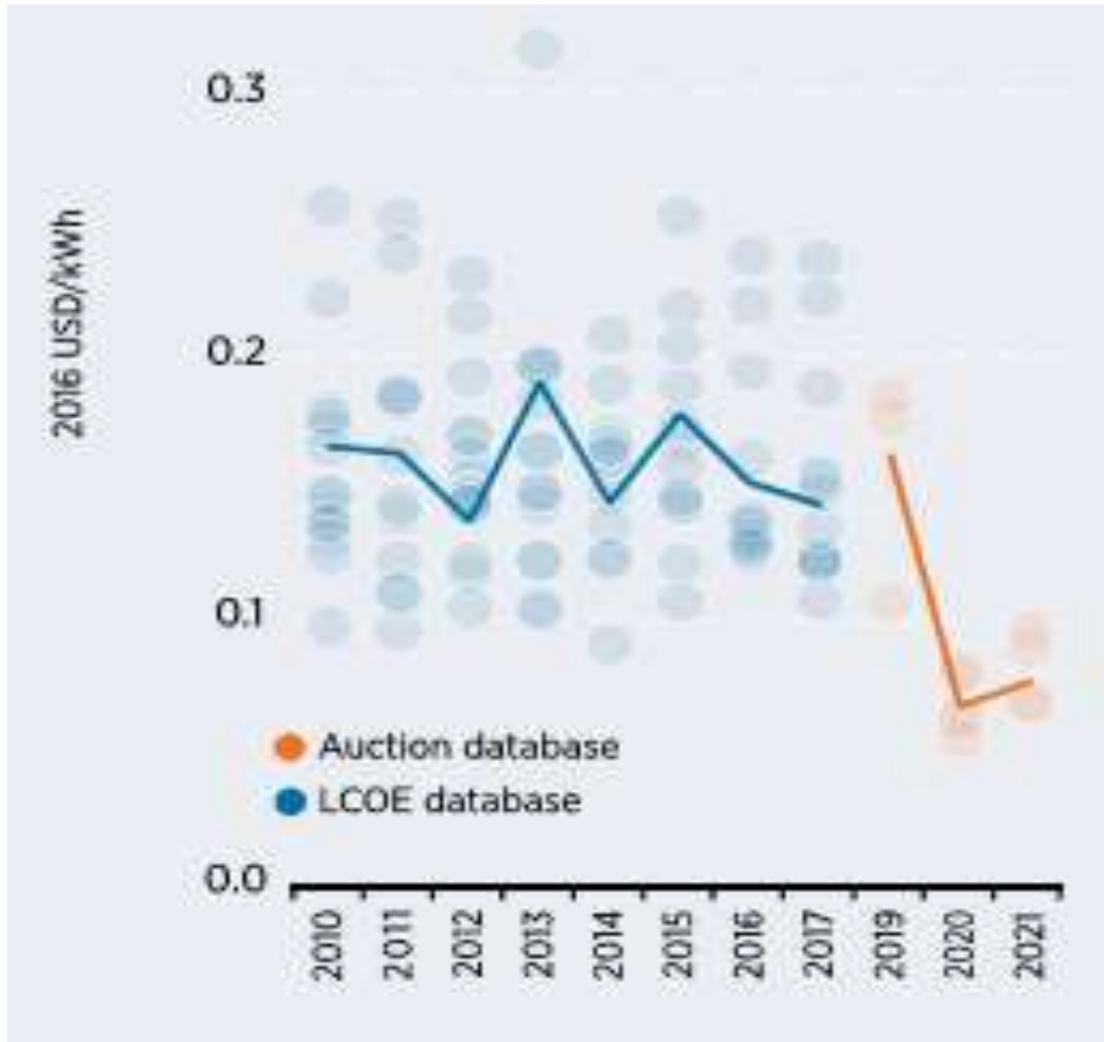
France: série AIE 1977 2019. Les renouvelables changent au gré des gouvernements. Les smart grids apparaissent...le nucléaire reste dominant dans les budgets de recherche-développement.



IEA. All rights reserved

<https://www.iea.org/reports/energy-technology-rdd-budgets-2020>

L'éolien offshore débouche



Les prix constatés sur les projets passés et sur les enchères montrent que les prix sont désormais « **sans subvention** » en mer du Nord, c'est-à-dire moins chers que le prix moyen du courant *[trois projets présentés lors de l'appel d'offre de Dunkerque (2019) sont dans ce cas]* *[source IRENA]*

Des plans massifs offshore



23 000 MW aujourd'hui,
+60 GW en 2030 programmés,

300 GW prévus en 2050
(Commission Européenne) soit
plus de la moitié de l'électricité
européenne (!)

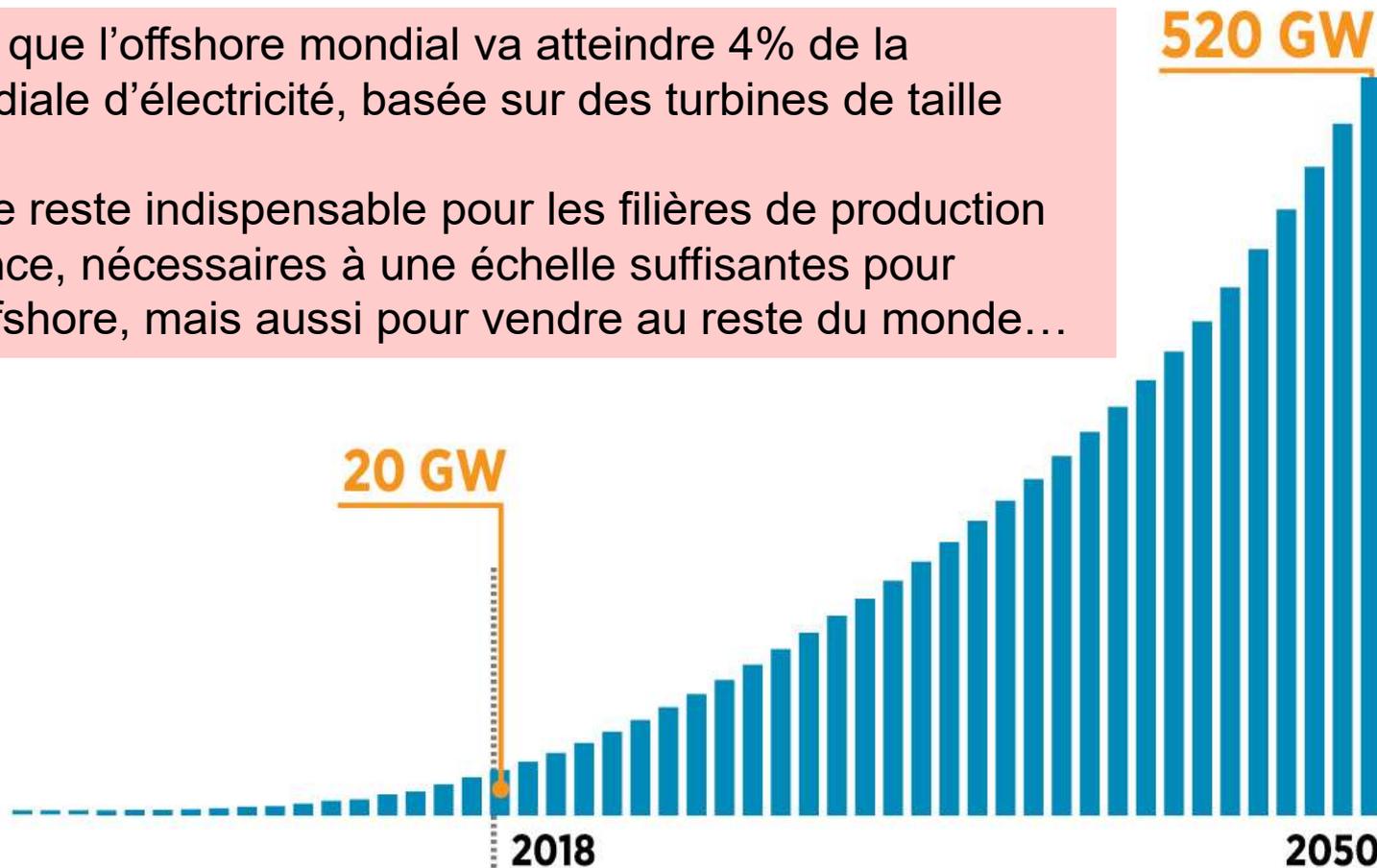
L'industrie annonce **500 GW...**



Monde : 520 GW offshore en 2050... mais l'éolien à terre reste dominant

L'IRENA estime que l'offshore mondial va atteindre 4% de la production mondiale d'électricité, basée sur des turbines de taille croissante.

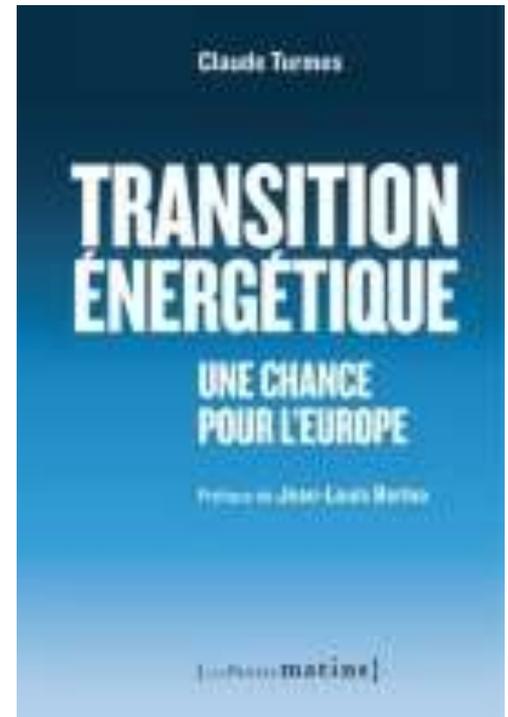
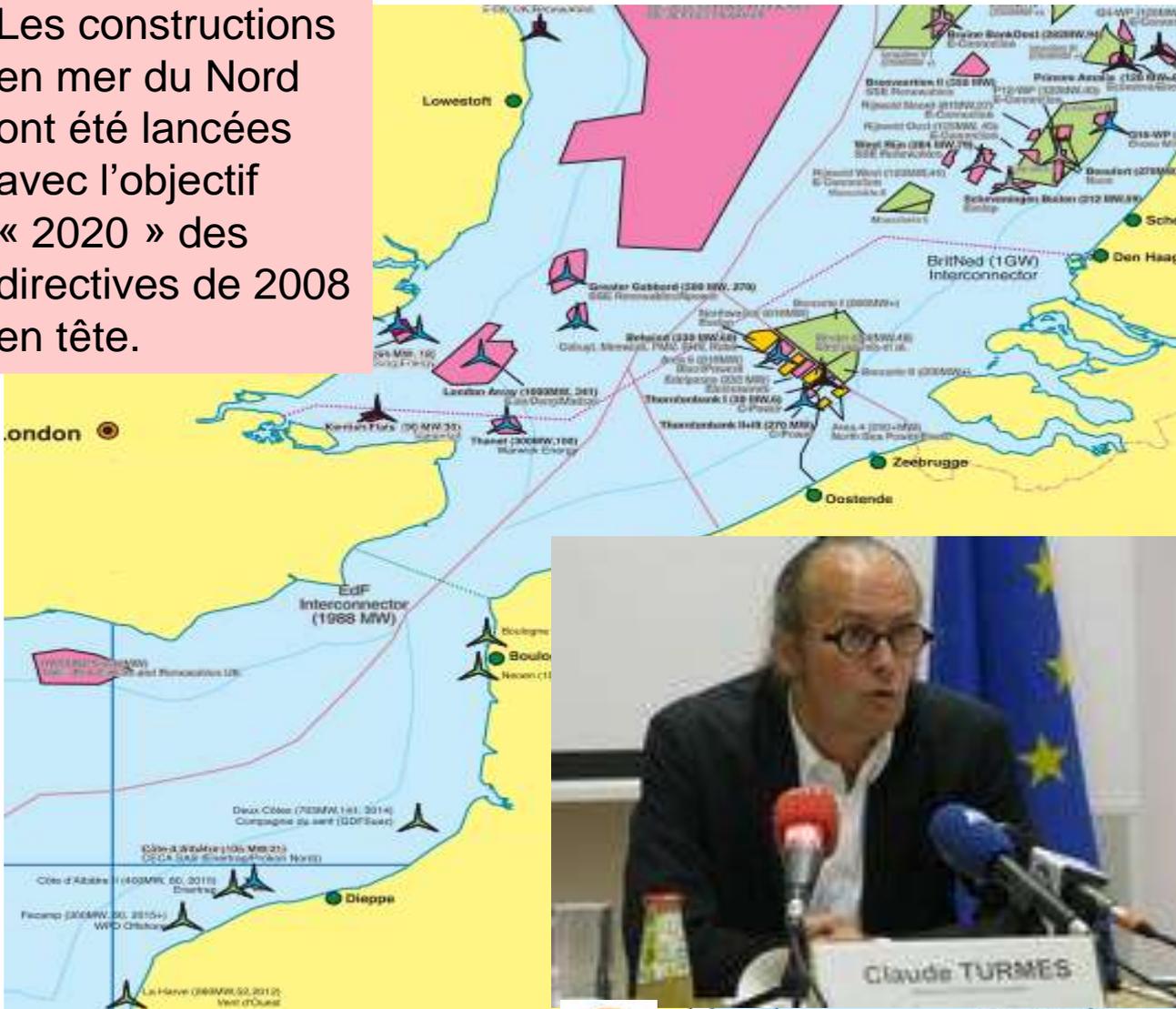
L'éolien terrestre reste indispensable pour les filières de production et de maintenance, nécessaires à une échelle suffisantes pour « essayer » offshore, mais aussi pour vendre au reste du monde...



En UE, l'éolien maritime rattrape le terrestre dans dix à quinze ans. Les conditions –surtout en mer du Nord- y sont en effet particulièrement favorables en Europe à l'éolien posé ou flottant (densité, mers adaptées, production saisonnière...)

L'offshore, produit des directives

Les constructions en mer du Nord ont été lancées avec l'objectif « 2020 » des directives de 2008 en tête.

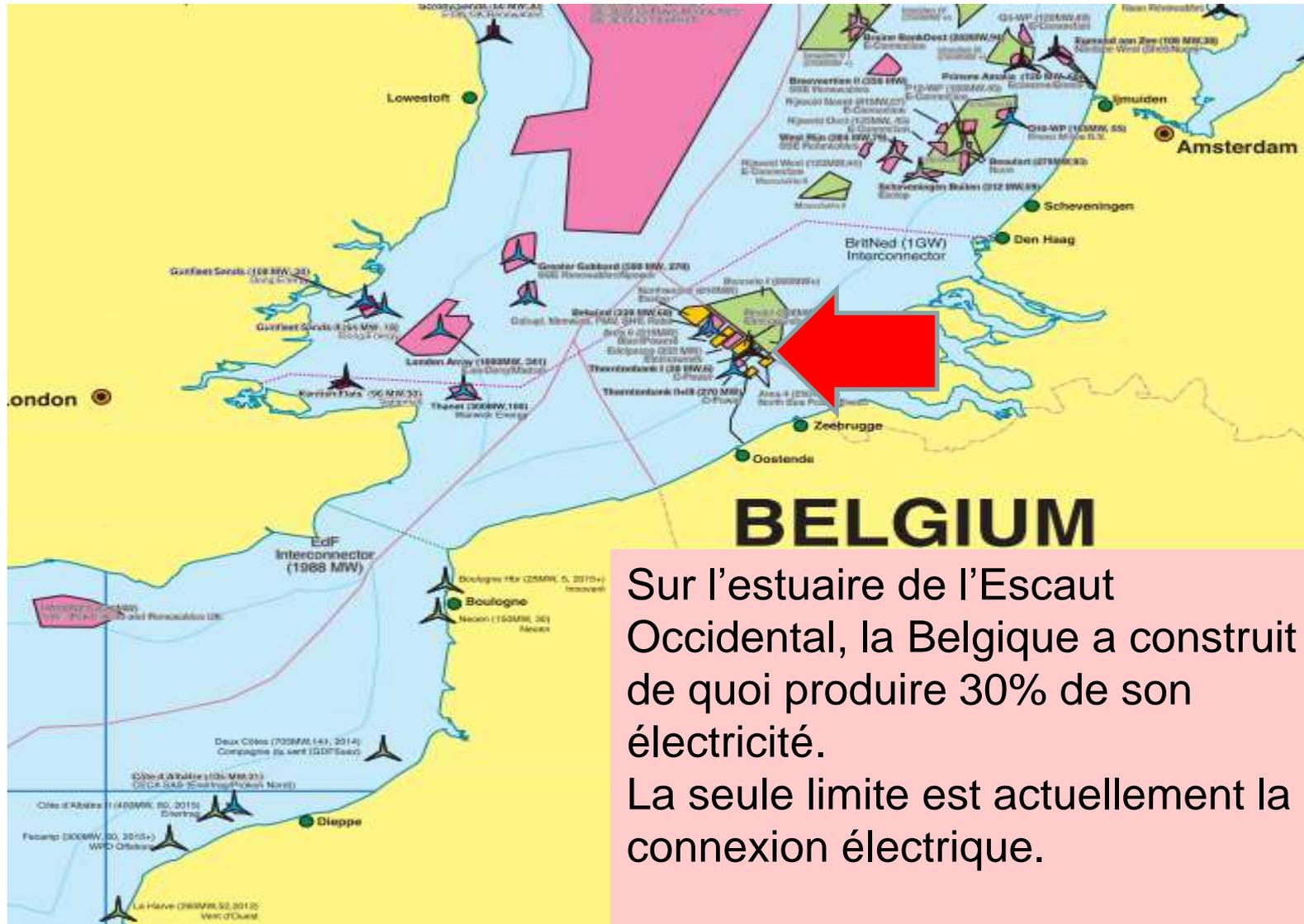


Transition énergétique. Une chance pour l'Europe

par Claude Turmes
Les petits matins,
2017, 479 p., 23 euros.



Eolien offshore : l'échappée Belge



Sur l'estuaire de l'Escaut Occidental, la Belgique a construit de quoi produire 30% de son électricité.

La seule limite est actuellement la connexion électrique.



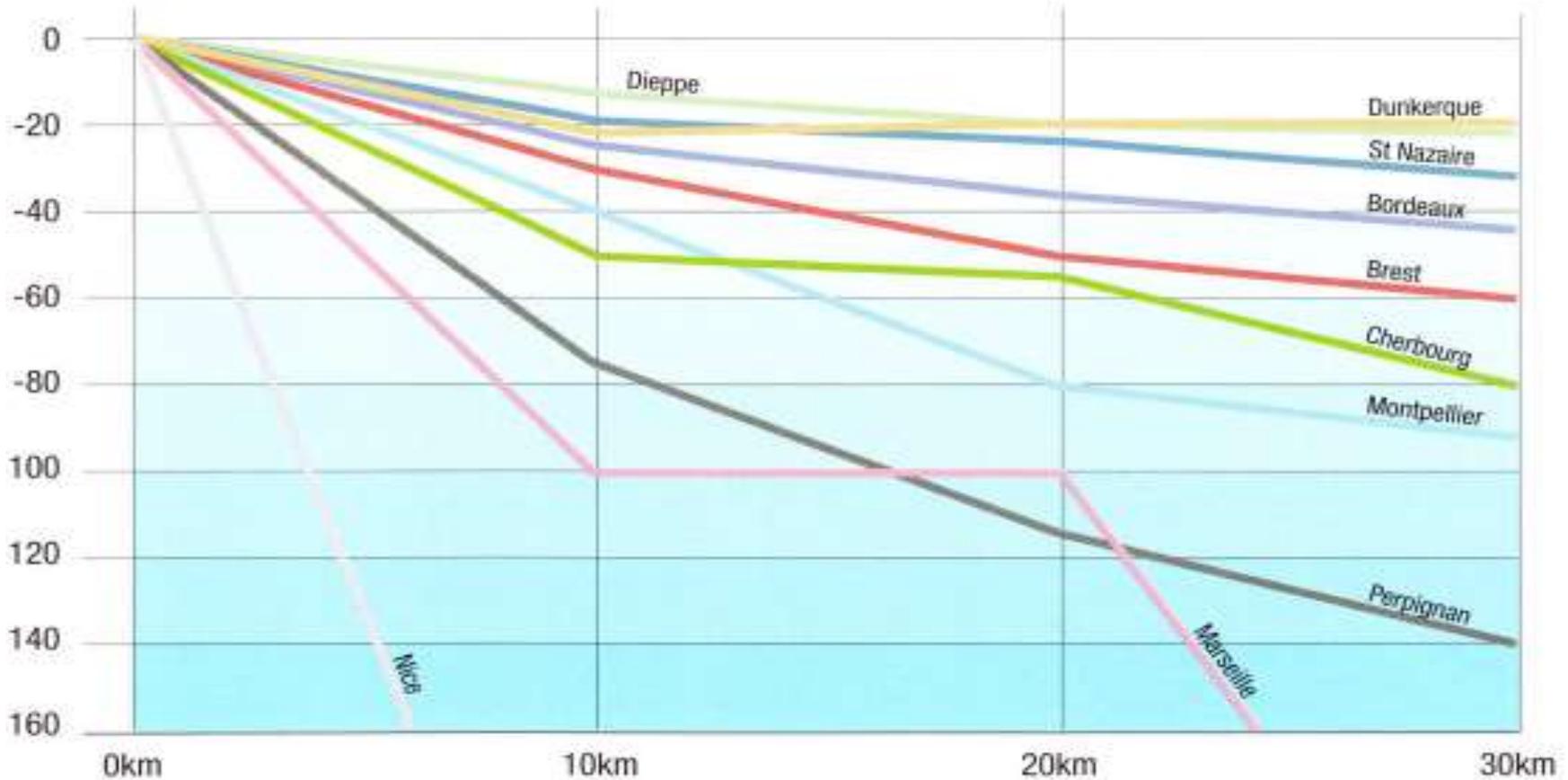
Béton posé (Thornton-Be)

Les fonds marins peu profonds (<20-30m) sont propice à des systèmes posés gravitaires. A titre de comparaison, les installations pétrolières dépassent souvent 1000m!



