



***Un mix électrique décarboné en Europe en 2050 ?
Est-ce possible ?
A quelles conditions ?***

Dr. Jef ONGENA

Président du Groupe Energie, European Physical Society

***Conférence-Débat du Groupe Professionnel Centrale-Energies
Paris, 23 November 2017***

INTRODUCTION

L'unité d'énergie utilisée dans cette présentation

Quelques exemples de notre consommation

On consomme beaucoup d'énergie sans le réaliser

Quelques exemples

- 20 minutes d'un chauffe-eau électrique – 1kWh
- Nourriture ingérée – 3kWh/jour
- Bain chaud – 5kWh
- 1 litre d'essence – 10kWh
- Canette en aluminium (15g) – 0.6kWh

Moyenne pour les citoyens européens: ~100kWh/jour

Chaque citoyen européen équivaut **33 esclaves** ($100/3 = 33$)...

Électricité: un tiers du problème du CO₂

Trois secteurs principaux



~ 1/3 de l'énergie primaire
transport



~ 1/3 de l'énergie primaire
chauffage et climatisation



~ 1/3 de l'énergie primaire
électricité

On consomme beaucoup d'énergie sans le réaliser

Europe

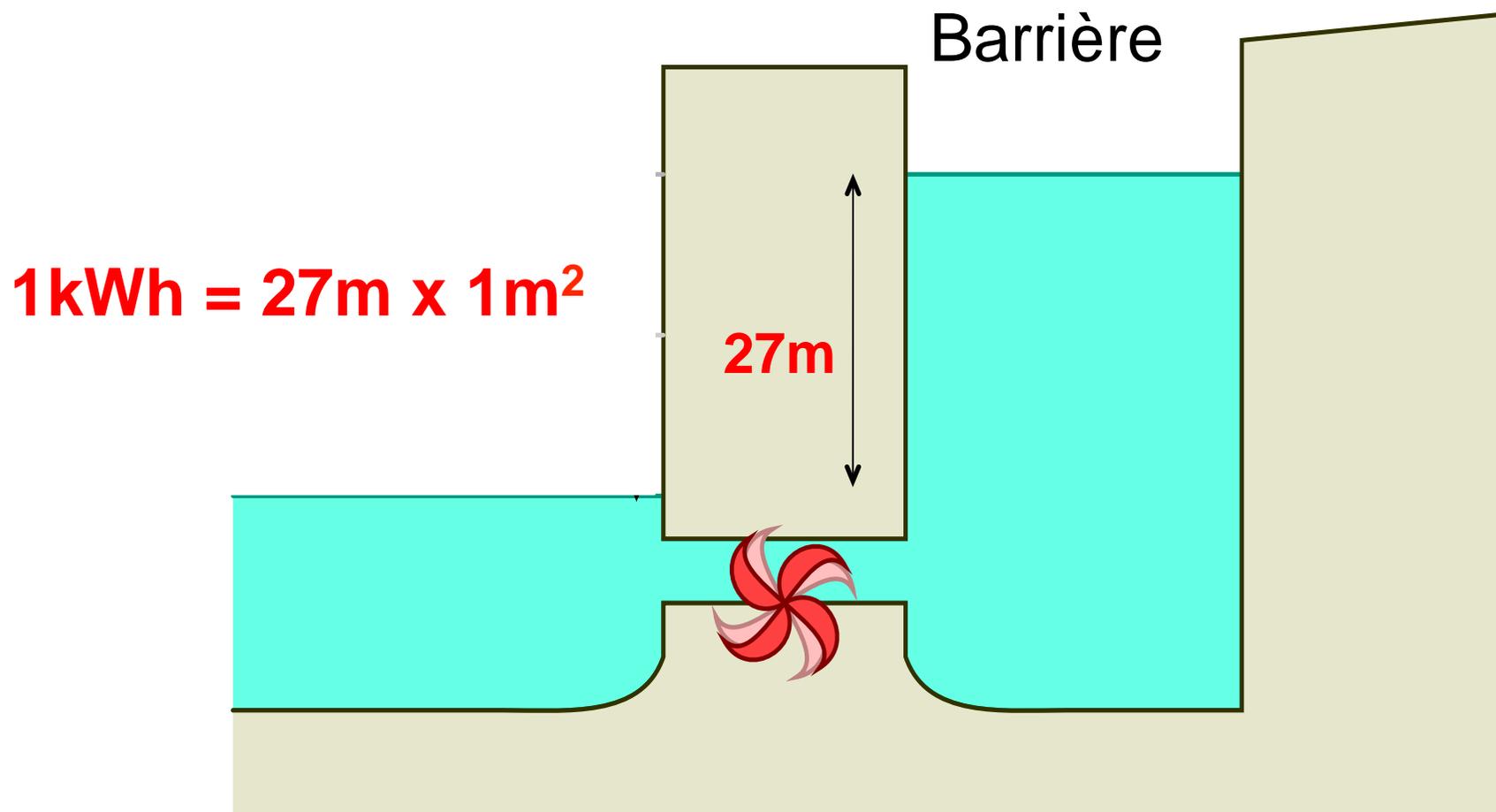


Consommation
énergétique primaire
en moyenne:

Europe: 100kWh
par personne
par jour

Ou ~100 lampes
de 40W, 24h/jour

1 kWh en eau



Consommation d'énergie en France par jour, par personne

100kWh/personne/jour = 100m² x 27m ~ 2700m³

~1/3 gymnase en eau.... (40 x 25 x 8m)

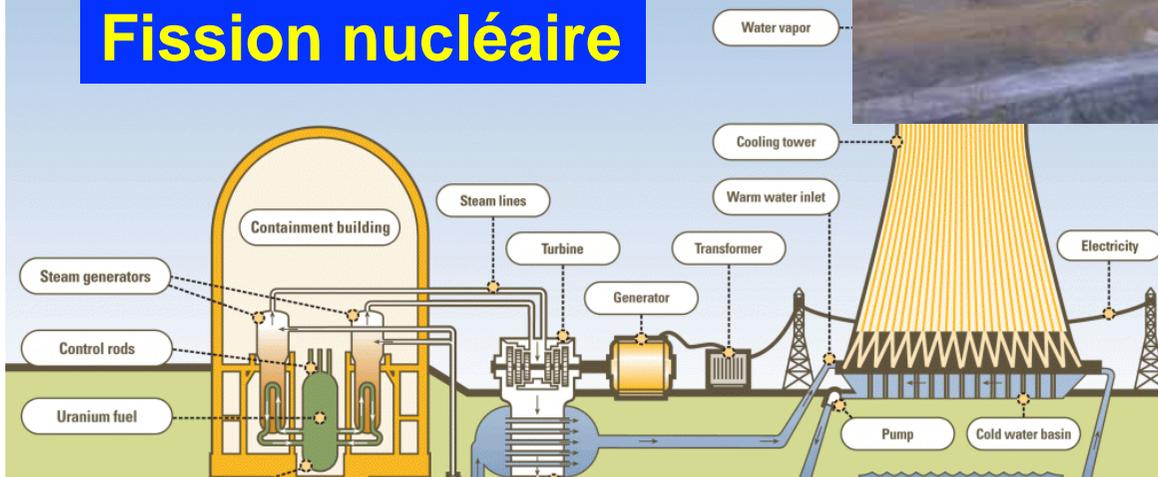
La question de l'énergie

Seulement trois options pour produire l'électricité

Énergies renouvelables:
Panneaux solaires,
éoliennes, biocarburants...

Combustibles fossiles

Fission nucléaire



Principaux caractéristiques de chaque option

1. Energies renouvelables

- Nécessite de grandes surfaces, chère
- Intermittance
- Moins de CO₂

2. Energies fossiles: pétrole, gaz, charbon

- Beaucoup de gaz résiduels et CO₂
- Contribution aux changements climatiques
- Dépendance (la Russie, le Moyen-Orient,..)
- Simple et (encore) bon marché

3. Fission nucléaire

- Radiations nucléaires: protection
- Déchets nucléaires: traiter / stocker
- Absence de CO₂, technique compacte mais complexe

Seulement trois options pour produire l'électricité

Si on est contre les énergies fossiles...