Les meilleurs sites sont au Nord

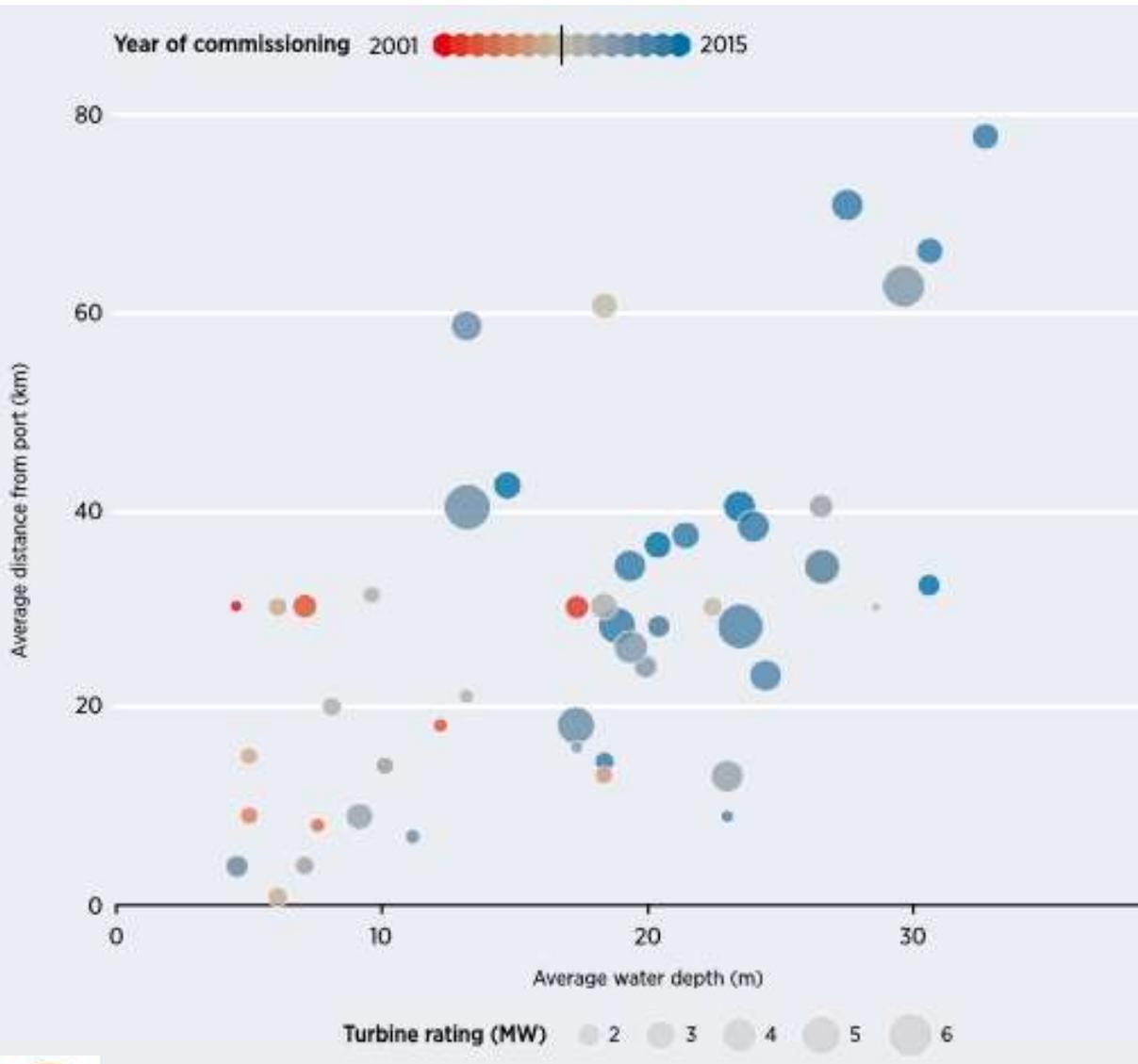
Profondeur depuis les ports (m/km). A la profondeur limitée s'ajoute un vent très régulier au large...



Source: enquête publique Dieppe



Des distances croissantes



L'équation de coût **Profondeur-Distances de connexion** tend à favoriser les turbines les plus grandes et les plus efficaces.

[Par exemple, utilisation des radars doppler pour minimiser les trainées, volets sur les pales...]



Un rendez-vous entre géants



Christening of the „Wind Lift I“ in Lithuania: Bard wants to erect the wind farm „Bard Offshore 1“ in the North Sea with its new ship from August onwards.

Photos (2): Torsten Thomas

Le cluster d'éolien offshore de Bremerhaven comprend la dimension métrologique (souffleries de grande taille) mais aussi un banc d'essai adapté aux grandes pales (doc. Fraunhofer Institut).



Câbles : une part essentielle

L'industrie du câble et plusieurs des plus grands électriciens mondiaux sont restés en Europe... avec en tête le chantier de la transition énergétique et de l'éolien



Aux limites techniques

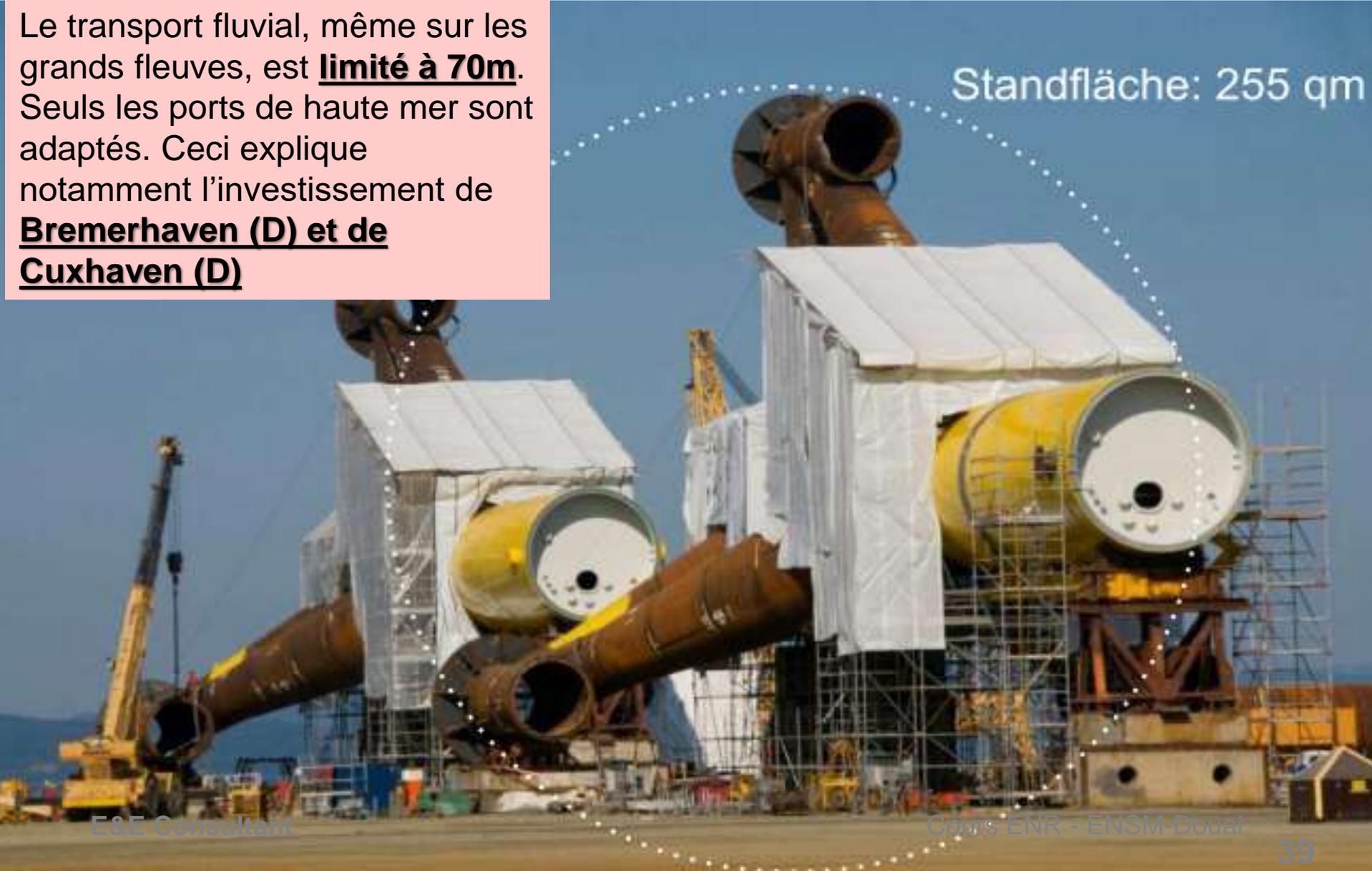
Avec ou sans multiplicateur ?
L'éolien de grande taille a été permis par la présence d'une industrie mécanique puissante dans l'UE (Benelux, Allemagne, France, Italie...)



De très grosses pièces

Le transport fluvial, même sur les grands fleuves, est **limité à 70m**. Seuls les ports de haute mer sont adaptés. Ceci explique notamment l'investissement de **Bremerhaven (D)** et de **Cuxhaven (D)**

Standfläche: 255 qm



Expédition des tripodes, Cuxhaven (près de Hambourg)

Höhe: 44,6 m

Gewicht: je 700t



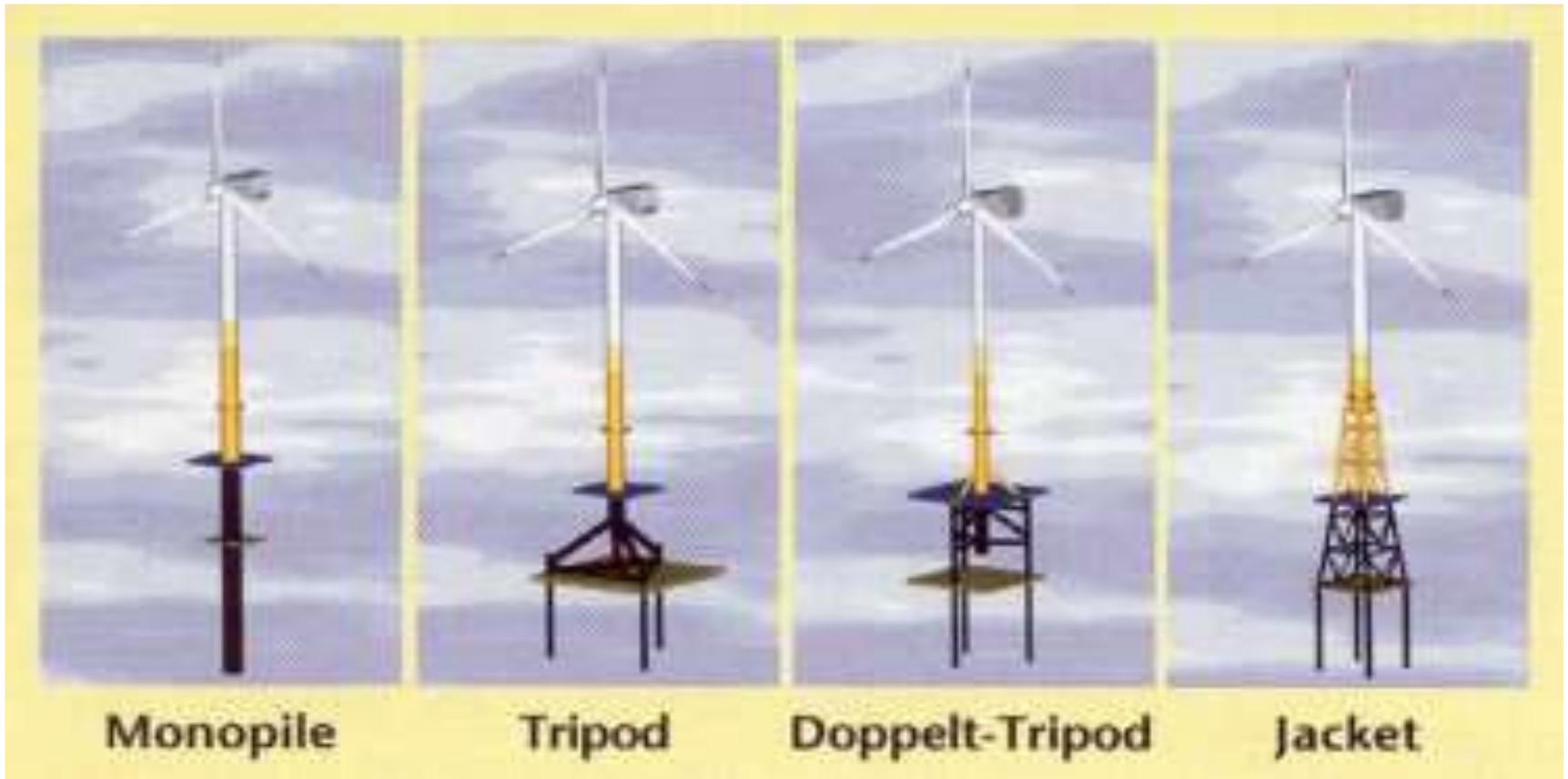
Des manutentions spéciales (ici Alpha Ventus)



Höhe:
30 m

Stahlmasse Jacket-Fundament:
ca. 700t

Mono - Tripode - Jacket



Il est intéressant que le patron de Vestas, le géant danois revenu dans l'offshore, propose de « normaliser » le choix des piles. A ce niveau d'industrialisation, des choix industriels communs à tous les fournisseurs deviennent plus importants que de petits gains techniques.

<https://mhivestasoffshore.com/media/>

Quelle filière offshore?



La première station « offshore » à Vindeby, sur la côte Ouest du Danemark (1990-91, 5 MW) se situe à proximité du littoral (document Orsted)

Seule une minorité des centrales offshore (notamment à Copenhague) est opérée par des coopératives, contrairement à la situation à terre. Le ticket d'entrée est en effet plus comparable à celui de l'exploitation pétrolière (syndicats bancaires multiples...)

Vues suivantes, trois exemples de l'éolien offshore comme choix délibéré de filière à industrialiser et à « raconter »:

✓ **Danemark**

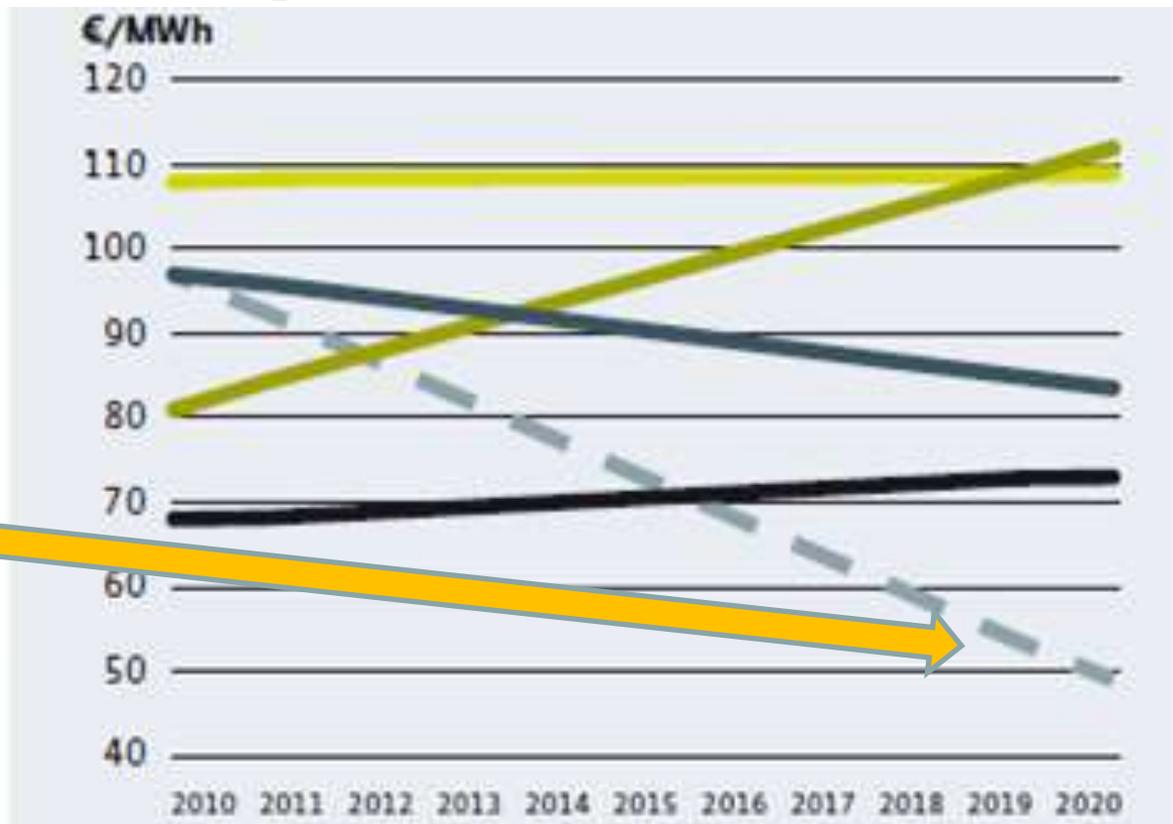
✓ **Royaume Uni,**

✓ **Allemagne,**



DK, Megavind : Baisser les coûts de moitié après 2020

Projections de coûts pour les centrales neuves.



En 2007, Siemens-Bonus parie d'être moins cher que charbon et gaz avant 2020 : la **feuille de route** inclut la logistique d'installation, la taille de la turbine, l'organisation de la disponibilité annuelle, la planification du chantier... le gouvernement danois investit 1 milliard d'Euro. **Objectif atteint.**

L'assentiment collectif (UK)

Une construction lente du consensus



Désormais l'éolien offshore représente **plus que le pétrole** dans ces régions à reconvertir, avec certaines estimations désormais à **60% de taux local** de retour d'emploi.

- Au Royaume-Uni ça commence mal (*protestations dans la presse...*): les études estiment le « retour d'emplois » des premiers projets à **moins de 10%**
- Les Ports, les Industries et *un peu* l'état investissent et attirent les industries sur la côte Est et en mer d'Irlande. La planification du « Crown Estate » est aussi exemplaire et long terme.
- L'Ecosse se distingue en faisant **toujours plus** que les Anglais(!), le 100% ENR est en vue.



Allemagne: un récit politique



MARITIME KOMPETENZ - 24 HOURS / DAY

Helgoländer Str. 10
27472 CUXHAVEN

Tel: + 49 (0)4721 - 71 66 0
Fax: + 49 (0)4721 - 71 66 33

Niederlassung Rostock
Bergstr. 60

18107 ROSTOCK-ELMENHORST
Tel. /Fax: + 49 (0)381 - 769 71 48

Le récit politique allemand est aussi très lié aux politiques **développées par les Länder**, avec plusieurs « Capitale de l'Europe de l'éolien »(!)

Au départ, le consensus sur la **sortie du nucléaire** suite au gouvernement SPD-Grünen (le nucléaire est en crise, pour tout projet neuf, *les électriciens demandent 2/3 de voix au Parlement pour tout projet nucléaire neuf, ce qui gèle la construction. Ensuite, Fukushima finit de décider les conservateurs de sortir complètement du nucléaire...*).