1. Energies renouvelables

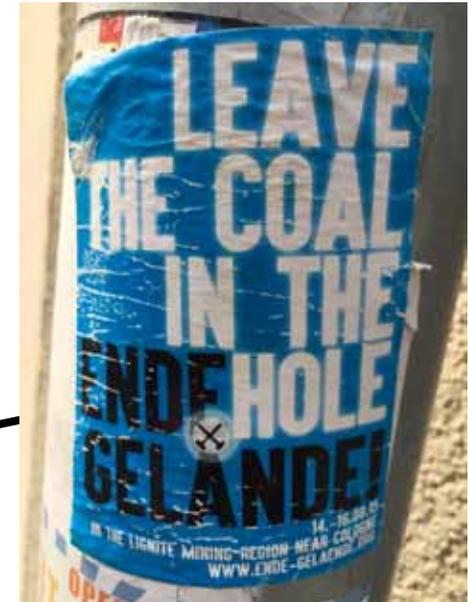
- Nécessite de grandes surfaces, chère
- Intermittance
- Moins de CO₂

2. ~~Energies fossiles: pétrole, gaz, charbon~~

- ~~• Beaucoup de gaz résiduels et CO₂~~
- ~~• Contribution aux changements climatiques~~
- ~~• Dépendance (la Russie, le Moyen-Orient,...)~~
- ~~• Simple et (encore) bon marché~~

3. Fission nucléaire

- Radiations nucléaires: protection
- Déchets nucléaires: traiter / stocker
- Absence de CO₂, technique compacte mais complexe



Seulement trois options pour produire l'électricité

Si on est aussi contre le nucléaire...

1. Energies renouvelables

- Nécessite de grandes surfaces, chère
- Intermittance
- Moins de CO₂

2. ~~Energies fossiles: pétrole, gaz, charbon~~

- ~~Beaucoup de gaz résiduels et CO₂~~
- ~~Contribution aux changements climatiques~~
- ~~Dépendance (la Russie, le Moyen-Orient,...)~~
- ~~Simple et (encore) bon marché~~

3. ~~Fission nucléaire~~

- ~~Radiations nucléaires: protection~~
- ~~Déchets nucléaires: traiter / stocker~~
- ~~Absence de CO₂, technique compacte mais complexe~~



Seulement trois options pour produire l'électricité

Toute électricité serait produite par les énergies renouvelables

1. Energies renouvelables

- Nécessite de grandes surfaces, chère
- Intermittance
- Moins de CO₂

2. ~~Energies fossiles: pétrole, gaz, charbon~~

- ~~Beaucoup de gaz résiduaire et CO₂~~
- ~~Contribution aux changements climatiques~~
- ~~Dépendance (la Russie, le Moyen-Orient,...)~~
- ~~Simple et (encore) bon marché~~

3. ~~Fission nucléaire~~

- ~~Radiations nucléaires: protection~~
- ~~Déchets nucléaires: traiter / stocker~~
- ~~Absence de CO₂, technique compacte mais complexe~~



Seulement trois options pour produire l'électricité

Et puis arrive une période nuageuse et sans vent ...

1. Energies renouvelables

- Nécessite de grandes surfaces, chère
- Intermittance
- Moins de CO₂

2. Energies fossiles: pétrole, gaz, charbon

- Beaucoup de gaz résiduaux et CO₂
- Contribution aux changements climatiques
- Dépendance (la Russie, le Moyen-Orient,...)
- Simple et (encore) bon marché

3. Fission nucléaire

- Radiations nucléaires: protection
- Déchets nucléaires: traiter / stocker
- Absence de CO₂, technique compacte mais complexe



D'où l'électricité est-elle supposée venir ?

On consomme beaucoup d'énergie sans le réaliser

Olympic cyclist versus toaster...

HOW MUCH ENERGY DOES IT TAKE
TO TOAST A SLICE OF BREAD?



La question de l'énergie mondiale

Consommation d'énergie primaire par tête par jour (2014)

Pays	Consommation (kWh/tête/jour)
Etats Unis	222
Europe	100
Japon	110
Chine	71
Inde	21
Moyenne mondiale	60

Consommation mondiale

7.2 milliard de personnes x 60 kWh x 365 jours
= 18 TWyr

Source: "Key World Energy Statistics", IEA, Paris

La question de l'énergie mondiale

Estimons la consommation dans 50 ans

Hypothèses:

- Entre 9 et 12.5 milliards de personnes en 2065
- Consommation moyenne en 2065 : 60 – 75 kWh/p/jour

(Ce n'est que 1/4-1/3 de la consommation actuellement aux Etats Unis
ou ~ 1/2 de la consommation européenne)

Dans 50 ans, peut-être

(9 - 12.5) milliards de personnes x (60 - 75) kWh par tête
x 365 jours
= 22.5 – 40TWyr

Entre 1.3 – 2.2 x la consommation actuelle !

La question de l'énergie mondiale

Conséquences

+ 4.5 TWyr → 4500GWyr / 50 ans = 90GWyr / an
+ 22 TWyr → 22000GWyr / 50 ans = 440GWyr / an

**Construire chaque semaine l'équivalent de
2 – 8 systèmes d'énergie de 1 GW pour
les 50 ans à suivre
en moyenne dans le monde**

Comment le réaliser... ?

1. Systèmes avec un minimum de production de CO₂ ?
2. Lesquels ? Systèmes nucléaires ? Renouvelable ? Sinon fossiles !
3. Si fossile, énorme pollution;
p.e. la mer de Chine + 30% Hg dans les 20 années passées !
4. Possible avec un mix ? Certainement:
la Chine seule > 160 GW/an, soit 3GW / semaine

On ne peut exclure aucune des trois options !!!

Une tâche énorme pour les décennies à venir

1. Augmenter la capacité actuelle, comme estimée
ET
2. Remplacer les systèmes actuels (~85% fossiles)
par des systèmes à bas CO₂

**Ce dernier nécessite l'installation de
~10000 - 40000GW en systèmes à bas CO₂
dans les 50 ans à venir.**

Aucune option ne peut être oubliée !!!

LE PROBLÈME

Les plans européens pour la transformation de la production d'électricité

Exemple: l'Allemagne

Note: ces plans discutent des actions seulement pour le secteur de l'électricité, donc un tiers du problème du CO₂

Les plans européens pour la transformation de la production d'électricité

EU Energy Roadmap 2050

Réduction des émissions de CO₂ pour la production d'électricité
d'ici 2030 : **57-65%**
d'ici 2050 : **93-99%**

comparé à 1990

Source: "A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050", COM(2011)112, EC Brussels (8 March 2011)

Les plans européens pour la transformation de la production d'électricité

EU Energy Roadmap 2050

Reduction des émissions de CO₂ pour la production d'électricité
d'ici 2030 : **57-65%** comparé à 1990
d'ici 2050 : **93-99%**

Source: " A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050", COM(2011)112, EC Brussels (8 March 2011)

Une vraie révolution pour la production d'électricité.
Actuellement, 50% est générée sur base d'énergie fossile en EU.
Est-ce possible avec les énergies renouvelables seules?