L'aventure de l'éolien offshore est une « *voie positive* » de sortie pour les politiques avec **le champion Siemens** (+ *2/3 du marché mondial cumulé de l'offshore pour le géant allemand issu du danois Bonus*)

Offshore : difficultés à surmonter

Plus

- ❑ Productible plus important (HEPP + grand)
- ❑ Moins de pression sur l'usage de l'espace
- ❑ Proximité des grandes villes en mer du Nord
- ❑ Consensus (et concurrence) mondiale sur les équipements

Moins

- ❑ Difficulté de structure (fondation, ancrage)
- ❑ Connexion plus chère au réseau, demande plus de coopération internationale
- ❑ Difficulté de maintenance
- ❑ Besoin de syndicats bancaires massifs (similaires au pétrole)
- ❑ Peu d'option d'un développement « populaire » (coopératives D, crédit d'impôt DK...)



Développement et essais : l'Allemagne en allure de « tortue »

Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee (FINO)



FuE Kiel GmbH

Pour maîtriser le développement loin de la côte (la frise orientale, à faible profondeur, est protégée) l'Allemagne développe dès 2005 trois plate-forme de recherche « FINO » au large de leurs côtes et une stratégie pas à pas.

Environnement, météo, métrologie, sécurité, essais...

Ökologische Begleitforschung zur Offshore-Windenergienutzung

Schwerpunkte, Projekte und Studien

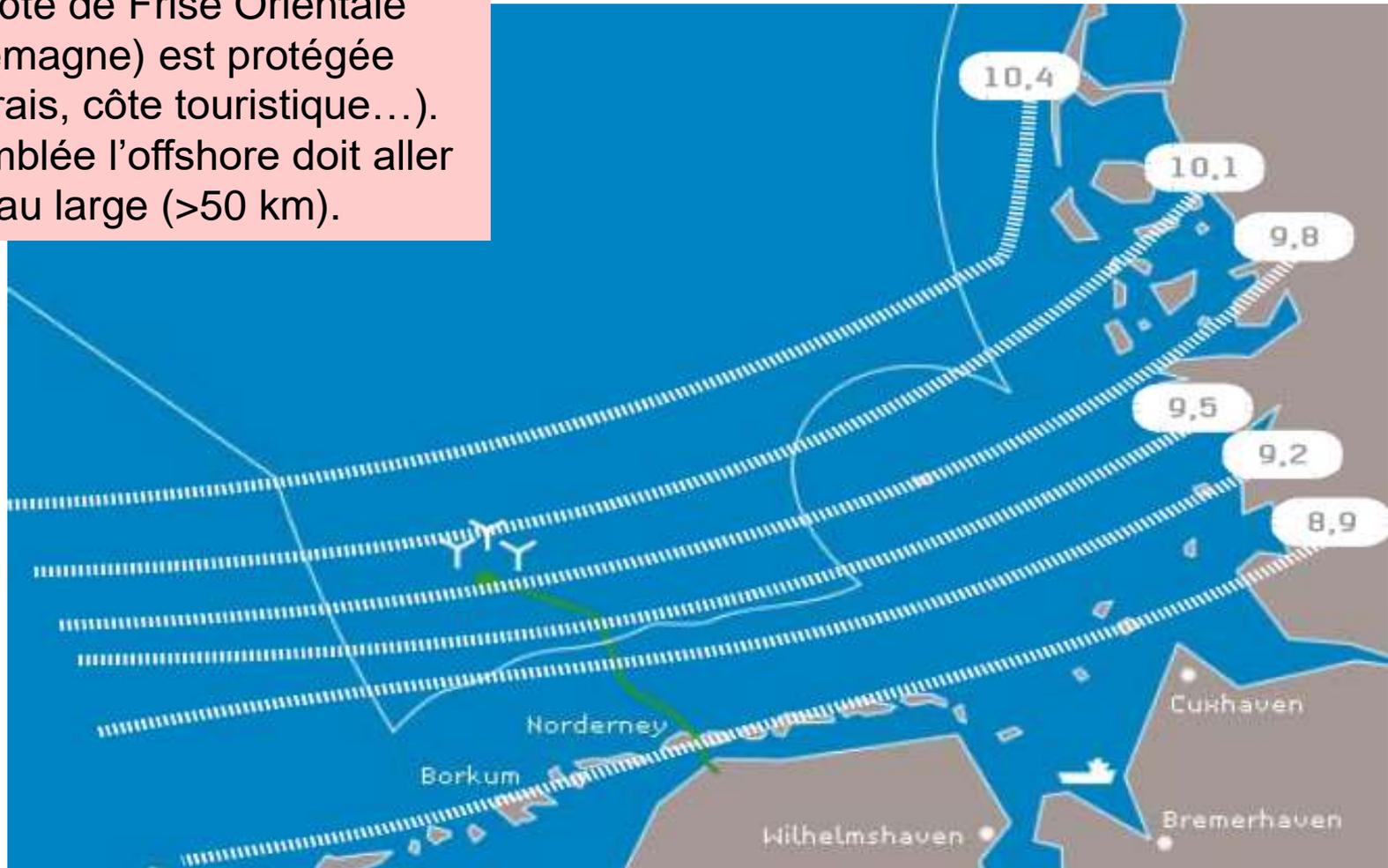


Avec FINO, l'Allemagne met les grands moyens sur la technologie, l'exploitation mais aussi l'assentiment vis-à-vis de l'environnement



Allemagne: Au large, plus de vent (vitesses moyennes en m/s)

La côte de Frise Orientale (Allemagne) est protégée (marais, côte touristique...). D'emblée l'offshore doit aller loin au large (>50 km).



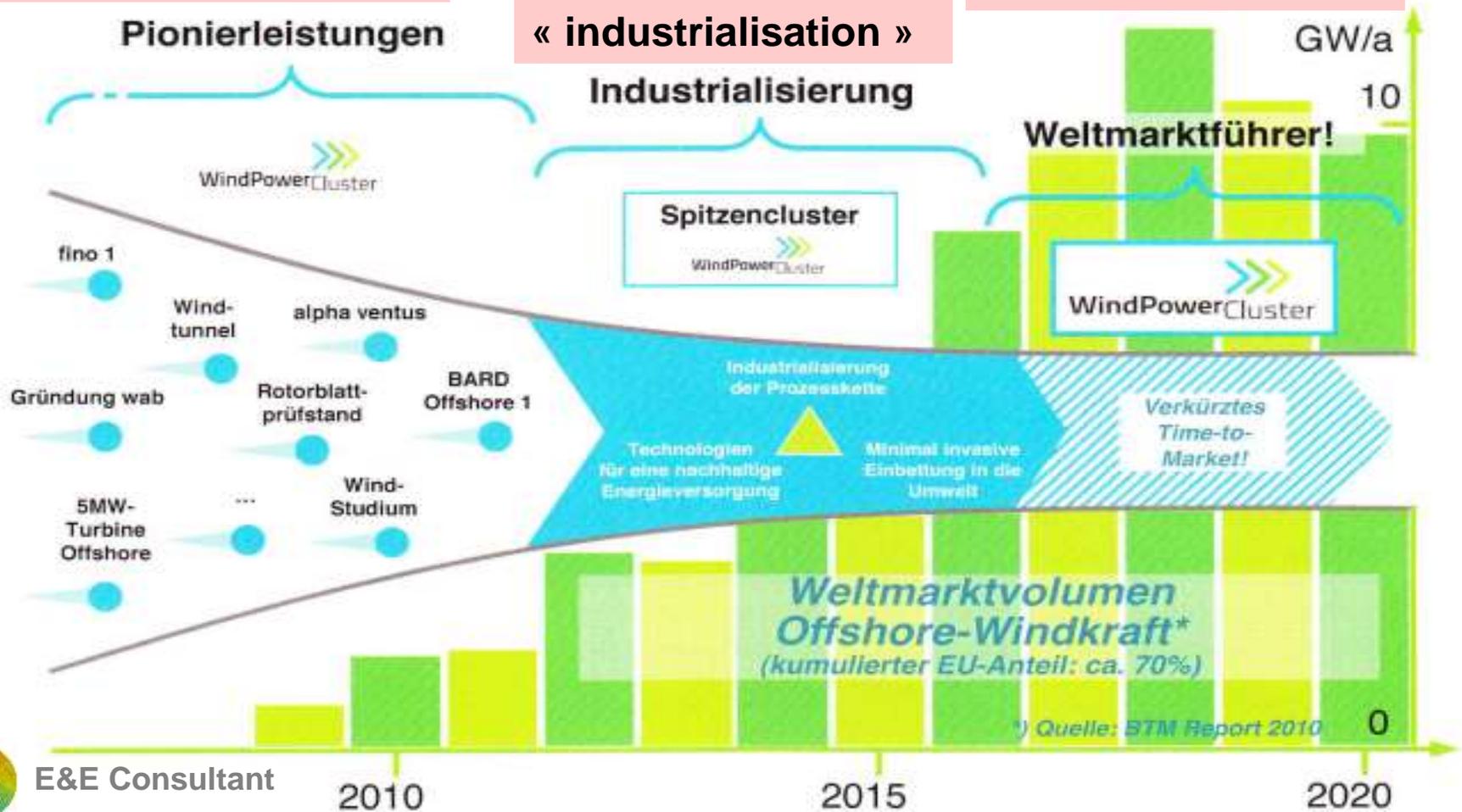


Utiliser au mieux un espace maritime limité

Les ambitions du cluster d'Allemagne du Nord

« services pionniers »

« leader du marché mondial »



Un réseau maillé moins cher



C'est l'un des développements les plus spectaculaires en mer du Nord pour éviter les temps passés dans les navires de liaison ou les hélicoptères. Des îles artificielles et des bases vie sont planifiées pour limiter les temps d'intervention et éventuellement combiner stockage et production (source *Gouvernement Danois*)

Aux Pays-Bas les zones sont découpées en **tranches de 800 MW** dont la connexion est planifiée à l'avance et allouées par enchères.



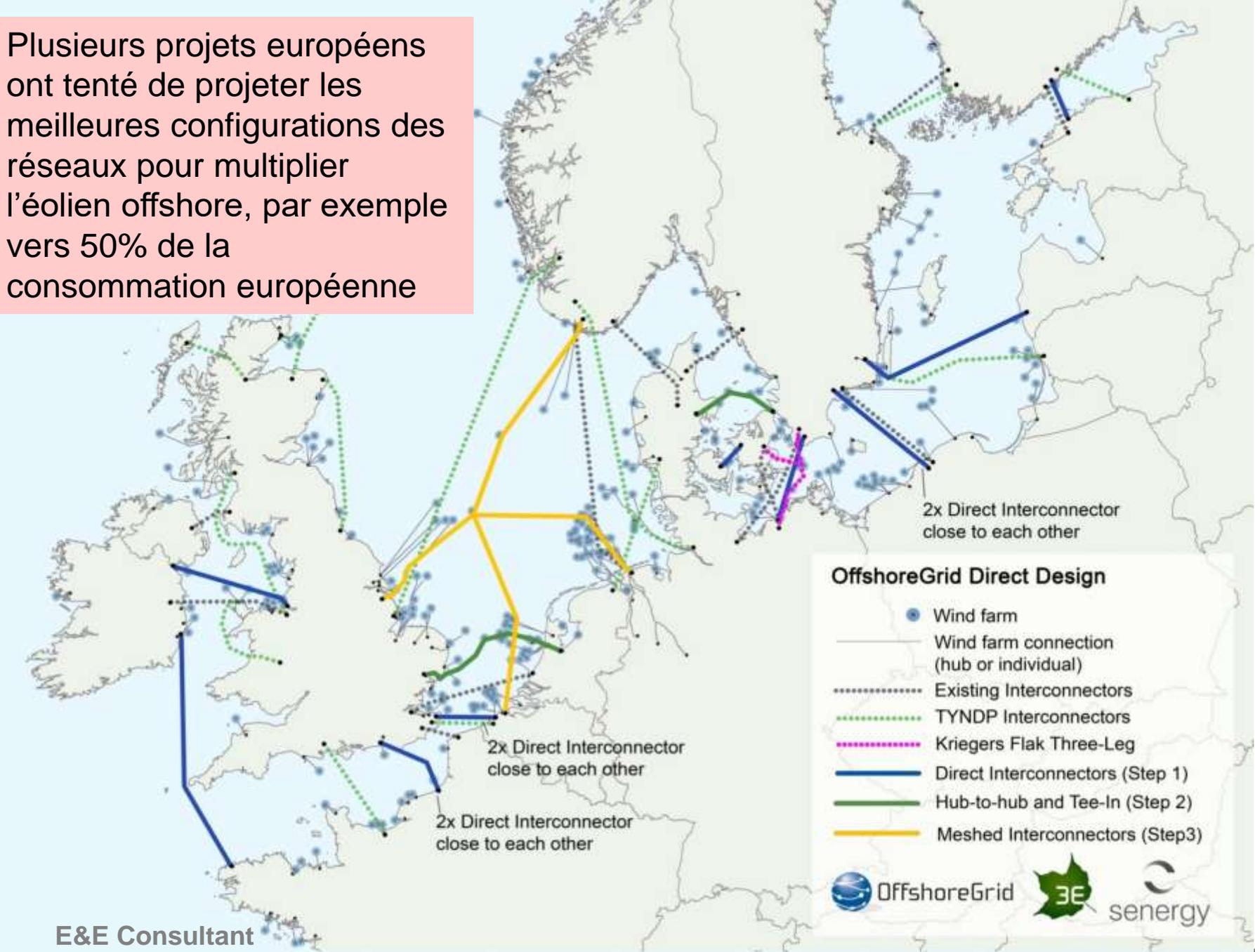
Au final, une stratégie collective de massification

- Pôles autour des ports de mer: Ecosse, Bremen-Bermerhaven, Vlissingen (Flessingue NL)
- Une concurrence élargie aux acteurs mondiaux (Corée, Chine, Japon...) installés sur le pourtour de la mer du Nord
- Des projets de grande taille (syndicats bancaires, garanties sur les infrastructures par les gouvernements...)
- Un débouché en mer du Nord pour la production et le stockage massif de courant (Norvège...)
- Une gouvernance collective des régulateurs et de la Commission Européenne pour les réseaux. Pas vraiment de Brexit pour le réseau électrique!

Synthèse des résultats 2021 par la Fédération France Energie Eoliennes <https://merenergies.fr/media/Synthe%CC%80se-OEM-2021-A4.pdf>



Plusieurs projets européens ont tenté de projeter les meilleures configurations des réseaux pour multiplier l'éolien offshore, par exemple vers 50% de la consommation européenne



Des questions ?

Solaire



Eolien

Hydro



Annexes pour questions

- L'éolien flottant
- Renouvelables thermiques et réseaux de chaleur
- Avenir du nucléaire ?
- L'énergie grise et la soutenabilité
- Comparaison avec le reste de l'UE



Eolien offshore flottant

Exemples d'éolien flottant



Source : StatoilHydro, Sway, Statkraft.

De plus en plus, l'éolien flottant, basé sur les mêmes turbines que l'offshore posé, est considéré comme une extension de l'offshore, à des profondeurs plus importantes (au-delà de 60m). Dans cette partie, nous étudions des conditions de leur développement.

Une turbine tractée en place



C'est la même machine que pour l'off-shore, mais tractée en place déjà montée. Elle peut donc être réalisée en grande partie dans le chantier naval. Les connexions électriques du flottant, nettement plus compliquées, et les amarrages sont compensés par cette part plus importante réalisée dans des conditions contrôlées d'atelier.



Viana do Castelo



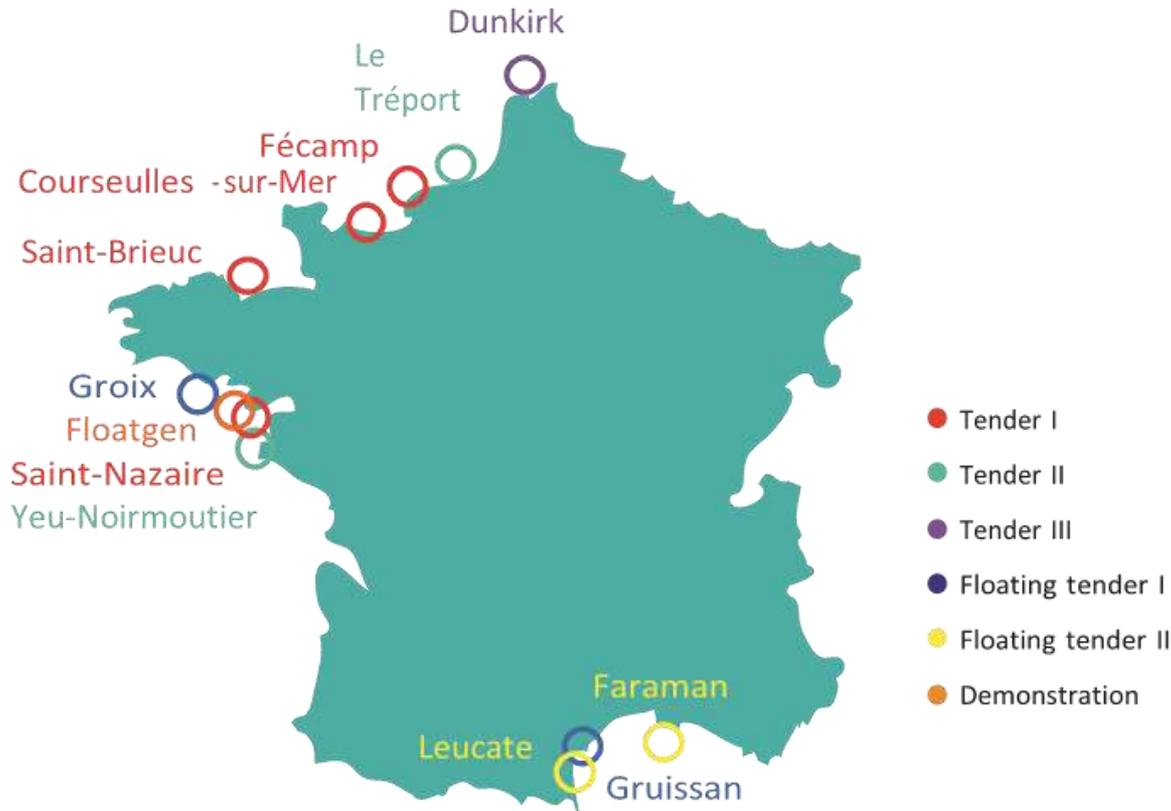
Porté par ADP (la compagnie portugaise historique), le projet WindFloat Atlantic est un succès qui a accéléré les projets du reste de l'Europe : Norvège, Ecosse... Webinar pour en savoir plus (NREL US):

<https://www.youtube.com/watch?v=58EYcYbRKqk>

- ✓ Ancré par chaînes à 100 m de profondeur à 20 km au large
- ✓ Un câble vers sous-station au sol
- ✓ 190 m de haut
- ✓ 25 MW pour trois turbines V164 de 8,4 MW
- ✓ Des **facteurs de charges allant jusqu'à 65%** (Hywind)



En France aussi



L'intérêt pour la France est que sa façade maritime Sud et Sud-Ouest se situe à forte profondeur.

Le marché peut aussi être développé en Méditerranée ou Outre-Mer

Cependant l'investissement sur l'environnement et la préparation reste limité vu l'enjeu (*cf. stations FINO en Allemagne!*)

Un total de 750MW d'éolien flottant est en cours d'allocation en Bretagne, Occitanie et Provence Alpes Côte d'Azur



Un potentiel considérable



Soudure de pièce acier. La partie usinée (chantiers navals) est plutôt élevée, avec des possibilités de robotisation pour les caissons (cf. CNM Cherbourg ou STX à Saint-Nazaire)
<https://youtu.be/XtG1Go58Tdw>

Plus de **80 %** du potentiel offshore dans l'UE (4000 GW) serait dans des eaux au delà des 60m de fond.

Coûts : sous les 100 €/MWh (2025) puis vers 40-60 €/MWh selon WindEurope. Selon l'étude "Catapult" ce prix sera atteint vers 2032.

L'éolien flottant devient alors un simple prolongement de l'éolien off-shore.

<https://ore.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/FOW-Cost-Reduction-Pathways-to-Subsidy-Free-report-.pdf>



Les coûts projetés

(étude WindEurope 2018)

Le prix actualisé (LCOE) de l'éolien flottant. Ce prix baisse en fonction des quantités construites cumulées (à droite en MW). Après 2030 les quantités construites décollent.



Flottant: ce qui reste à faire



- Le progrès technique doit se combiner à **un récit régional et national** (cf. *offshore mer du Nord en UK*)
- Une **planification très amont et multicritère** (cf. *stations FINO vues pour l'éolien posé en Allemagne*)
- Une intégration aux **équipes européennes** de recherche

Dans le récit à construire, l'importance des formations: métiers de la mer (Oostende, Bremerhaven, Saint-Nazaire...), les métiers de la maintenance à terre (Picardie) ou encore les plongeurs. Ici des femmes en formation à l'usine LM de pales à Cherbourg. Comme pour l'offshore, la majorité des emplois est *maritime* (argument important vis-à-vis des autres utilisateurs comme les pêcheurs).



Des questions ?



Eolien



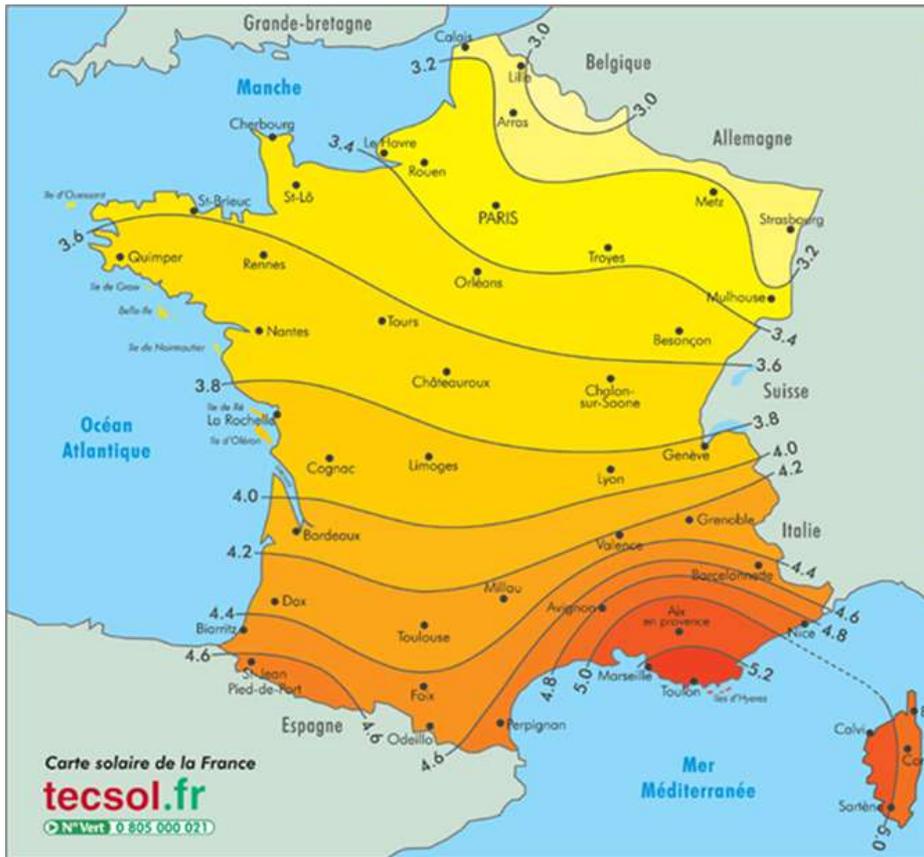
Solaire



Hydro



Les renouvelables thermiques



Le solaire produit 1000 à 1500 heures par an une puissance de 1 kW/m² sur le territoire français. Le solaire thermique collectif peut (avec la géothermie et la récupération de chaleur) **compléter la ressource bois**, insuffisante pour remplacer le gaz dominant dans les usages thermiques.

- La chaleur est **souvent négligée**. Pourtant, même si l'électricité et l'hydrogène deviennent majoritaires dans les scénarios de long terme, il restera **une part non-négligeable** de chauffage et de froid, de l'ordre du tiers... Or, il faut substituer **fioul et gaz fossiles** soit souvent en France 50-75% du **chauffage** ou des **procédés d'industrie**!
- La principale voie d'entrée pour ces énergies est **la distribution de chaleur et de froid** à petite ou à grande échelle, qui ouvre la voie à la récupération de chaleur, à la géothermie et au solaire thermique, les **trois ressources abondantes** sur le territoire.



Le réseau de chaleur de Amiens (2020)

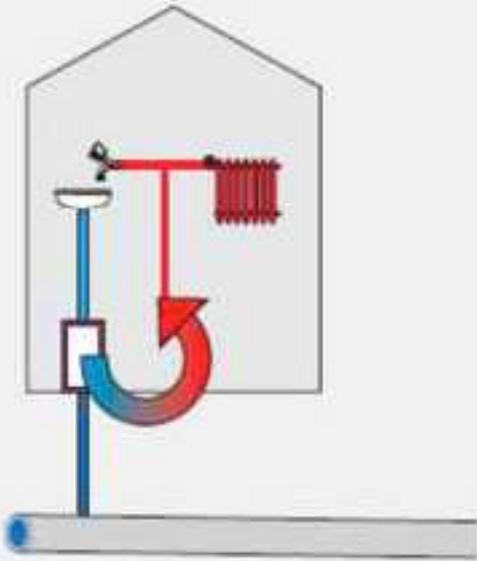


Le réseau est une « SEMOP » où l'opérateur est concédé (ici ENGIE) mais où la ville garde un fort pouvoir. Cela permet un investissement important d'emblée et des marges d'expansion

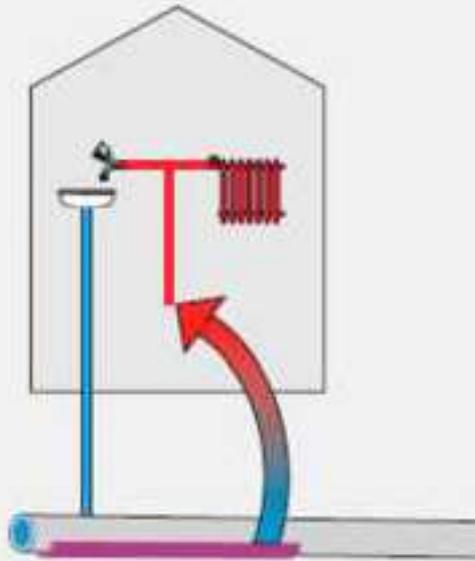
- Couvre déjà **1/3 du besoin** de chauffage de la ville
- Pas d'incinérateur d'OM / Production de biogaz et fort recyclage des matières
- **31% de la chaleur vient des eaux usées** (station d'épuration) via une pompe à chaleur de grande dimension
- Des **cascades énergétiques** dans les nouveaux quartiers où les bâtiments reçoivent des énergies à basse température (45°C)
- Le bois (26%) sert pour **rehausser les températures** (>80°C) dans le centre ancien (lycées, administrations) qui ne pourra pas passer en BBC



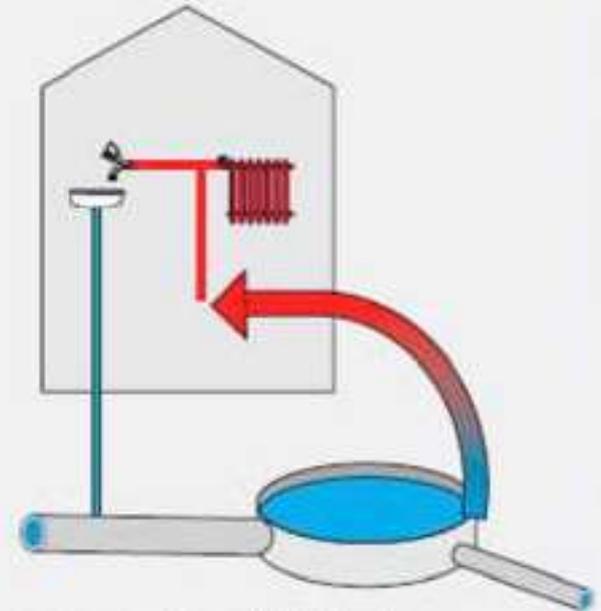
La récupération de chaleur



Récupération de la chaleur
dans le bâtiment
(eaux usées brutes)



Récupération de la chaleur
dans le canal d'évacuation
(eaux usées brutes)



Récupération de la chaleur
à la station d'épuration
(eaux épurées)

A Amiens, la récupération de chaleur sur eaux usées (avec pompe à chaleur de grande dimension représente 31 % de la ressource du réseau de chaleur... Le réseau recueille aussi des eaux tièdes de l'industrie proche.



Le réseau de Chateaubriant (2017)



Chateaubriant (44), 13 000 habitants, met en œuvre 2200 m² de capteurs pour 900 MWh de production solaire (5%). La ville a aussi une chaufferie bois (DSP Engie Cofely) de 2011. Le solaire prend peu de surface : selon Amorce, 21 ha (dont toitures) pour alimenter tout un bourg contre 400ha de bois et 800ha de biocarburants, ratios 20 et 40! <http://chateaubriant.reseau-chaaleur.com/>

Une ressource qui **fonctionne mieux** et est **moins cher** en collectif. 400 réseaux solaires en Europe dont 5 en France.

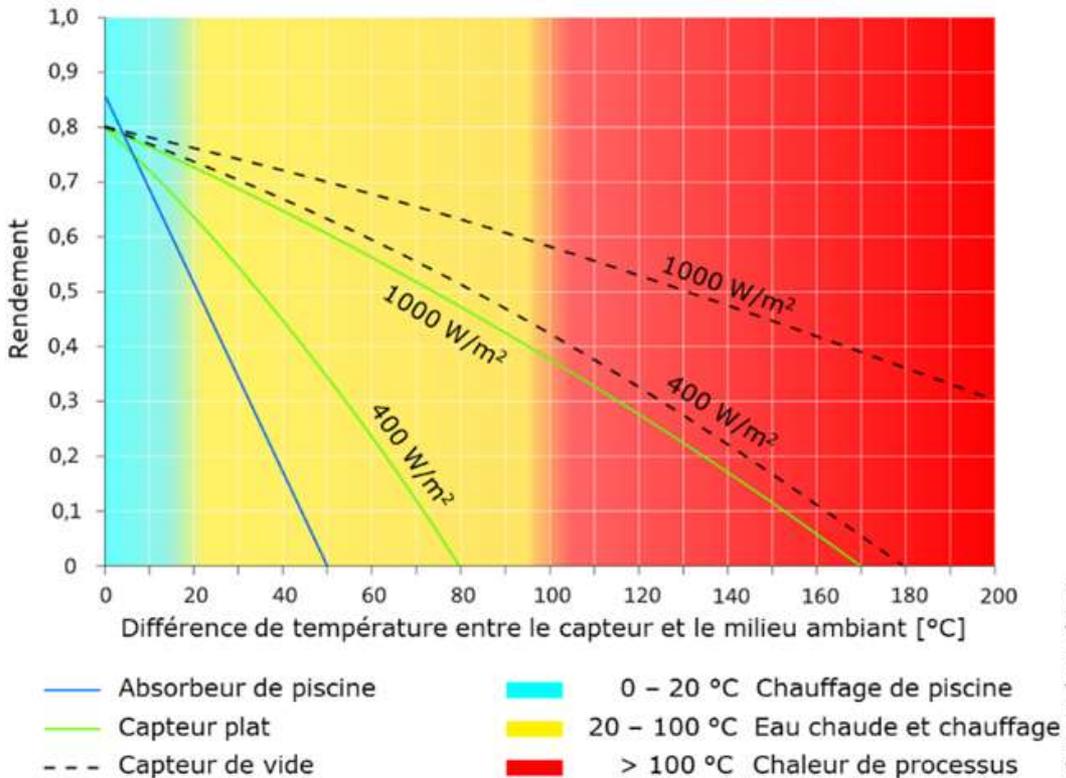
Des réseaux au Danemark sont passés de 20% de couverture solaire à 50% (à *Dronninglund*) grâce à un stockage saisonnier (17 GW/an).

– https://planenergi.dk/wp-content/uploads/2017/06/Brochure_Dronninglund_2015_booklet_ENG_web_.pdf

En effet, **3/5 du solaire est produit l'été.**

Au positif, la part de l'eau chaude passerait de 12% à 30% dans l'habitat très rénové ce qui augmente l'utilisation estivale de la ressource.

Moins chaud, c'est meilleur



A plus haute température (par exemple capteurs solaires sous vide) le rendement est ainsi nettement plus limité même ces équipements font sens pour l'industrie.

Le rendement augmente pour une **température plus basse**.

Le gain concerne à la fois la ressource (ci-joint solaire) mais aussi les émetteurs de chaleur plus grands (« radiateurs ») demandés dans les réglementations récentes (tertiaire...).

A ce rendement plus élevé s'ajoute la **ressource tiède bien plus importante**



Génération.s de chaleur distribuée

1G la vapeur,
canalisations
ciment
(1880-1930)

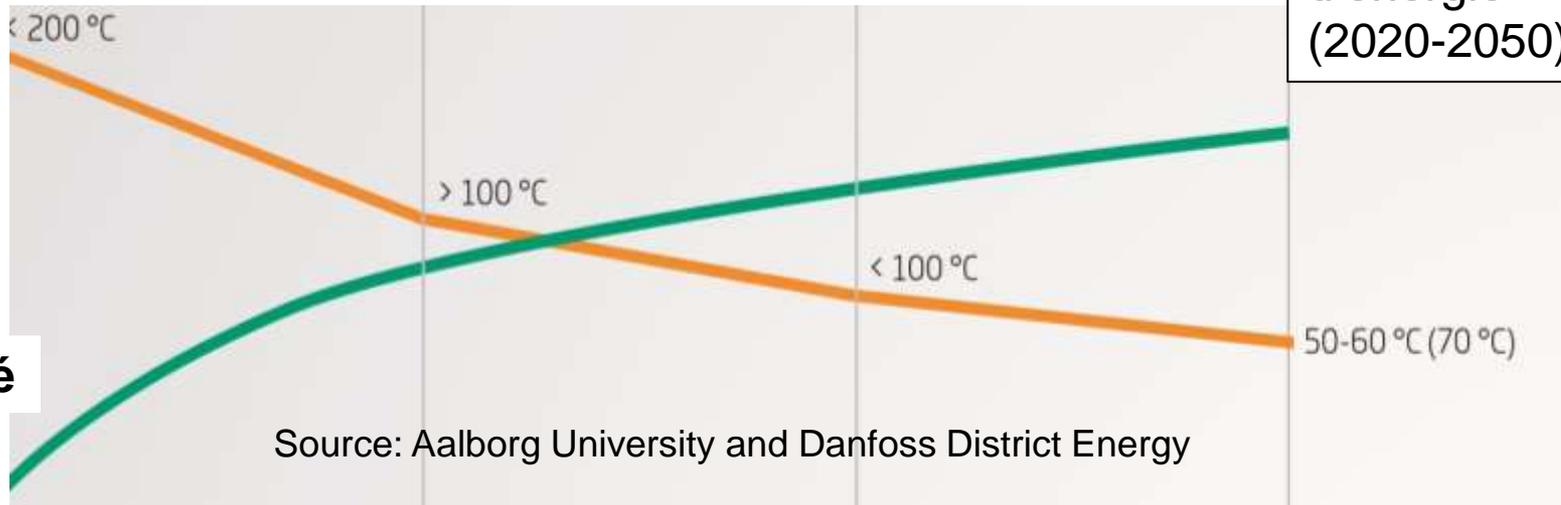
2G In-situ.
Eau chaude
sous pression.
Équipement
lourd
(1930-1980)

3G Préfabriqué
Tuyaux pré-
isolés, mesures
et sous-stations
(1980-2020)

4G Efficacité
Basses
températures,
réseau
alternant
stockage
d'énergie
(2020-2050)

Température

Efficacité

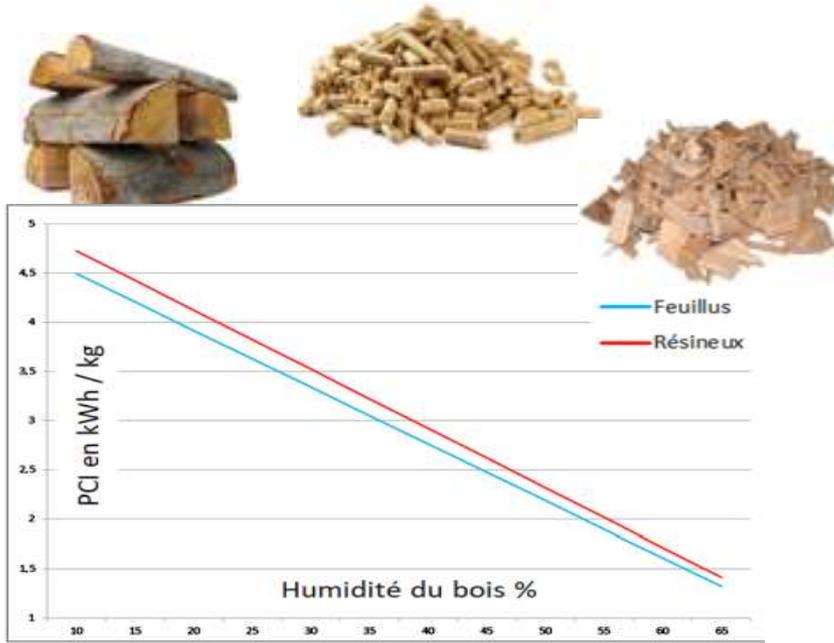


Outre l'efficacité accrue, les générations récentes allient les **cascades énergétiques entre températures**, le **stockage**, la **pompe à chaleur de grande taille** utilisant les **surplus d'électricité renouvelable**, la **récupération industrielle** à faible température...

<https://stateofgreen.com/en/publications/district-energy/>



La question du bois

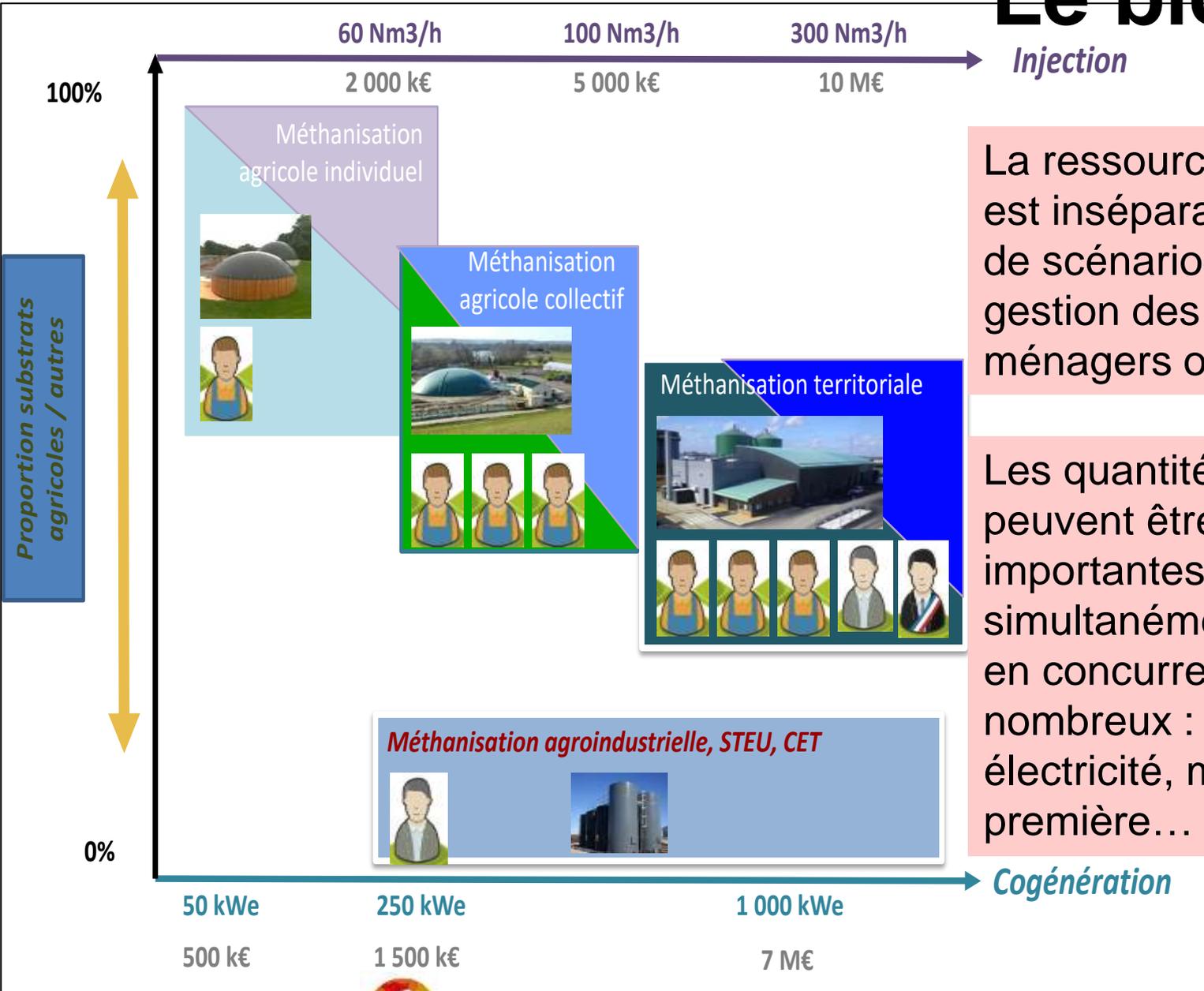


Rappel: le pouvoir calorifique du bois ne dépend que de son poids... et de l'humidité. L'essence joue très peu. Entre très sec (10%) et très humide (65%) on a un facteur 3,5 de rendement... d'où la supériorité du granulé (pellet), extrudé sans additif, sec à 90%.