Les plans européens pour la transformation de la production d'électricité

EU Energy Roadmap 2050

Reduction des émissions de CO₂ pour la production d'électricité
d'ici 2030 : **57-65%**
d'ici 2050 : **93-99%**

comparé à 1990

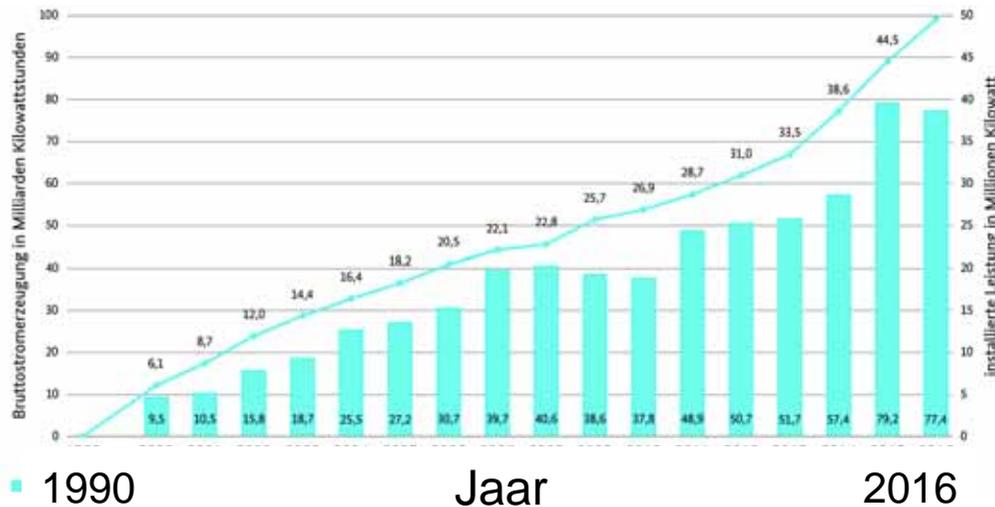
Source: "A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050", COM(2011)112, EC Brussels (8 March 2011)

Une vraie révolution pour la production d'électricité.
Actuellement, 50% est générée sur base d'énergie fossile en EU.
Est-ce possible avec les énergies renouvelables seules?

Manque de réalisme

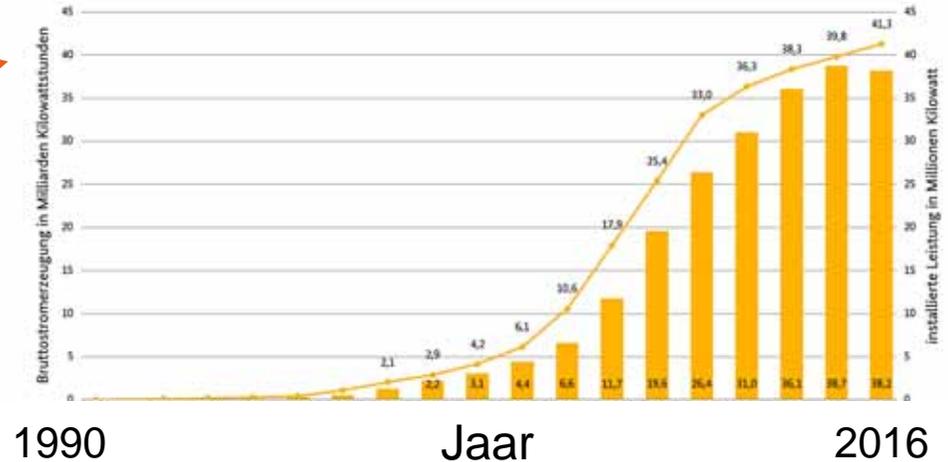
- Considérer les résultats obtenus, p.e. en Allemagne, et accepter les conséquences
- Adapter les plans avec le respect du bien-être des citoyens européens, de la science et de l'économie

La transformation d'énergie en Allemagne: Succès ...



50GW
Puissance installée en éoliennes (2016)

41.2GW
Puissance installée panneaux solaires (2016)



La somme (91.2 GW) représente plus que la charge maximale (83 GW)

La transformation d'énergie en Allemagne: Succès ... ou pas ?

Frankfurter Allgemeine Zeitung – 8 Mai 2015

SEITE 18 · FREITAG, 8. MAI 2015 · NR. 106

Die Ordnung der Wirtschaft

FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG

Björn Lomborg Deutschlands gescheiterte Klimapolitik

Die Energiewende hat sich als unglaublich kostspielig und unwirksam erwiesen. Dennoch werden in Paris viele auf eine ähnliche Politik wie die deutsche dringen. Dabei gibt es eine viel wirksamere Antwort auf den Klimawandel.

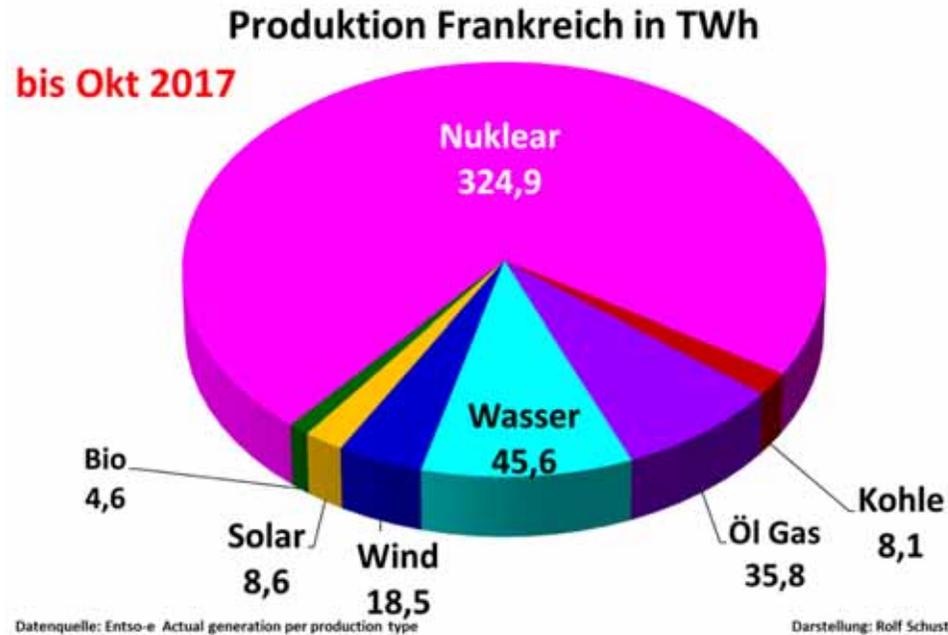
L'échec de la politique énergétique allemande (surtout soleil + vent)

**... (i) très chère...
... (ii) effet sur le CO₂ invisible ...
(iii) contribution faible à l'énergie électrique annuelle nécessaire**

?????

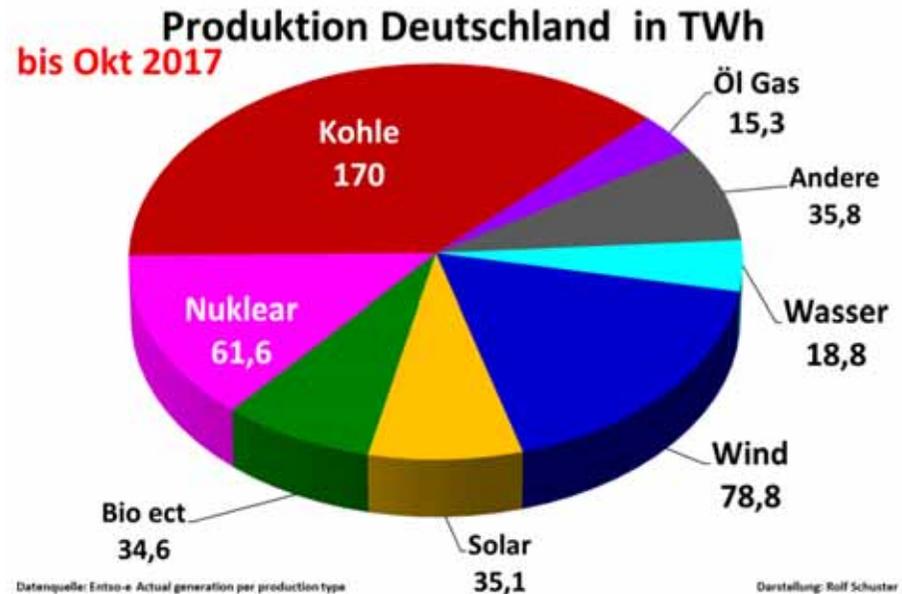
Les résultats de la politique énergétique allemande