- Le bois est **la plus importante des énergies renouvelables actuelles**, soit dans l'ancien (bois bûche) ou plus récent (granulés-pellets) voire l'industrie ou le collectif (plaquettes).
- Des ressources adaptées à la **transition vers la distribution de chaleur**, qui se transportent bien entre régions
- Mais des certitudes à **remettre à plat** sur les gains d'émissions de GES (émissions brutes/émissions nettes), à la fois lors de l'exploitation forestière et des usages
- Une ressource en **concurrence avec le stockage de carbone** (cours N°12) et d'autres usages (matériaux)



Le biogaz

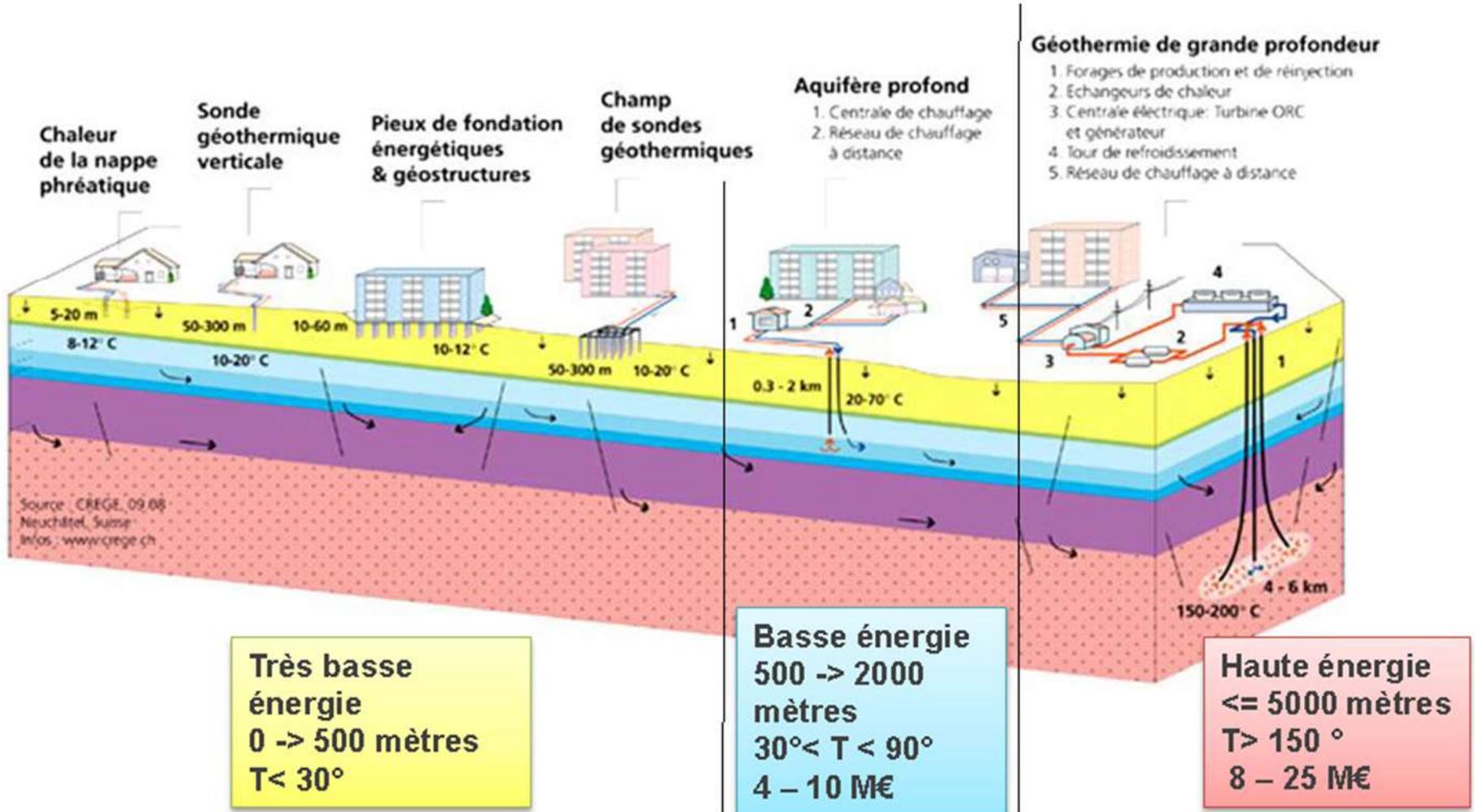


La ressource en biogaz est inséparable du choix de scénario agricole, de la gestion des déchets ménagers ou industriels.

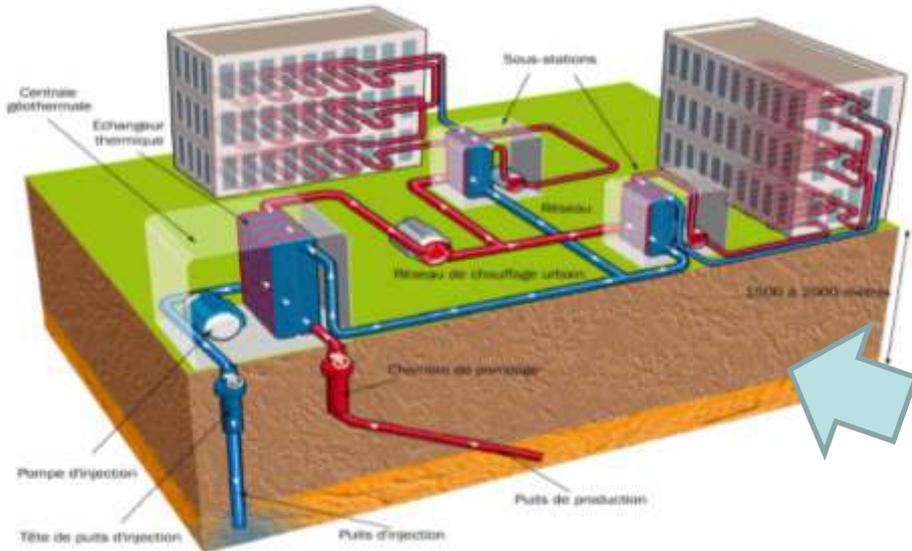
Les quantités produites peuvent être assez importantes, mais simultanément les usages en concurrence sont nombreux : véhicules, électricité, matière première...



La géothermie

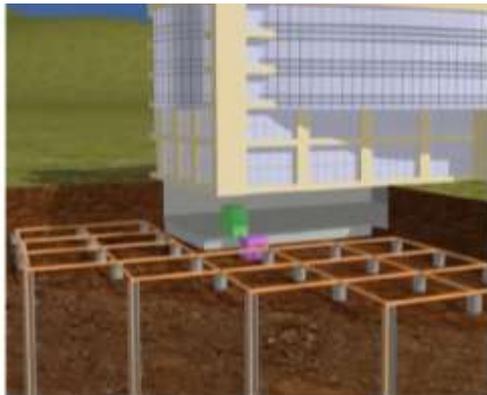


Circuit ouvert-fermé



Les systèmes à très basse température peuvent fonctionner quasiment dans toutes les régions, surtout en plaine. Ils sont combinés avec la pompe à chaleur qui apporte rehausse la température mais consomme 15-25% de l'énergie.

Ouvert. Le circuit géothermique récupère de la chaleur sur la nappe phréatique via un échangeur de chaleur. *On va de 20kW à plus de 1000kW si la ressource s'y prête.*



Fermé. Le fluide n'est pas en contact avec le sol ou la nappe. Il récupère par exemple l'énergie solaire d'été voire injecte de la chaleur excédentaire. *Le champ ou les fondations thermo-actives vont couramment à 200kW et plus. Elles fonctionnent partout ou presque.*

Schémas de mise en place d'un réseau de chaleur, géothermie basse énergie (Source Ecome) circuit ouvert sur nappe phréatique (en haut) ou champ de sondes fermées (en bas)



Le territoire « énergie positive » [TEPOS]

	Potentiel brut (GWh)	Part de la consommation globale (%)	Part du flux futur (%)
Récupération de chaleur	50 GWh	0,9%	6,7%
Biogaz	212 GWh	4,0%	39,2% sur carburants
Photovoltaïque	1 158 GWh	21,7%	71,2%
Eolien	269 GWh	5,0%	16,5%
Géothermie	300 à 400 GWh (*)	7,5%	53,8%
Hydraulique	4,4 GWh	0,1%	0,3%
Solaire thermique	150 à 245 GWh/an (**)	3,7%	26,9%
Chaleur distribuée	300 à 400 GWh/an (***)	7,5%	53,8%
Bois-énergie	50,8 GWh/an	1,0%	6,8%

Etude SCOT Douai, EGEE, Coherence Energies, E&E Consultant, Solagro 2018

(*) Valeur plafonnée par la part de demande de chaleur distribuée. Les potentiels physiques et techniques sont nettement plus élevés à 4000-6000 GWh !

(**) valeur déterminée par la part de chaleur distribuée ou collective et les taux techniques de couverture. Le potentiel physique est bien plus important.

(***) Estimation de la chaleur distribuée potentielle (non cumulable), basée sur les demandes de chaleur à moyen terme et permettant l'amortissement des installations

Les élus signent le « TEPOS »... mais il faut **les rassurer que c'est possible**

Exemple d'un **territoire très urbanisé** (SCOT Douai) à 45% artificialisé.

Le territoire dépasse sans problème le **100% ENR** électrique (éolien, PV) et même thermique (récupération, solaire, géothermie) mais la question des carburant reste un problème.

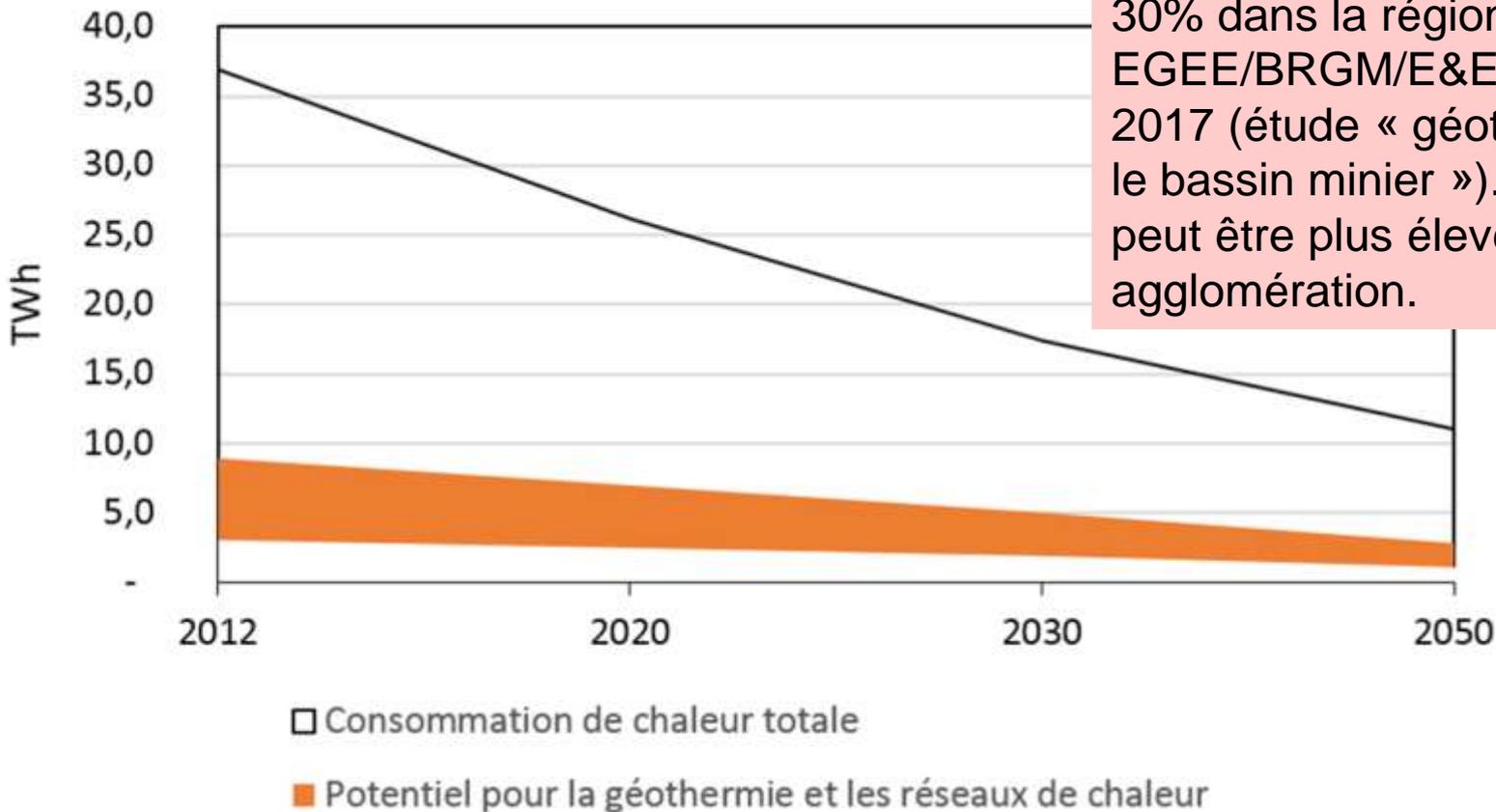
Une partie des flux peuvent être **importés si nécessaire** (H2, bois...) depuis d'autres territoires.



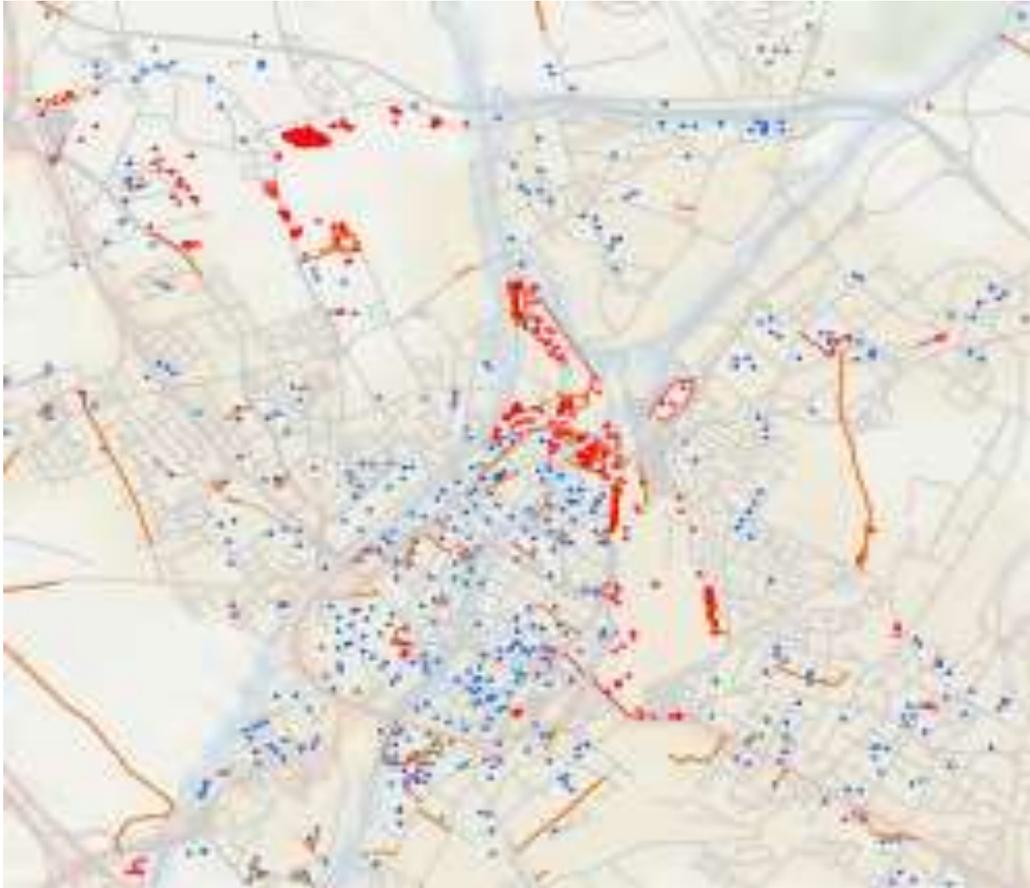
Le potentiel de chaleur distribuée

Les énergies thermiques sont **plafonnées par la demande**, même sur distribution collective (solaire, géothermie, chaleur récupérée)

Le potentiel estimé est de 20 à 30% dans la région 59-62 selon EGEE/BRGM/E&E Consultant 2017 (étude « géothermie dans le bassin minier »). Ce taux peut être plus élevé en agglomération.



Cartographies



La **FEDENE** a réalisé une série de cartographie potentielles de réseaux de chaleur « classiques » sur les grandes villes françaises (ici Douai). Le potentiel de chaleur distribuée dépend de **la densité des usages**, et des consommations **projetées** [*nombreux travaux et logiciels en développement*]

<https://www.observatoire-des-reseaux.fr/reseaux>

<https://www.fedene.fr/cartographie-interactive-des-reseaux-de-chaleur-de-froid-en-france/>

<http://reseaux-chaleur.cerema.fr/cartographies-des-reseaux-de-chaleur-a-lechelle-de-villes-regions-et-pays-quelques-exemples>

Des questions ?

A Albertslund, le nouveau réseau de chaleur de 4ème generation réalisé à partir d'une distribution existante (2G) offre un maximum de confort pour une perte minimale d'énergie

Doc: State of Green v3.1 2020 –White paper on District Heating
https://stateofgreen.com/en/uploads/2018/08/SoG_WhitePaper_DistrictEnergy_210x297_V22_WEB.pdf?time=1615421792



Quel avenir pour le nucléaire?

- Discussion: peut-on relancer le nucléaire à grande échelle?
- Que penser des positions de « sauvons le climat »?
- Quel est le « point médian » de la discussion?

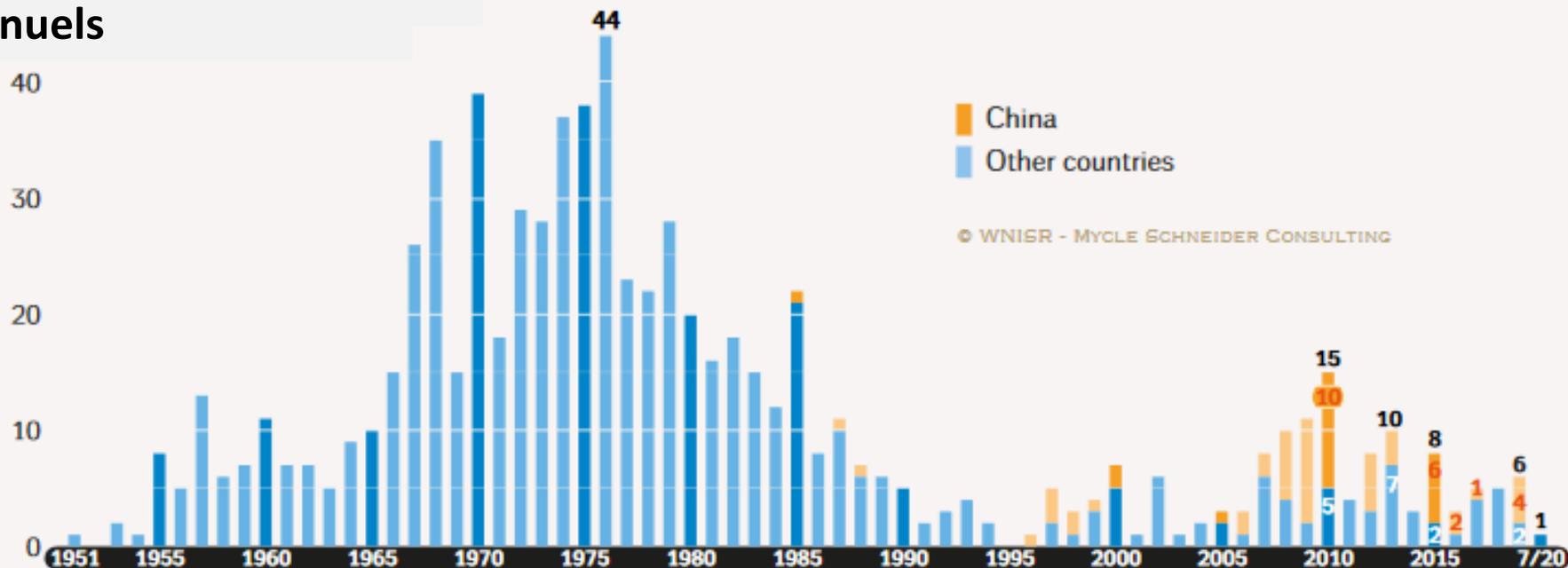
- Ne pas diffuser merci

Annexe: Peut-on relancer le nucléaire?