Comparaison Allemagne - France (oct. 2017)



La France

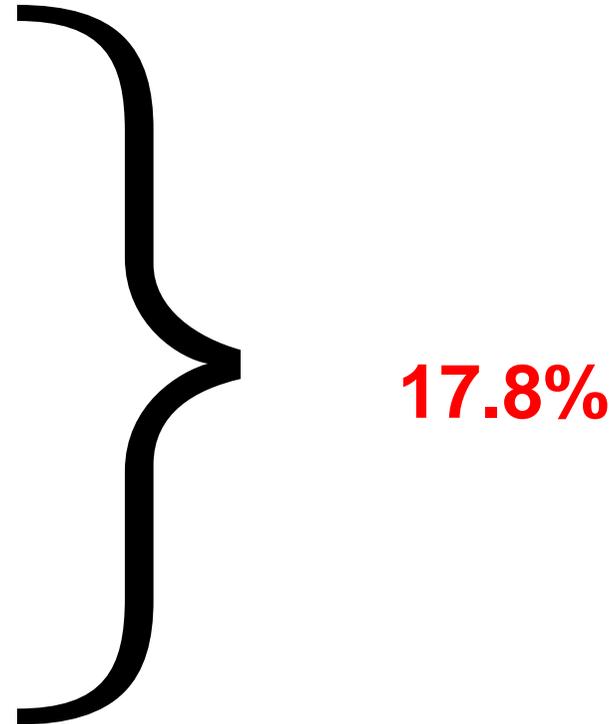
L'Allemagne



1. Petite contribution à la demande allemande ... ?!?

Énergie éolienne (2016)	
Puissance installée	50 GW
Énergie produite	77.4 TWh
Contribution au total	11.9 %

Énergie solaire (2016)	
Puissance installée	41.2 GW
Énergie produite	38.2 TWh
Contribution au total	5.9 %



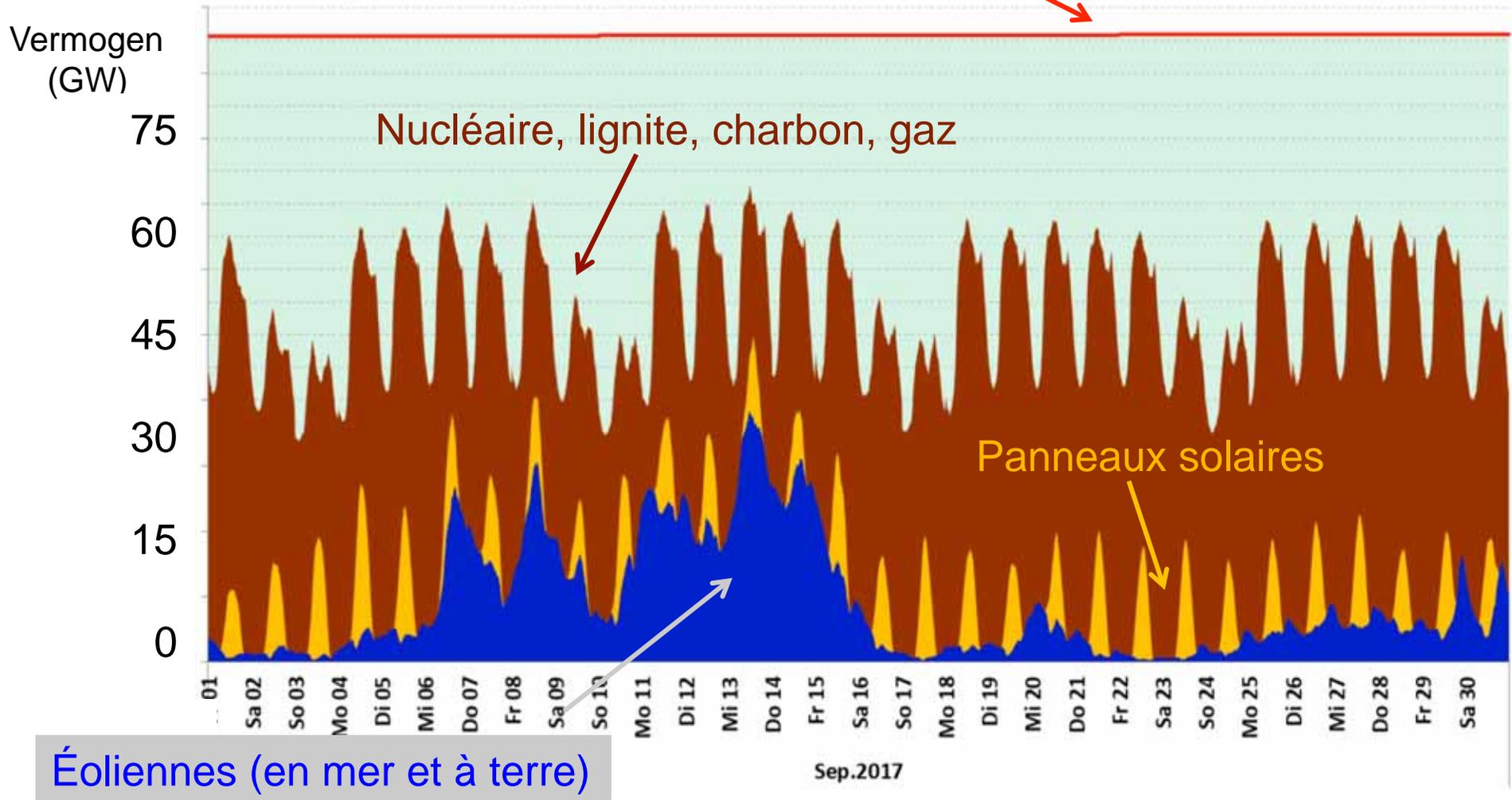
17.8%

**Moins que 20% de la consommation
d'énergie électrique allemande par an ... (650 TWh)**

Raison ? La grande variabilité !

Exemple: Septembre 2017

Panneaux solaires et éoliennes : 91 GW

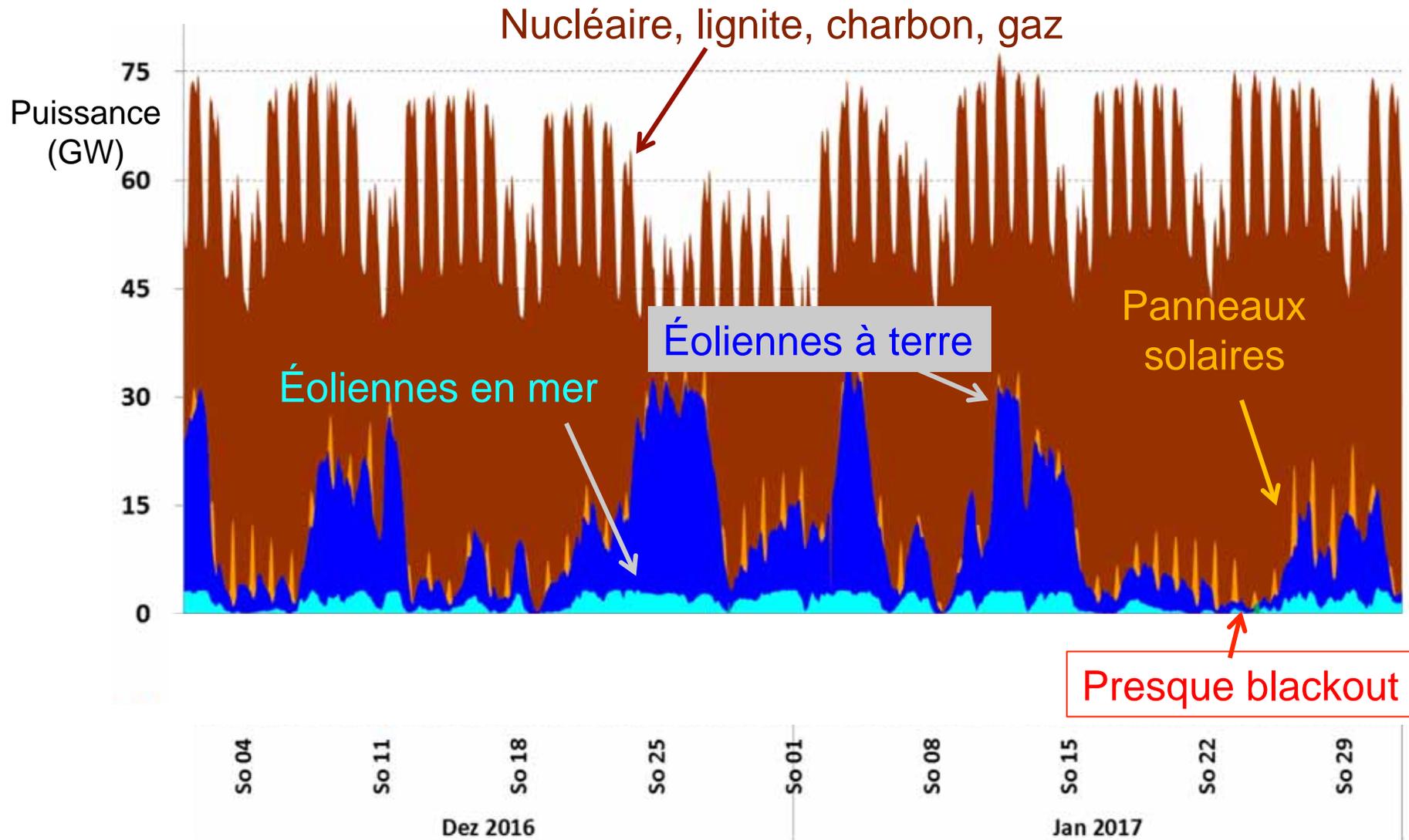


Puissance maximale installée (91GW): **jamais atteinte...**
La charge n'a **jamais été satisfaite...**

Raison ? La grande variabilité !

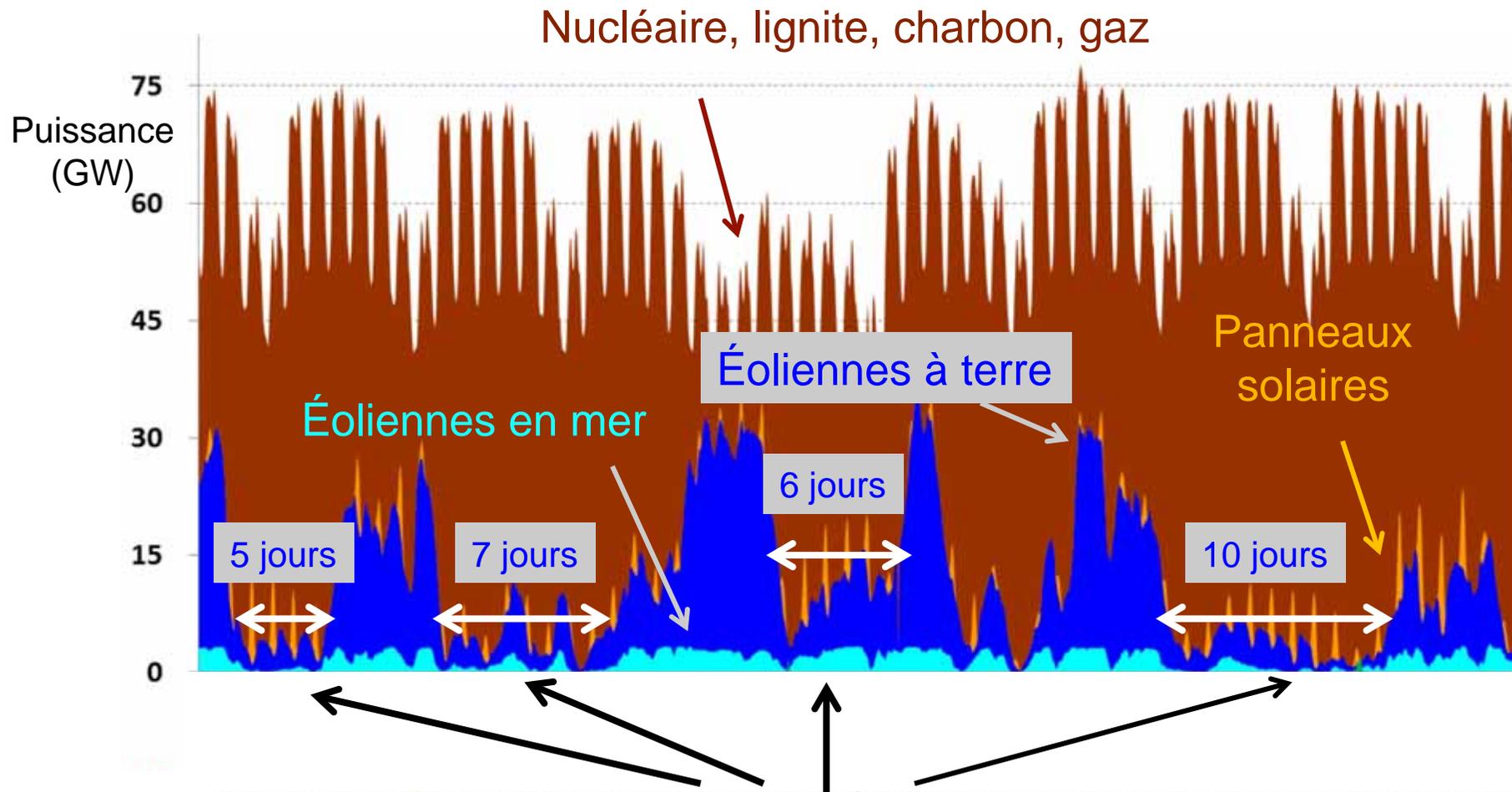
Exemple : Dec 2016 – Jan 2017

Puissance installée (91GW, soleil + vent)



Périodes de pénuries en énergie renouvelable → énergie fossile (surtout lignite) et nucléaire