Démarrages de chantier d'année en année

Le maintien du parc existant (360 GW) suppose le lancement de 10 à 12 chantiers par an. C'est loin d'être le cas, cela qui explique que le nucléaire soit descendu en 15 ans de 17% à 10% de l'électricité mondiale.

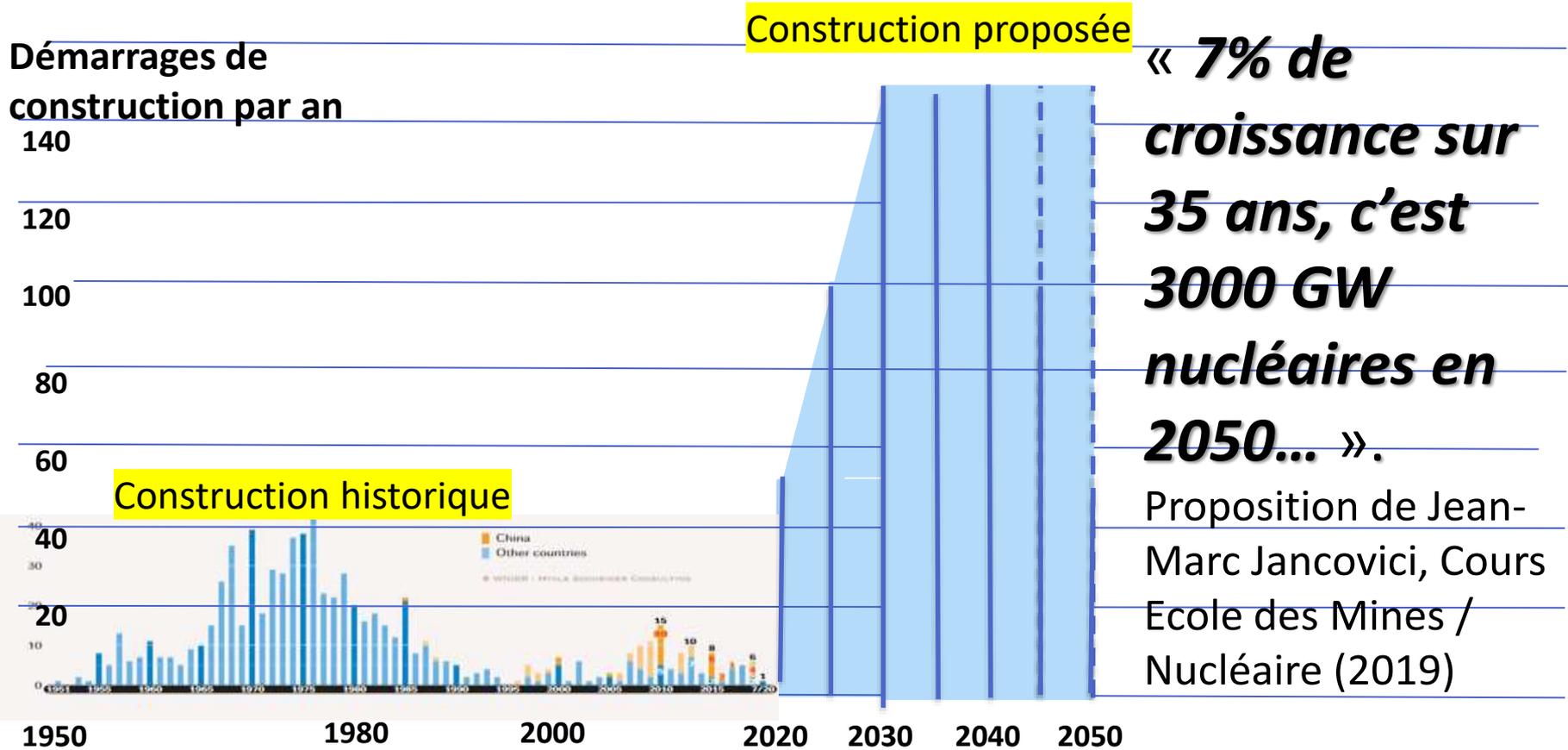
annuels



Source Mycle Schneider et al. 2020

Et si on construisait 3000 réacteurs d'ici 2050...

« *Ce n'est pas complètement ridicule...* » [sic]



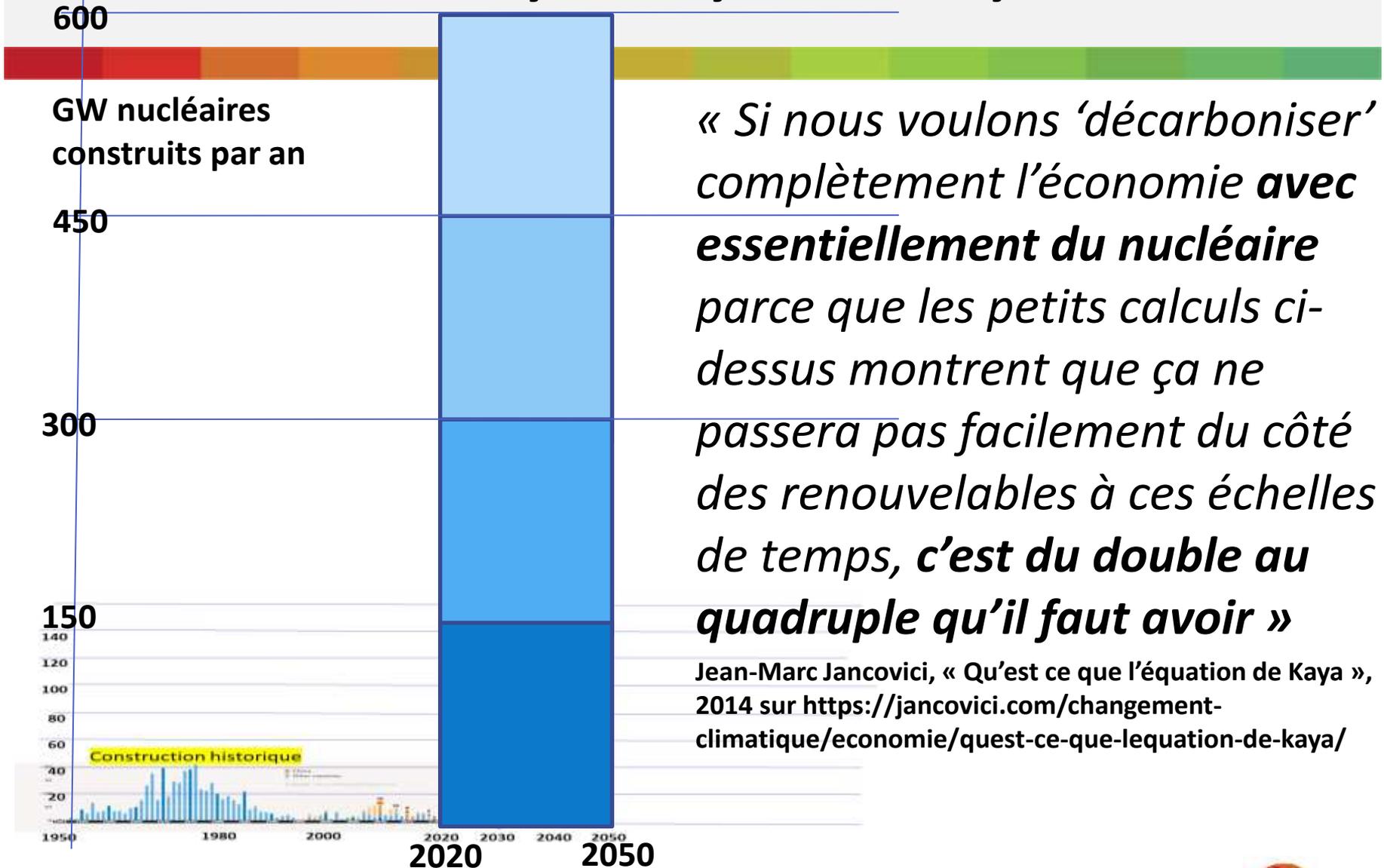
Voir pages 103 à 110 sur [https://jancovici.com/wp-content/uploads/2020/07/Jancovici Mines ParisTech cours 6.pdf](https://jancovici.com/wp-content/uploads/2020/07/Jancovici_Mines_ParisTech_cours_6.pdf)

3000 réacteurs de 1000 MW chacun, 10 ans de construction suivant indications de l'auteur.

Brouillon de discussion / ne pas diffuser



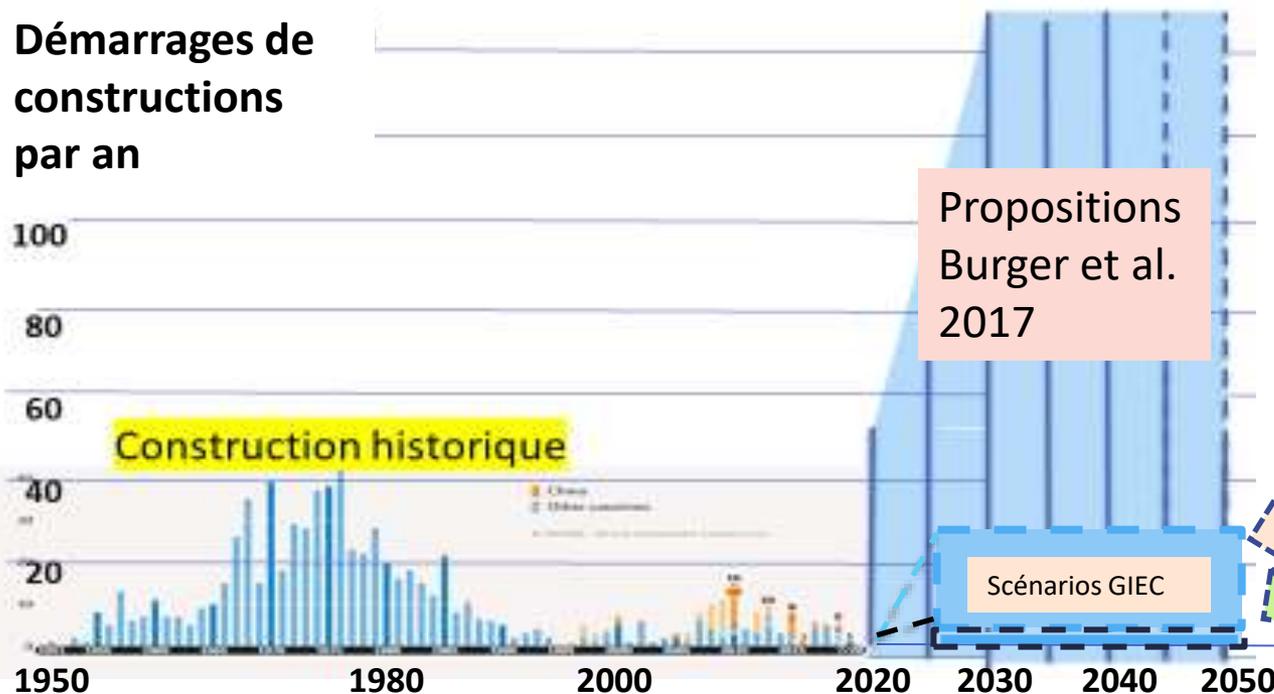
Non, euh, en fait, X2 ? X4 ?



Que dit le GIEC?

Le GIEC ne produit pas de scénarios mais étudie les travaux des laboratoires participants dans le monde entier. Les derniers travaux sont le rapport spécial 1,5°C de 2019 et le rapport AR6 (en cours) qui ne sont pas encore finalisés. Les fourchettes présentées ici sont provisoires. Elles convergent avec les rapports précédents du groupement.

Démarrages de constructions par an

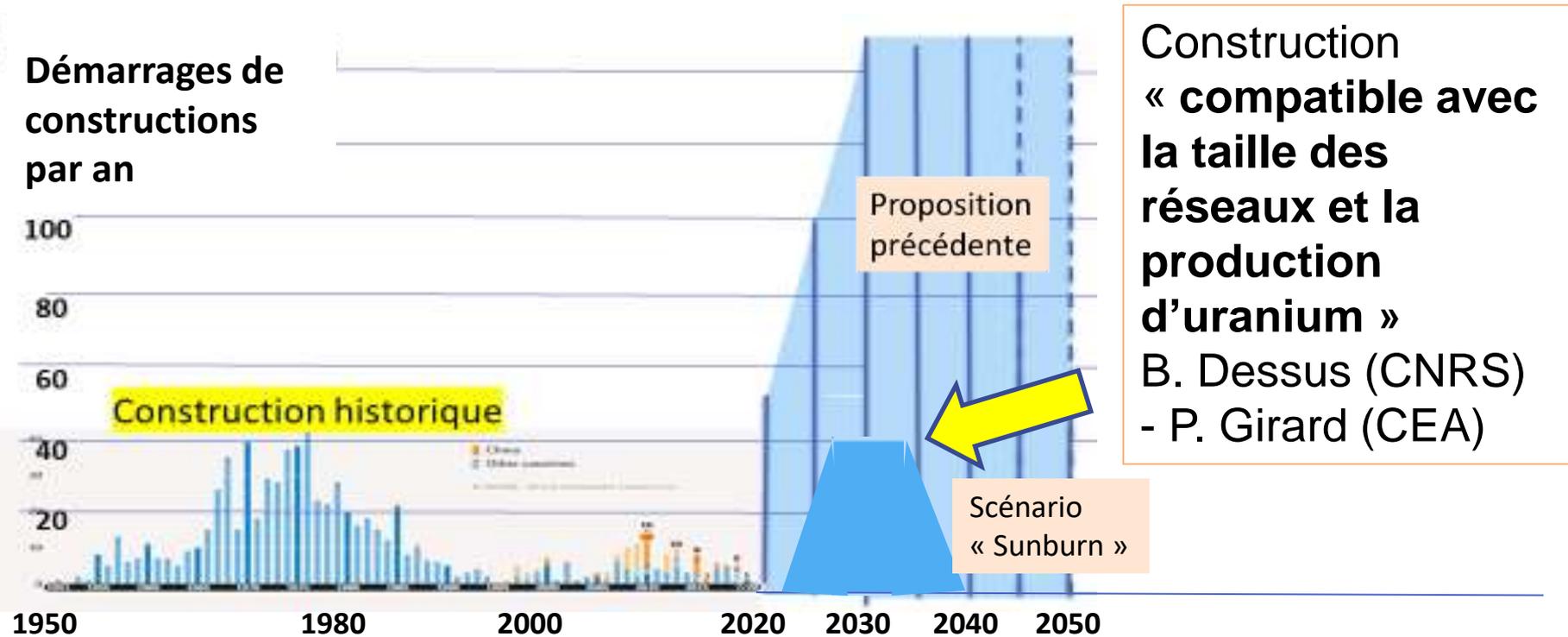


Le GIEC étudie des scénarios qui vont pour le nucléaire d'une division par deux ou plus, à une stabilisation ou au plus un doublement du parc mondial à 2050.

Les scénarios centraux étudiés par le GIEC sont présentés ici. Les propositions de « JMJ » sont cinq à trente fois supérieures.

Sans entrave politique ni technique

Le scénario « Sunburn » de 2008 imagine la construction mondiale maximale « **sans entrave politique ni financière** » en faisant plancher un adversaire (CNRS) et un partisan (CEA) du nucléaire



Le scénario Sunburn aboutit à l'époque à un gain carbone de 3% des émissions mondiales (pour 600 EPR construits)

<http://www.global-chance.org/IMG/pdf/GC21p29-39.pdf>

20 000 GW, est-ce raisonnable?

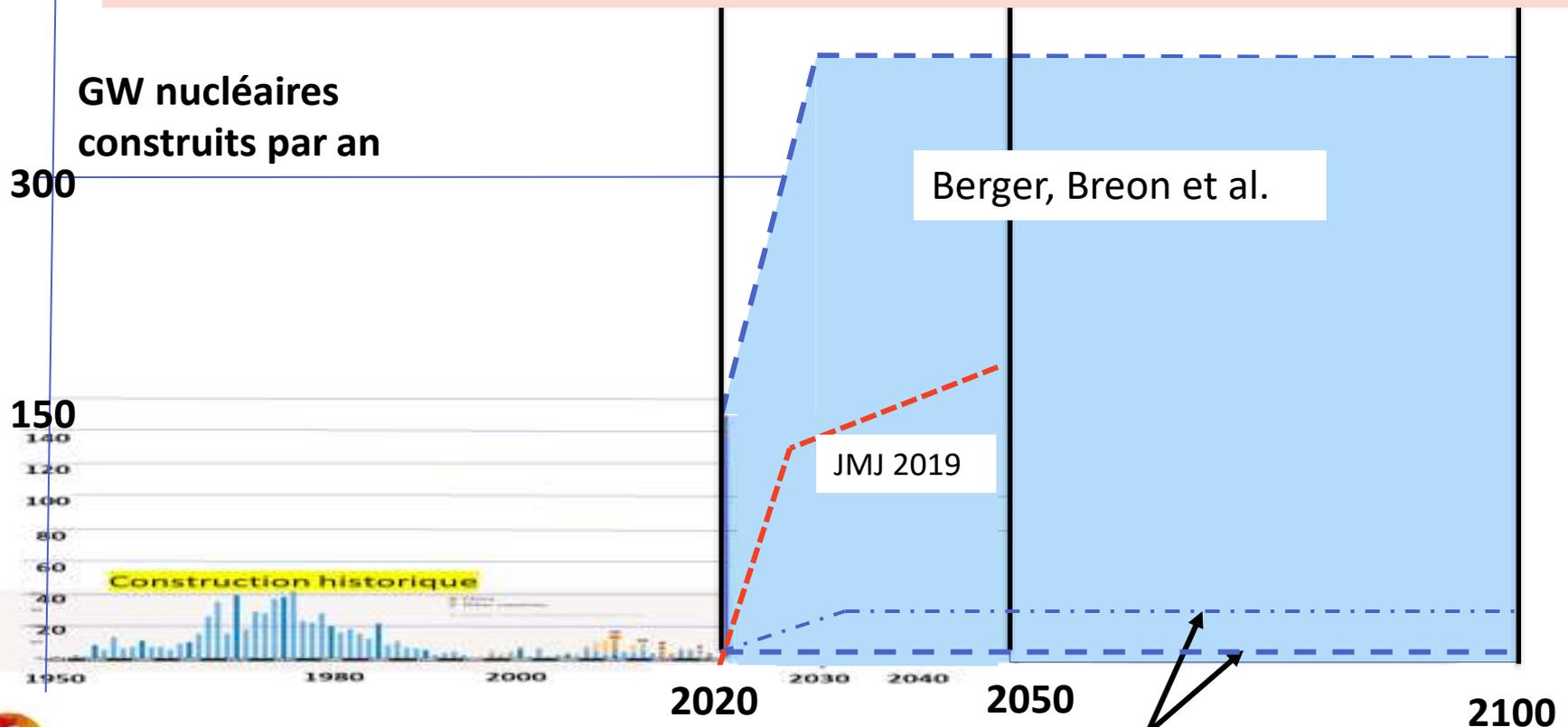
600

Un groupe de défenseurs du nucléaire autour de « Sauvons le climat » propose (Berger et al. 2017) de monter à 20 000 GW le parc en 2100 pour substituer la majeure partie de l'énergie mondiale. Cela représente sur environ 60 ans une construction d'au moins 350 GW/an d'ici à la fin du siècle, soit autant chaque année que le parc nucléaire existant.

https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/art_sel/IJGEI400103_Berger%20et%20al.pdf

450

Berger, A., Bles, T., Bréon, F.-M., Brook, B.W., Hansen, P., Grover, R.B., Guet, C., Liu, W., Livet, F., Nifenecker, H., Petit, M., Pierre, G., Prévot, H., Richet, S., Safa, H., Salvatores, M., Schneeberger, M. and Zhou, S. (2017) 'How much can nuclear energy do about global warming?' Int. J. Global Energy Issues, Vol. 40, Nos. 1/2, pp.43–78.



Raisonnable?

600

Encore une comparaison intéressante, celle de ces « visions » nucléaires de quelques français avec celle de l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) basée à Vienne. L'AIEA n'est pas franchement anti-nucléaire c'est même dans ses statuts de développer l'atome. Mais elle contrôle les matières fissile et compile les données sur les quantités nécessaires, une des bornes qui limite tout scénario nucléaire un peu sérieux.

450

GW nucléaires
construits par an

300

150

140

120

100

80

60

40

20

0

Construction historique

1950

1980

2000

2020

2030

2040

2050

2100

Berger, Breon et al.

JMJ 2019
haut et bas

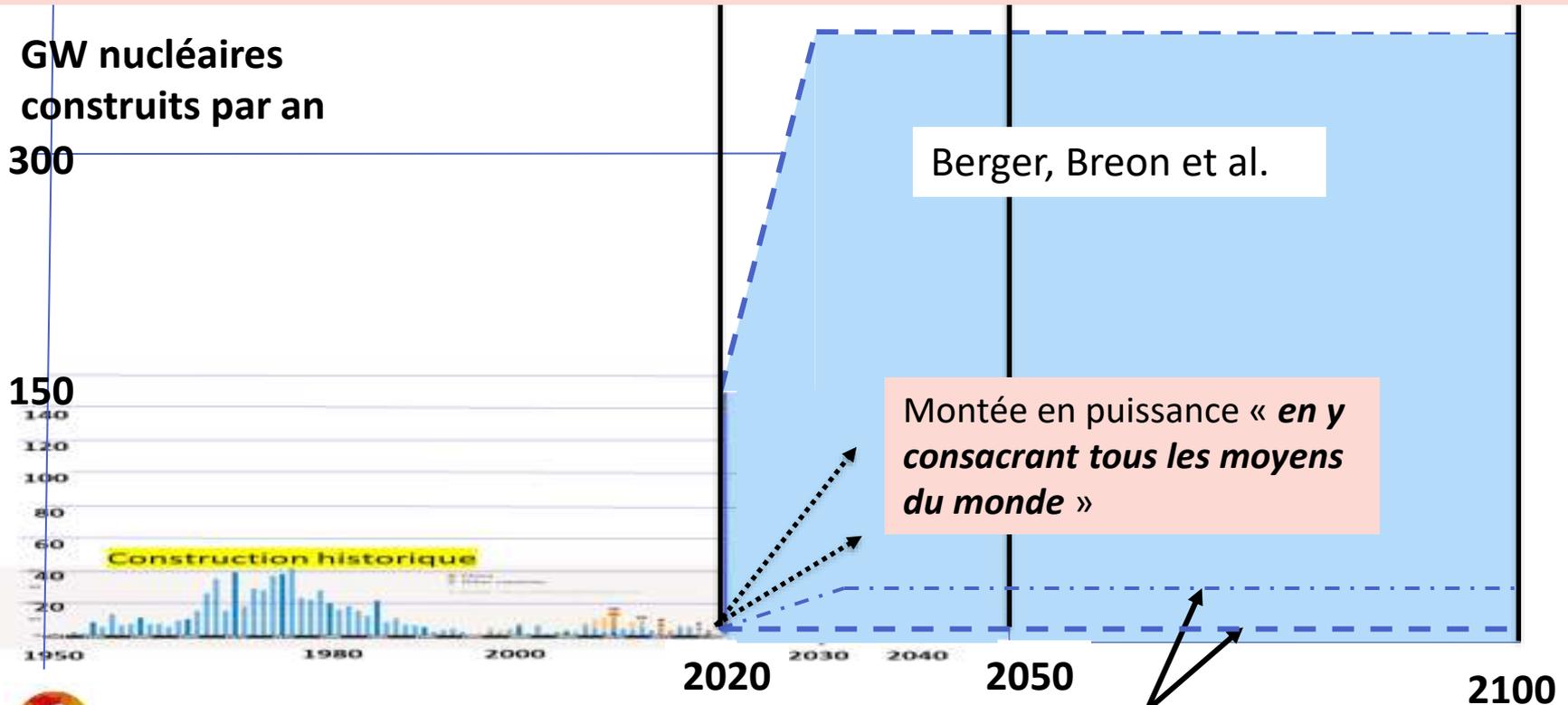
AIEA haut et bas

Niveaux étudiés par le GIEC



Révolutionnaire!

Dans ce scénario, la **consommation de combustible enrichi** explose. Cela pose d'une part la question des **capacités de production** (mines, usines de purification et d'enrichissement, transports), d'autre part la question du passage à des cycles **plus proliférants**, plus lents à se mettre en place. Par exemple un parc de centrales à base de plutonium doit attendre des décennies pour disposer du combustible des réacteurs suivants (hors stocks existants comme en France). Ainsi, dans le débat présent au GIEC, on qualifie un tel scénario de « **outlier** » c'est-à-dire de point de vue marginal éloigné du consensus de la communauté scientifique.



Les électriciens n'en veulent pas

En réalité **peu de commandes nucléaires se concrétisent**. Les clients sont des compagnies électriques **beaucoup plus petites que l'EDF**, qui refusent de se lancer dans un contexte où le nucléaire est plus cher que les autres solutions :

- ✓ Il faut une administration de la **sûreté et de la radioprotection**
- ✓ **L'approvisionnement en combustible** est complexe avec le risque de se trouver face à un monopole commercial, voire sous embargo
- ✓ Le **nombre de sites est limité** (refroidissement, urbanisme....)
- ✓ Les **déchets nucléaires** posent des questions encore non résolues.
- ✓ La **maintenance nucléaire** représente une part élevée de l'investissement, souvent non ou mal programmée.
- ✓ Le **délai de construction** est incertain, ce qui induit des aléas sur le fonctionnement du réseau électrique et des coûts.
- ✓ Le public, ou un pouvoir en alternance risquent de **refuser le nucléaire**, en particulier après un accident.

Un plafond industriel et humain

Tout cela ne préjuge pas de la fin du siècle pour l'atome, mais ce qui est certain c'est que l'industrie ne peut pas livrer un « **tout-nucléaire** » **d'impact climatique significatif** dans les trente prochaines années.

- ✓ La montée en puissance d'un tel programme (production des réacteurs, chaînes de construction, enrichissement ou retraitement...) se situe largement hors épure du cadre de l'Accord de Paris, qu'il s'agisse de réacteurs nouveaux à valider ou de modèles existants.
- ✓ La ressource (humaine, financière, industrielle) doit aussi tenir compte qu'une partie importante de la planète a **renoncé au nucléaire** ou a **réduit drastiquement** son échelle. De même la production en base électrique du nucléaire entre **frontalement en concurrence** avec l'éolien et le PV solaire: l'amortissement d'un nouveau parc nucléaire massif n'est pas envisageable dans un cadre non étatisé.

Un problème politique aussi

- ✓ Enfin, une relance massive du nucléaire suppose des **niveaux de consensus international** (similaires à celles de l'aéronautique) improbables. Il y a des questions proprement nucléaires et de prolifération très compliquées dans le contexte géopolitique. Mais surtout, une condition essentielle est de combiner à la fois **un contexte concurrentiel entre fournisseurs**, en même temps qu'une **normalisation poussée des composants et des procédures**. Sinon le prix du nucléaire continuera d'augmenter.
- ✓ Le nucléaire ne disparaît pas pour autant. Sa place dans le monde est déterminée par la **durée de vie du parc existant**; par la présence d'acteurs étatiques et militaires (France, Chine, Russie...) dont l'intérêt est de ne pas laisser mourir le secteur quitte à le subventionner, etc.

En conclusion

- ✓ La part de marché nucléaire **restera limitée** selon toute probabilité. À l'échéance 2050, le monde se situera entre d'une part un déclin de moitié voire plus (situation de laisser-faire), et d'autre part une relance mondiale concertée qui tenterait de maintenir (en rêvant de doubler) la production dans les prochaines décennies.
- ✓ Ces butées définissent **les limites d'un débat raisonnable**, parce que faisable physiquement et industriellement. C'est aussi en gros le cadre des échanges actuels entre les services des états et les professionnels « non idéologiques » de l'énergie en Europe, et de plus en plus en France. Au final, le groupe « Berger et al. » ne se situe pas dans **une discussion sérieuse et documentée** de politiques publiques.

Des questions ?



Il est beau mon nucléaire

L'énergie grise

Elle correspond à l'ensemble de l'énergie nécessaire à l'emploi d'un produit :

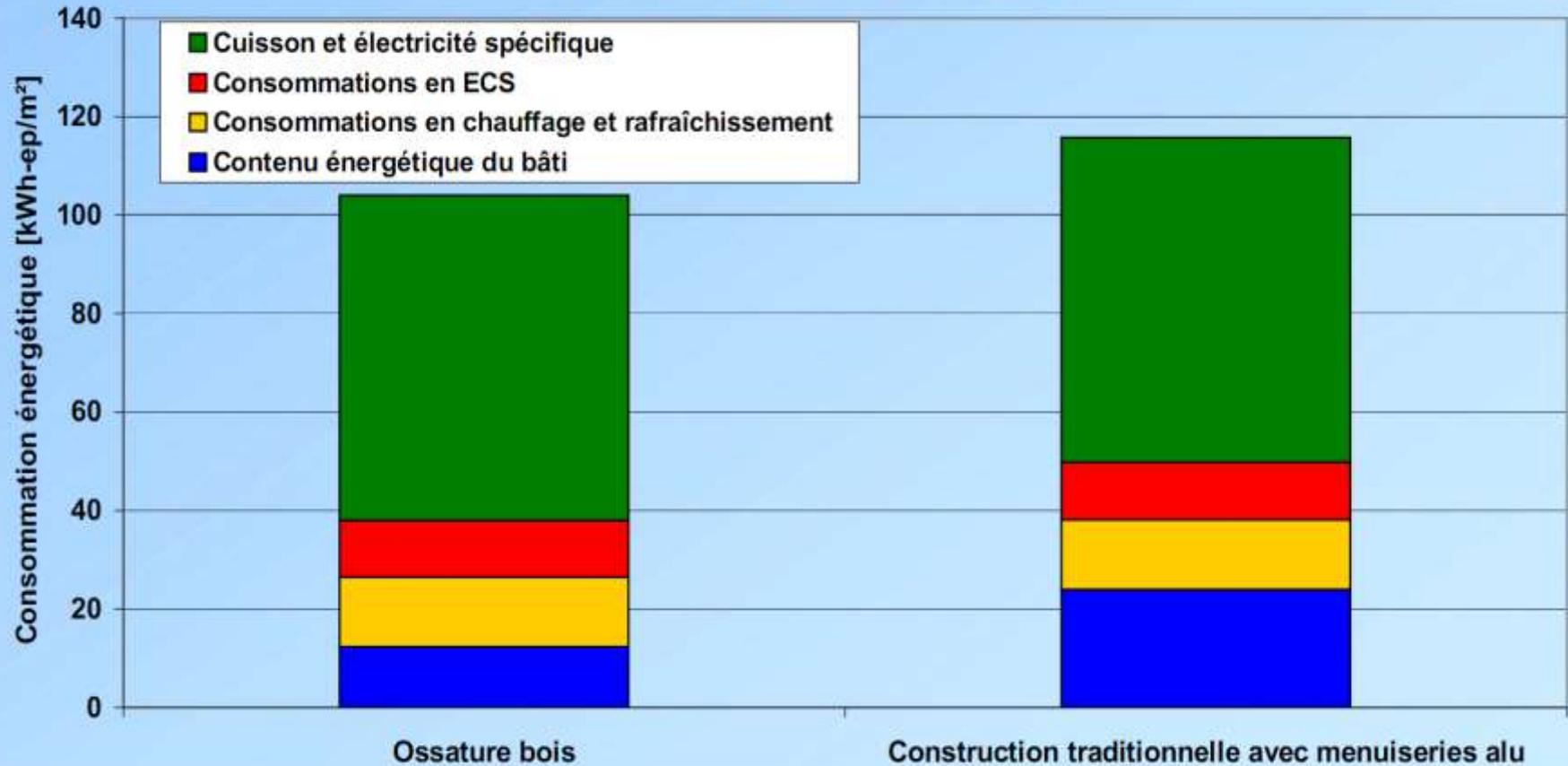
- Conception
- Fabrication
- Usage (maintenance)
- Recyclage (démontage, tri, destruction et/ou recyclage...)

Elle correspond à l'ensemble de l'énergie nécessaire à l'emploi d'un produit

Attention aux périmètres et hypothèses d'étude pour les comparaisons

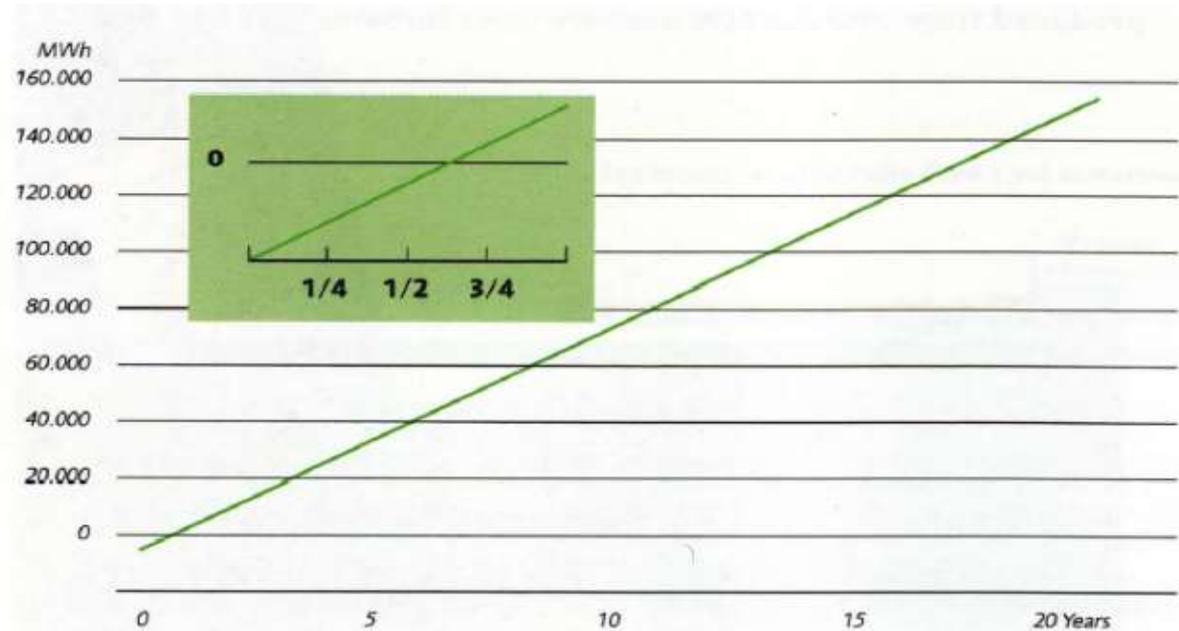
Pour une maison, l'énergie grise n'est qu'une partie de la consommation

Bilan énergétique global sur une durée de vie de 50 ans.
Impact des choix constructifs sur le bilan énergétique global pour des consommations moyennes d'électricité spécifique.



Source : Enertech

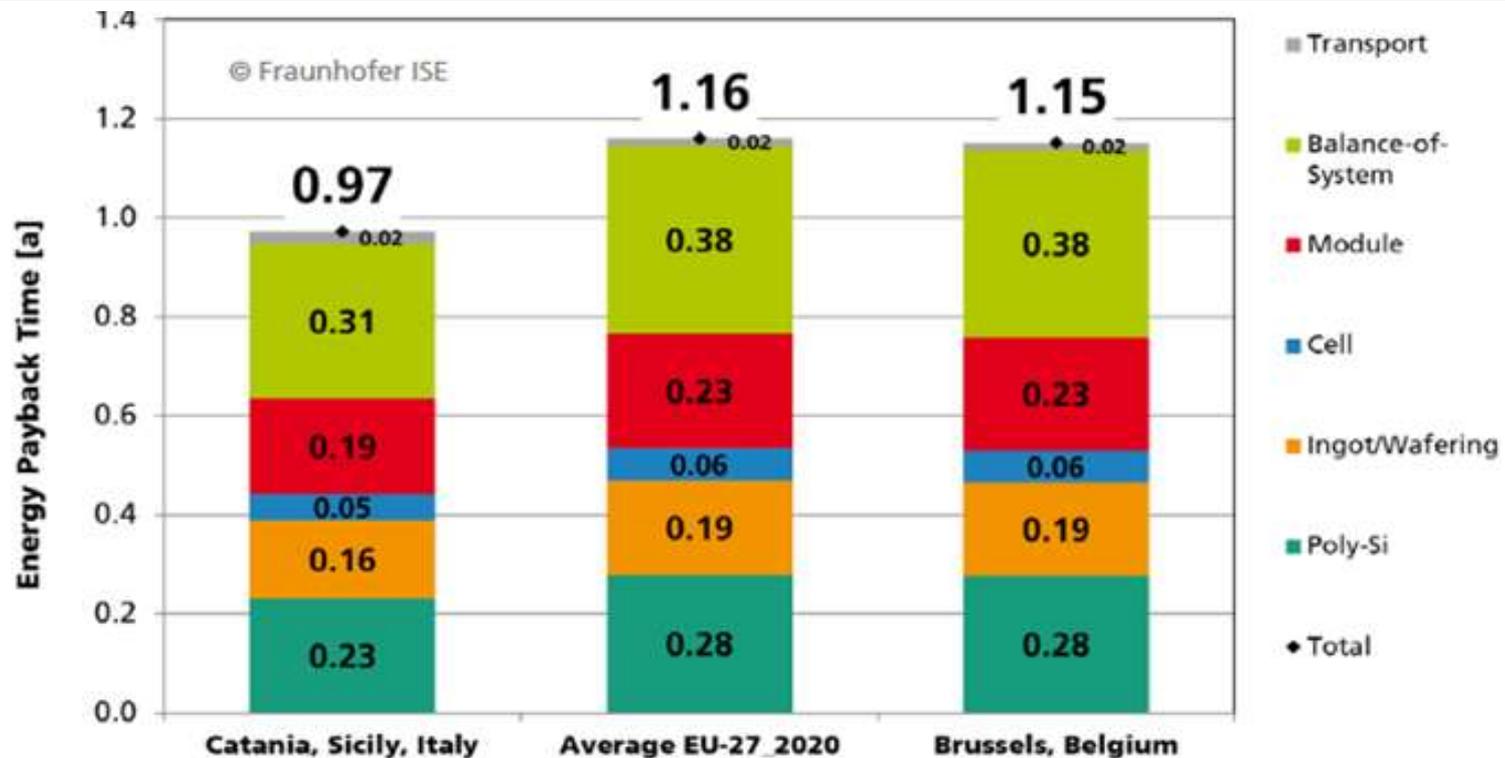
Energie grise – le cas d'une éolienne



En six mois, l'éolienne (ici une Vestas v90 de 3 MW) a remboursé toute l'énergie de sa construction (y compris son socle de béton)

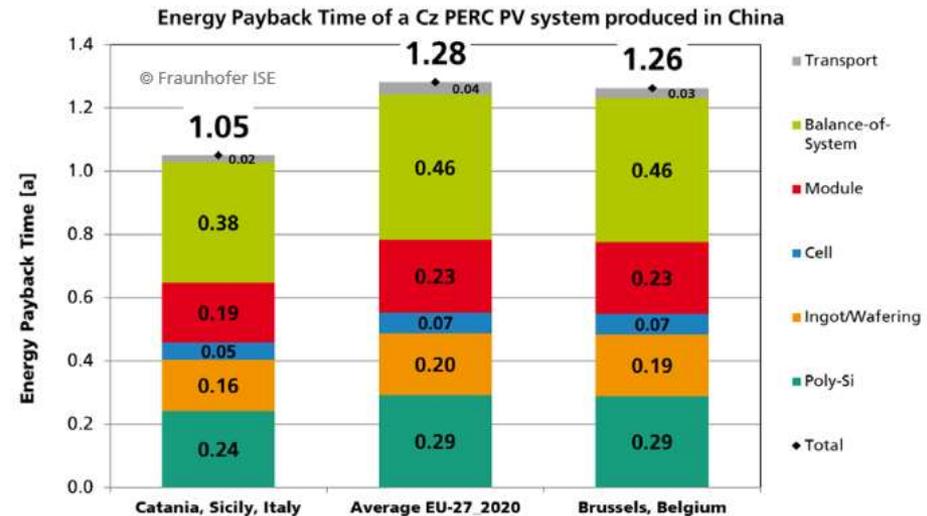
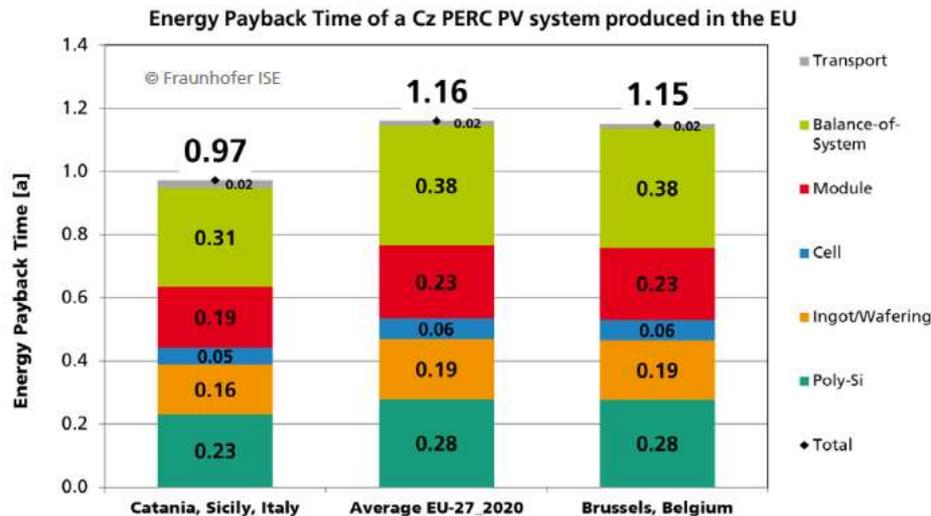
Energie grise du photovoltaïque (PV)