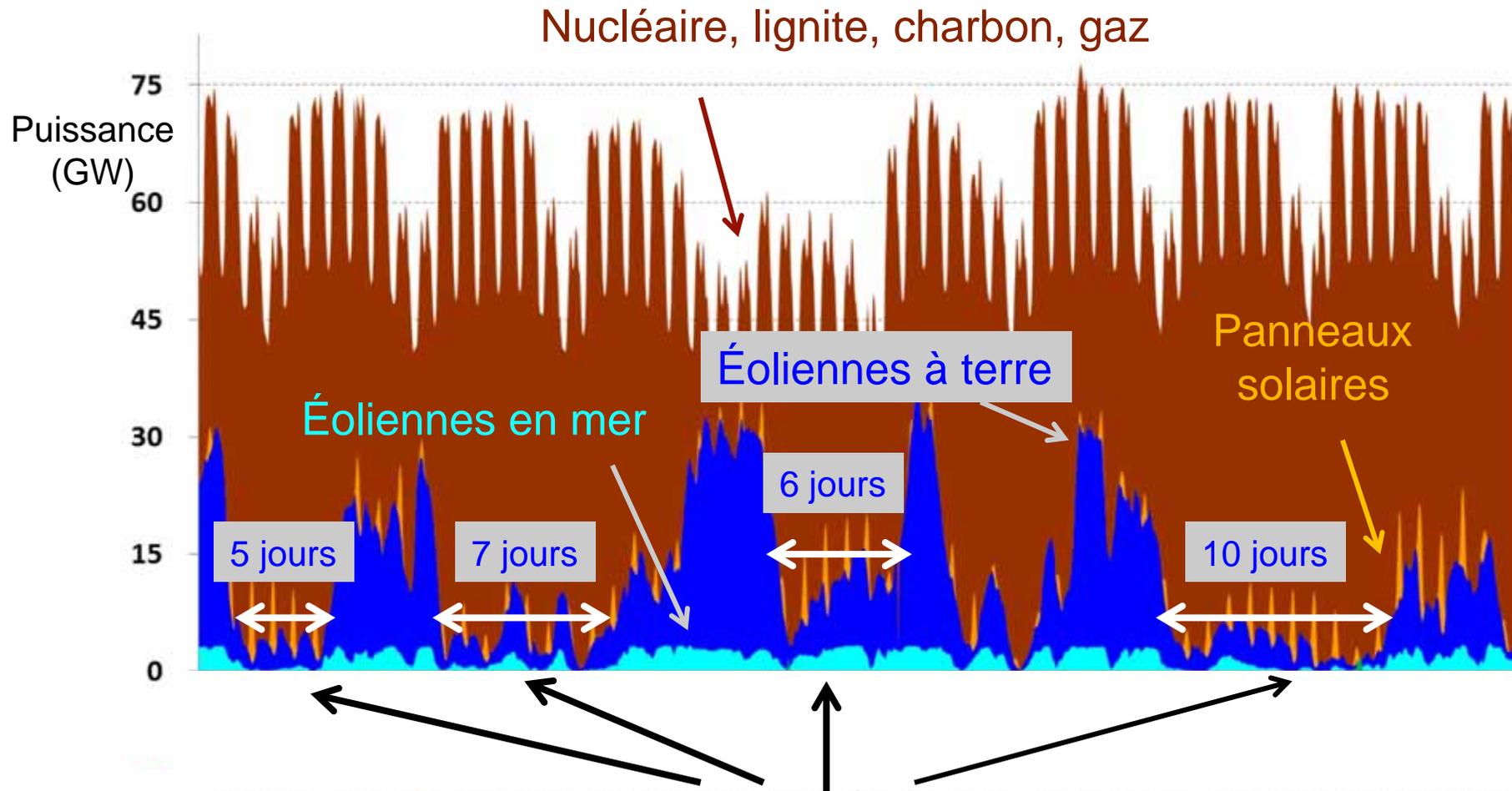
Exemple: Dec 2015 – Jan 2016



Déficit:
28jours x 55GW x 24h =

Périodes de pénuries en énergie renouvelable → énergie fossile (surtout lignite) et nucléaire

Exemple: Dec 2015 – Jan 2016



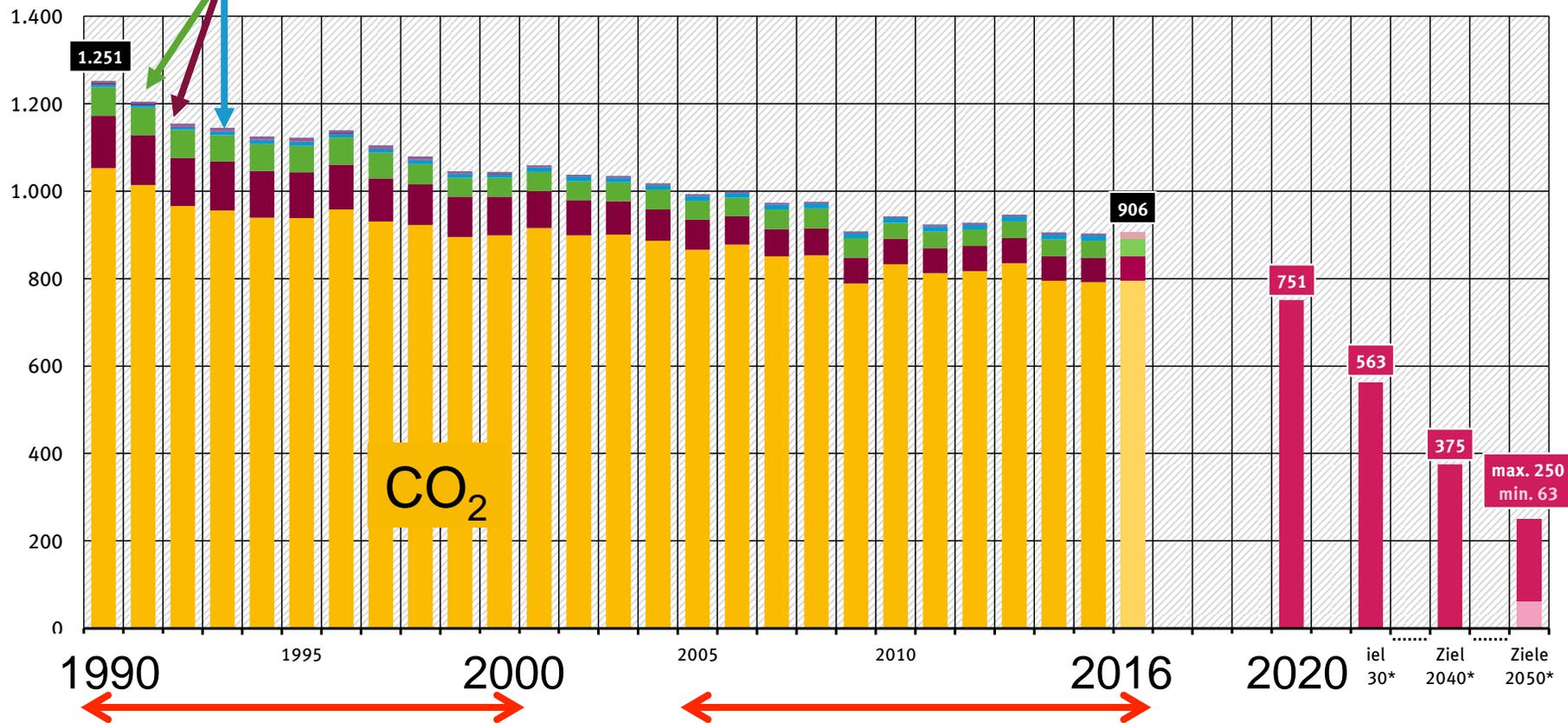
Déficit:
28 jours x 55GW x 24h = 37GWh = production annuelle du PV

2. Effet presque invisible sur les émissions de CO₂

Evolution des émissions des gaz de serre en Allemagne

(en millions de tonnes de CO₂équivalents)