Exemples de **retours sur l'énergie investie** (en années) pour trois cas d'installations solaires (en toiture) en Europe. L'installation va donc **rembourser en un an** puis produire « en net » pendant 20 à 30 ans (étude Fraunhofer 2020)



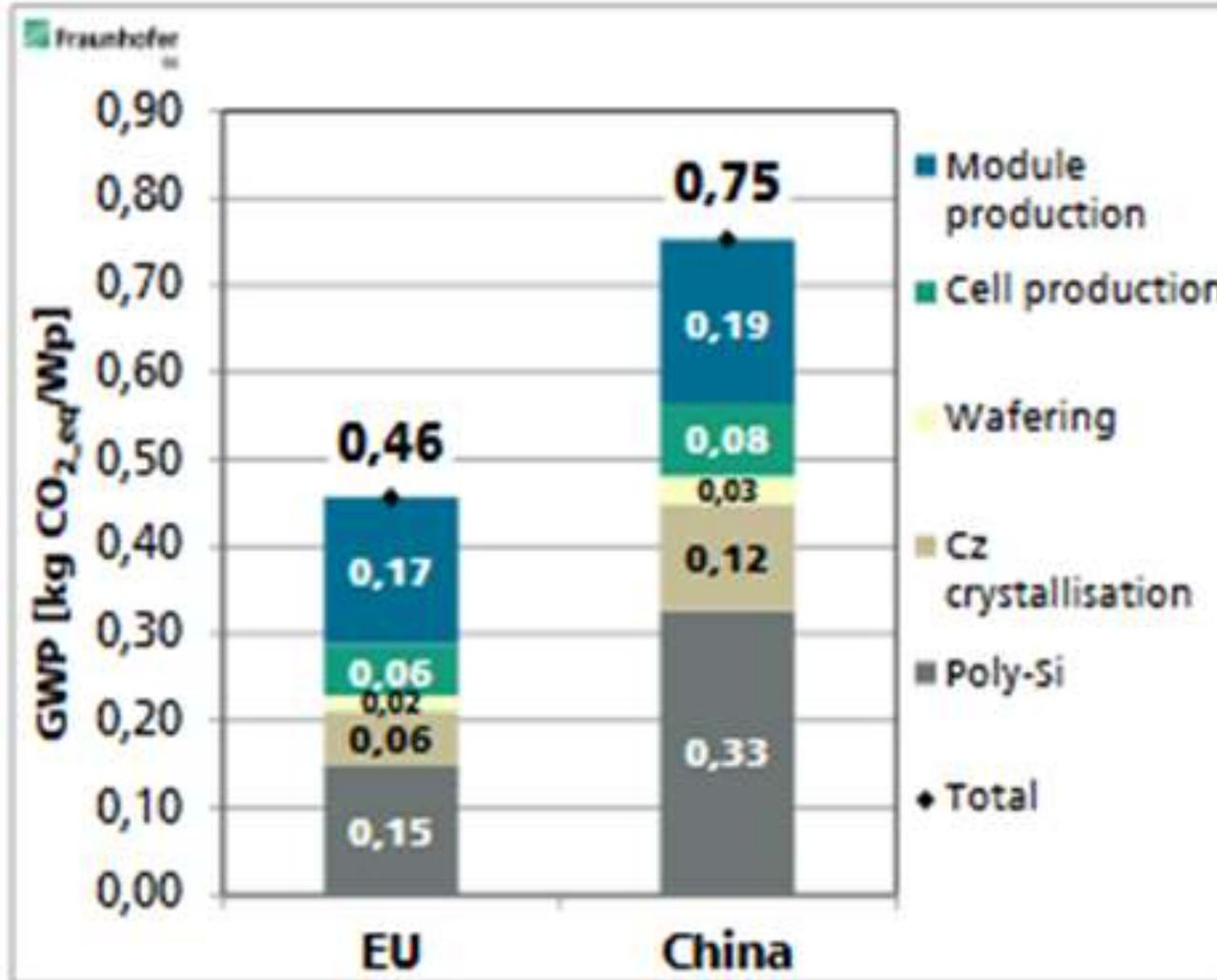
Fabriquer en Chine ou en Europe...

Comparaison des énergies investies en Chine et en Europe. **L'énergie mise en œuvre dans les deux pays est similaire.** Le transport joue pour une **très faible partie** (en gris). D'ailleurs, des deux côtés, les usines sont construites par des fabricants de Suisse, d'Allemagne, etc.



EPBT for PV systems produced in Europe is shorter than for those produced in China because of better grid efficiency in Europe.

Pour les émissions c'est un peu différent



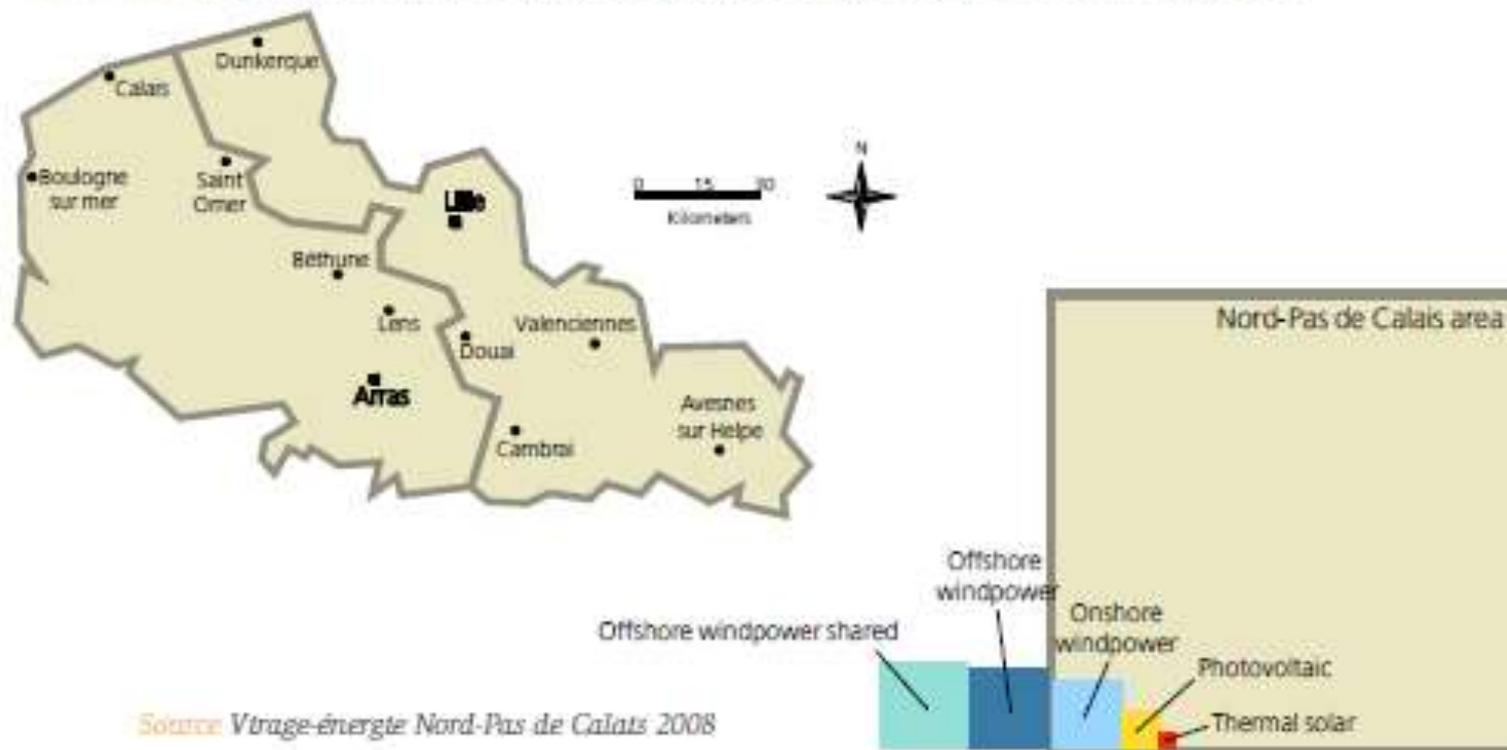
Estimation des énergies investies dans un module de 1 Watt-crête
(Fraunhofer Institut)

Ici aussi, l'écart ne vient pas du transport, mais avant tout des écarts sur l'approvisionnement en énergie et en électricité dans les usines

Autre indicateur: Surfaces nécessaires

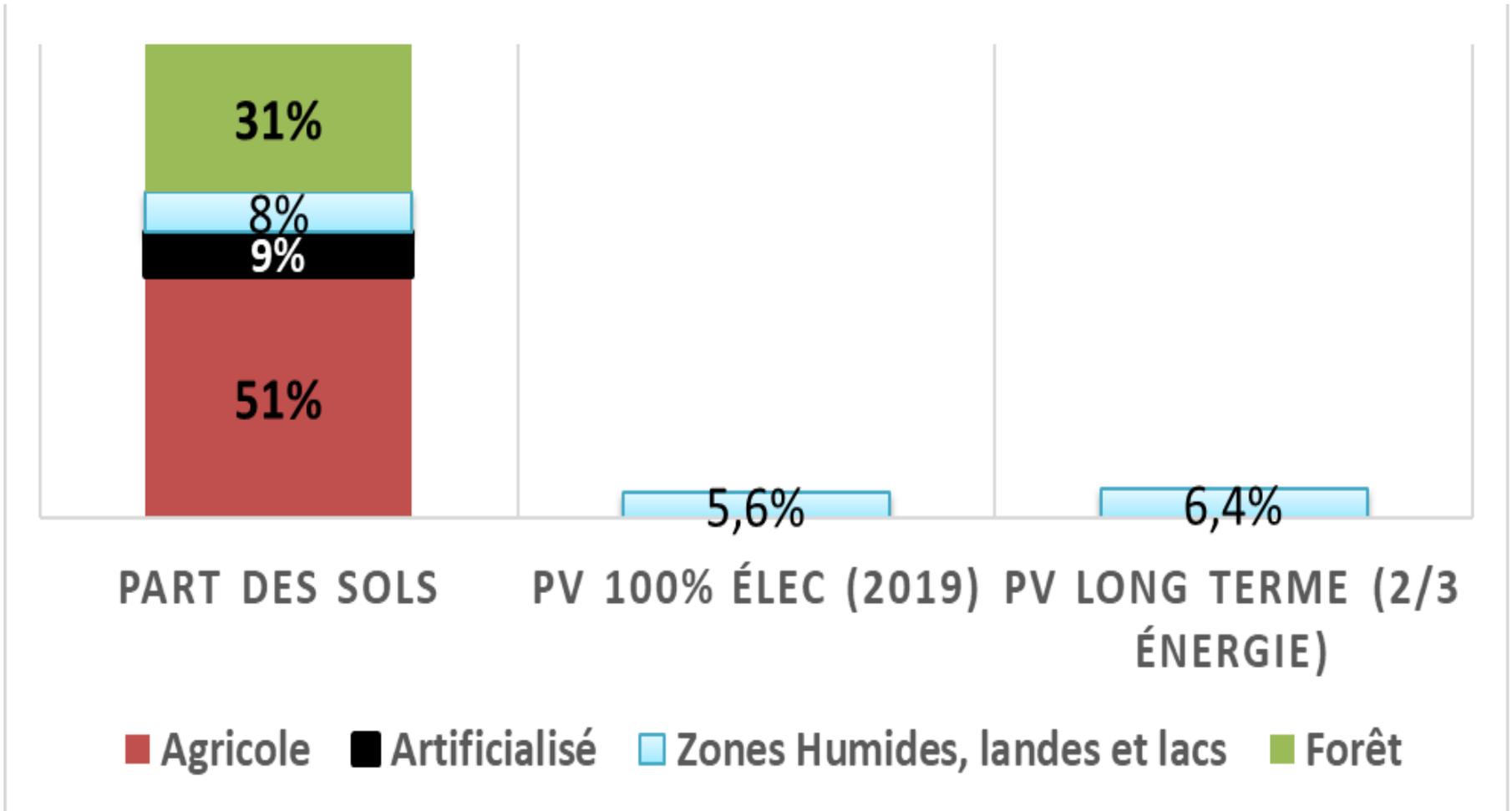
L'empreinte du scénario Virage Energie Nord Pas de Calais (VE-NPDC)

DIAGRAM 13 THE VIRAGE-ENERGIE SCENARIO RENEWABLE ENERGY SOURCES FOOTPRINT IN 2050



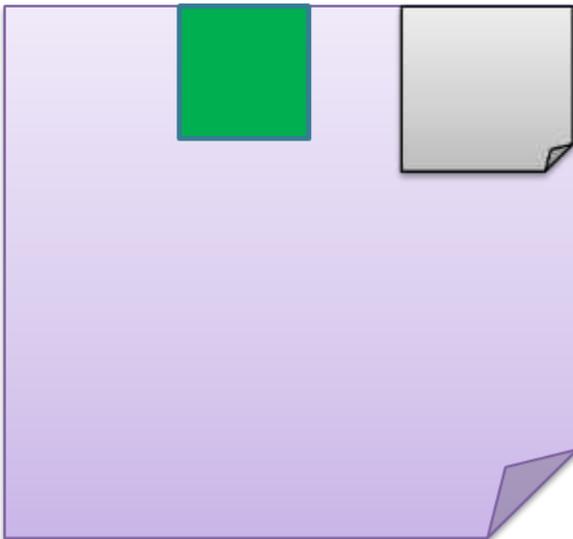
Our plan for renewable energy sources is ambitious, but achievable. This diagram shows the proportion of the total surface area of Nord-Pas de Calais compared to the surface required to produce power using wind and solar energy by 2050. Windmills and solar panels will only cover a very limited part of the overall surface area of our region.

Discussion: Surface mobilisée par une France 100% PV

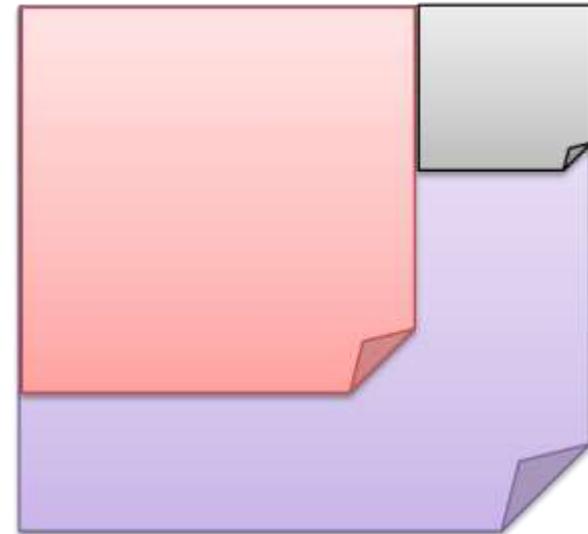


Représentations stylisée d'une France à 100% PV

Usages des terres en France: PV 100% vs artificialisé



Usages des terres en France: agricole vs artificialisé



	VA Mds€	% PIB
Agriculture	34,6	1,4%
Energie*	102	4,3%
Total VA	2400	

* Facture HT importations + services intérieur

D'après chiffres clé de l'énergie 2018

Facture imports = 45 Mds€

Les besoins en surface...

L'empreinte du système énergétique peut nous guider à orienter les scénarios, en tenant compte du caractère irréversible ou non (nucléaire vs éolien), de sa compatibilité avec d'autres usages (habitation, agriculture...)

Autre question, la concurrence des usages (par ex. terres arables) mais aussi le risque pris à proximité des installations (charbon, nucléaire...). On peut aussi comparer simultanément des valeurs ajoutées ou des emplois.

Il y a de nombreux autres indicateurs de long terme : nutriments ou pollutions des sols, matériaux précieux non recyclés...

Ils nous permettent de réfléchir aux limitations des scénarios, d'y remédier si possible (feuilles de route, R&D...) ou de poser des compromis (cf. ODD). Ils ne suffisent pas à « interdire » ou à décréter « impossible » un scénario, juste de le qualifier.

Le point important à retenir est la distinction entre une soutenabilité de court-moyen terme et celle d'une aspiration au long terme.

Des questions?

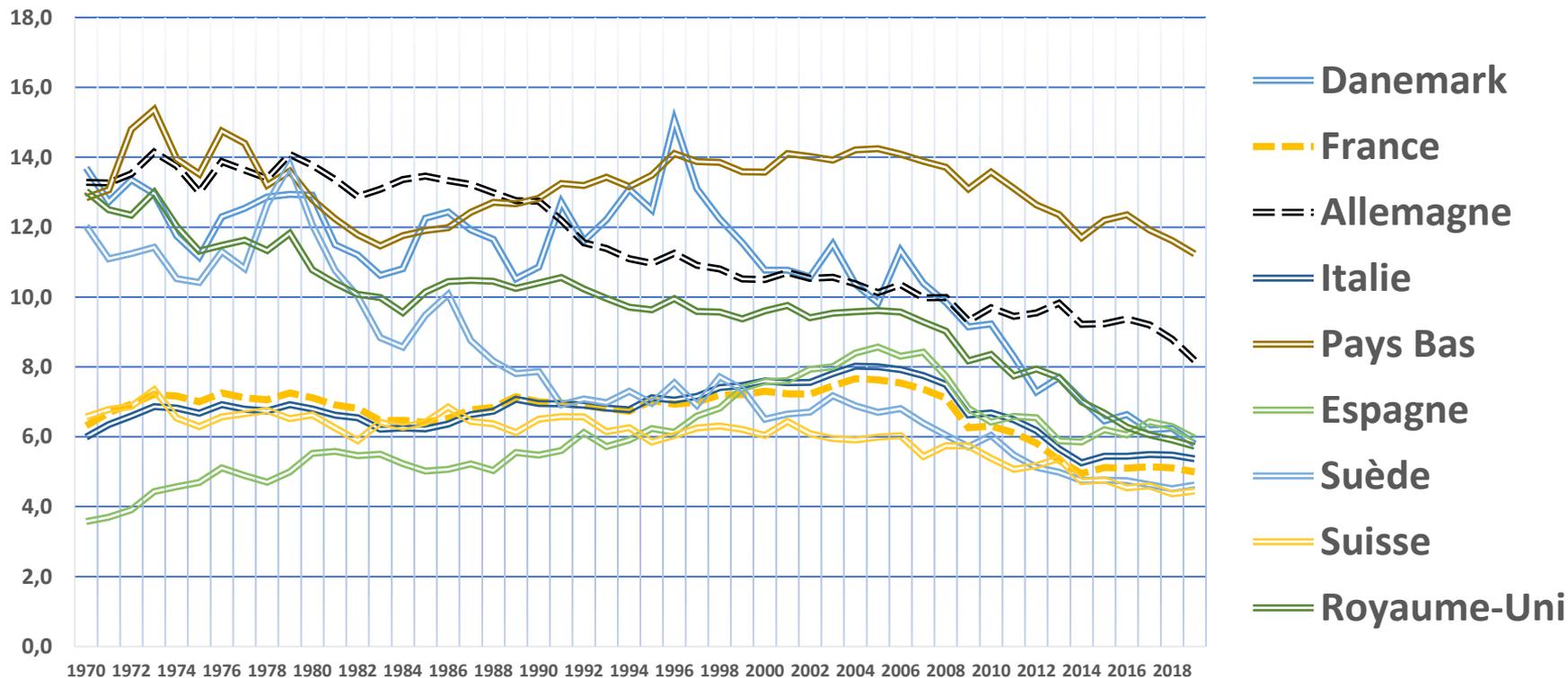


© Peyo



Et nos voisins européens?

EMISSIONS PER CAPITA EN EUROPE (BRUT)



Les émissions directes per capita entre des pays européens comparables montrent que la majorité des pays sont « dans un mouchoir de poche ». Cette position est ancienne ou bien plus récente, liée à des politiques publiques énergie-climat (Danemark, Suède) La situation de l'Allemagne occulte souvent ce regroupement des autres pays. (voir diapo suivante)

Comparaisons

La comparaison des pays –et notamment le **duo France/Allemagne**- alimente beaucoup de fantasmes. Cette comparaison est compliquée par le fait que l'Allemagne exporte beaucoup de produits industriels et de consommation et notamment vers la France.

- L'industrie allemande consomme 23% de plus per capita qu'en France.
- Les consommateurs allemands ont un besoin chauffage (DJU) 30% supérieurs à celui des Français (76% pour les Suédois!)
- La consommation alimentaire ou celle de transport aérien est comparable (les statistiques sont moins précises pour comparer les émissions indirectes et leur évolution)

Au passif de l'Allemagne (qui explique ses émissions supérieures au reste des Européens), sa consommation encore élevée de transports routiers, le retard pris pour convertir les centrales électriques au lignite, dont une part sert... à l'exportation vers la France en hiver.