Gaz à effet de serre autre que CO₂



**Modernisation
de la RDA
20% ↓ en 10 ans**

**'Energiewende' jusque 2016
~3-5% ↓ en ~10 ans
= 250 000 000 000 €**

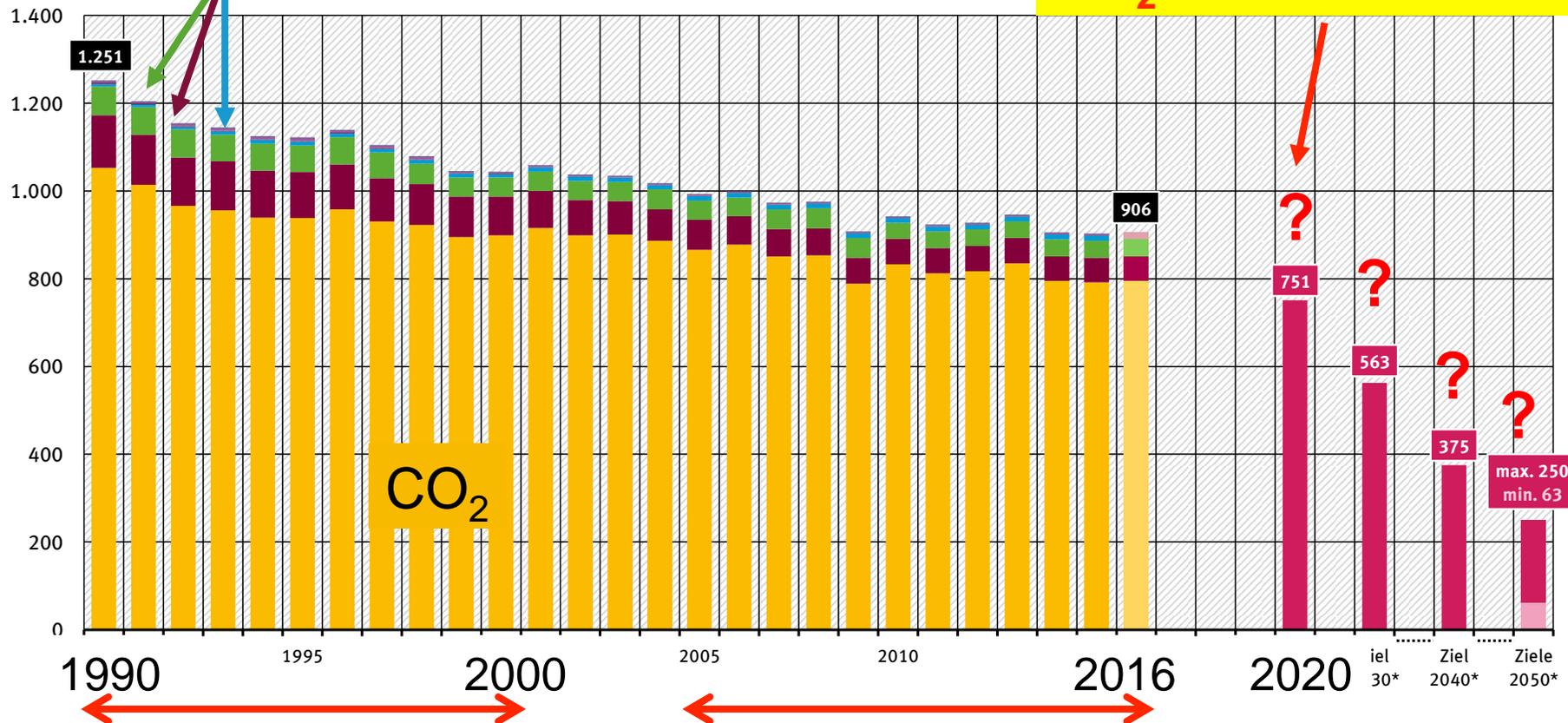
2. Effet presque invisible sur les émissions de CO₂

Evolution des émissions des gaz de serre en Allemagne

(en millions de tonnes de CO₂équivalents)

Gaz à effet de serre autre que CO₂

CO₂ -20% en 4 ans ?



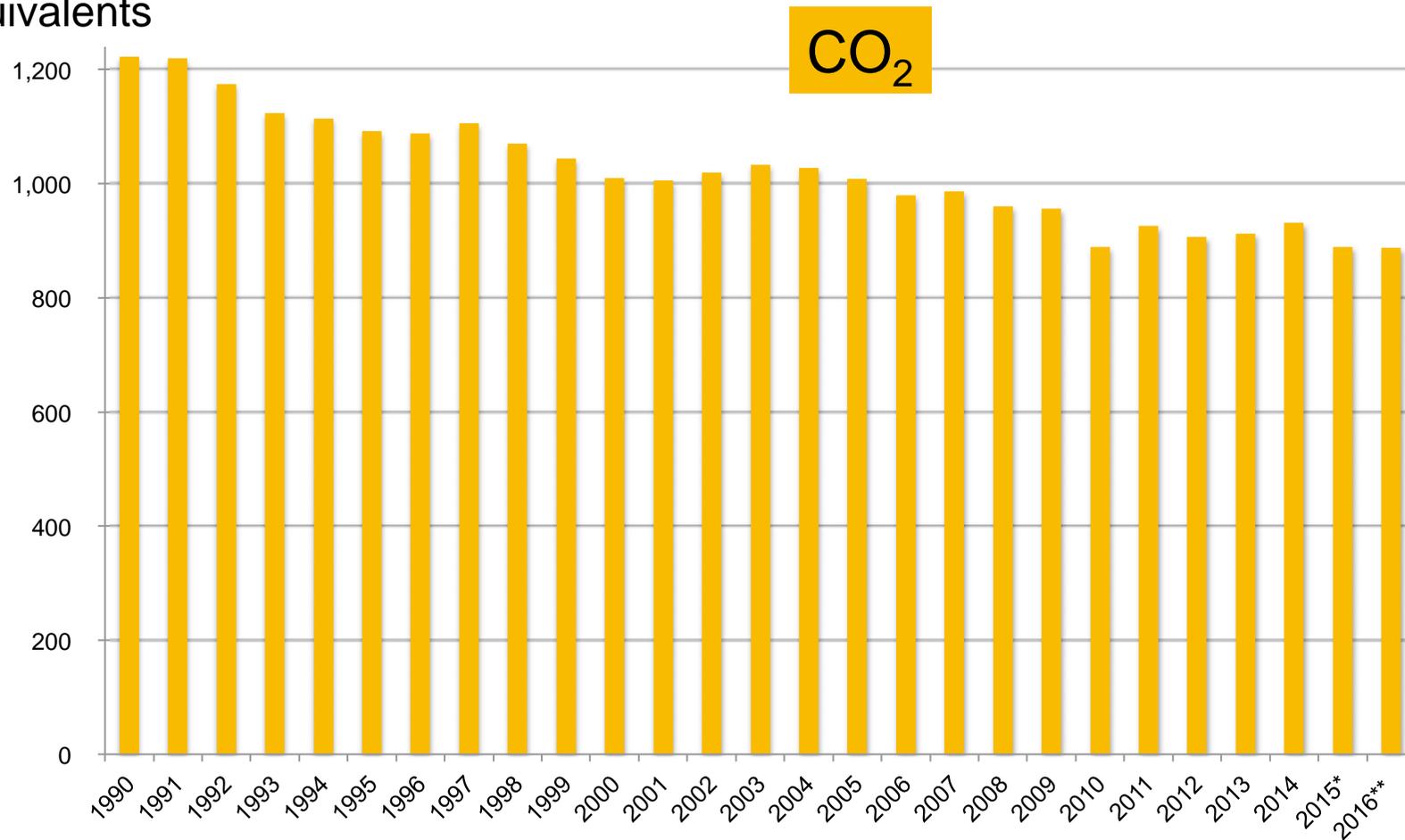
**Modernisation de la RDA
20% ↓ en 10 ans**

**'Energiewende' jusque 2016
~3-5% ↓ en ~10 ans
= 250 000 000 000 €**

**Jusque 2030:
+ 500 000 000 000 €?
Effet sur les émissions ?**

Allemagne: Réduction en CO₂ ...

Million de tonnes
CO₂ équivalents

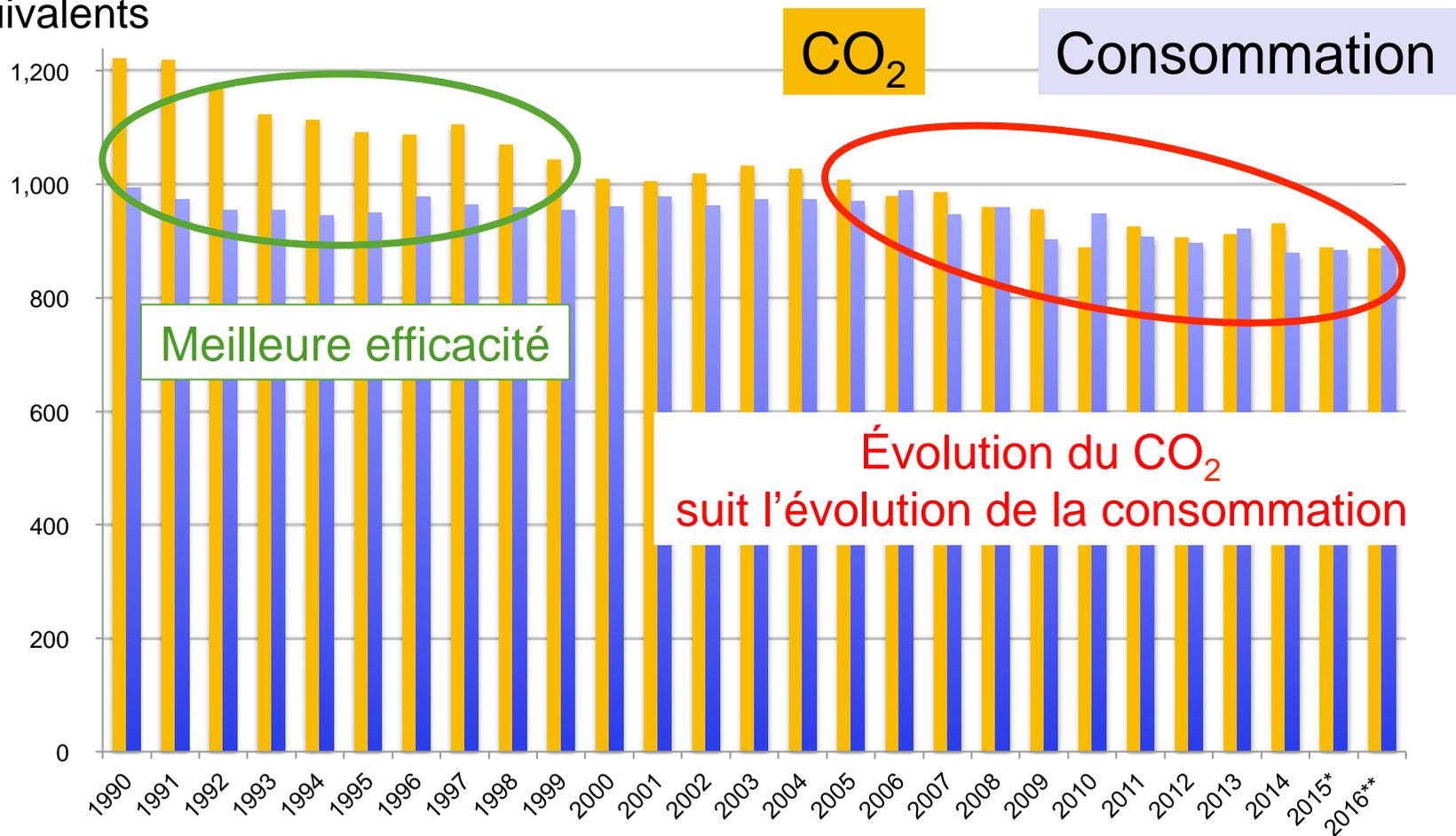


Source: "<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>

Allemagne: Réduction en CO₂ ... suit la décroissance de la consommation ...

Effet de 91GW de renouvelable installée est minimale (~ 6%)

Million de tonnes
CO₂ équivalents



Source: "<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>

La décroissance des émissions de CO₂ dans le contexte global

Épargne en CO₂ en Allemagne (2016) : - 70 millions de tonnes

Émissions de CO₂ en Chine (2016) : ~ 10 milliards de tonnes

Rapport : $70 / 10000 = 7 / 1000$

~ 2.5 jours des émissions de CO₂ annuelles de la Chine...

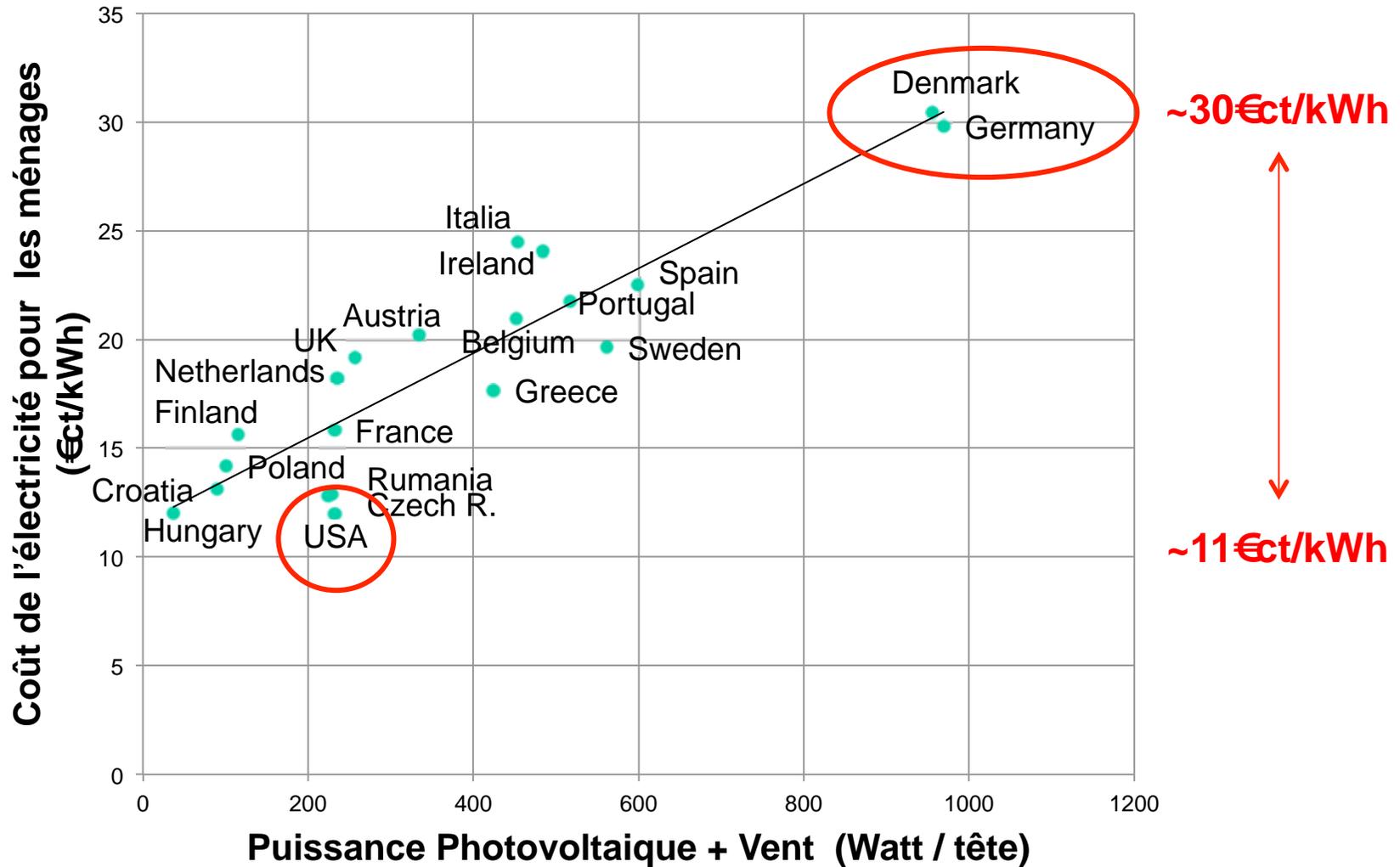
Le coût intégré (sur 10 ans) est de 250 milliards d'Euro

'Exemple' à suivre... ?

Source: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2ts1990-2015>

3. Coût de l'électricité en Europe

L'électricité est la plus chère en Allemagne et au Danemark



Source : Eurostat (2016)

4. L'Allemagne: Une des plus grandes sources de pollution en Europe

Grammes de CO₂ par kWh dans différents pays européens (2016)

Pays	grammes CO ₂ / kWh	
ALLEMAGNE	503	Dominant fossile
Royaume Uni	496	
Pays-Bas	432	
Belgique	253	Nucléaire et fossile
France	92	Nucléaire et hydro
Suède	43	
Norvège	4	

Source:: European Environmental Agency
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/co2-electricity-g-per-kwh>

4. L'Allemagne: une des plus grandes sources de pollution en Europe

Grammes de CO₂ par kWh dans différents pays européens (2016)

Pays	grammes CO ₂ / kWh
ALLEMAGNE	503
Royaume Uni	496
Pays-Bas	432
Belgique	253
France	92
Suède	43
Norvège	4

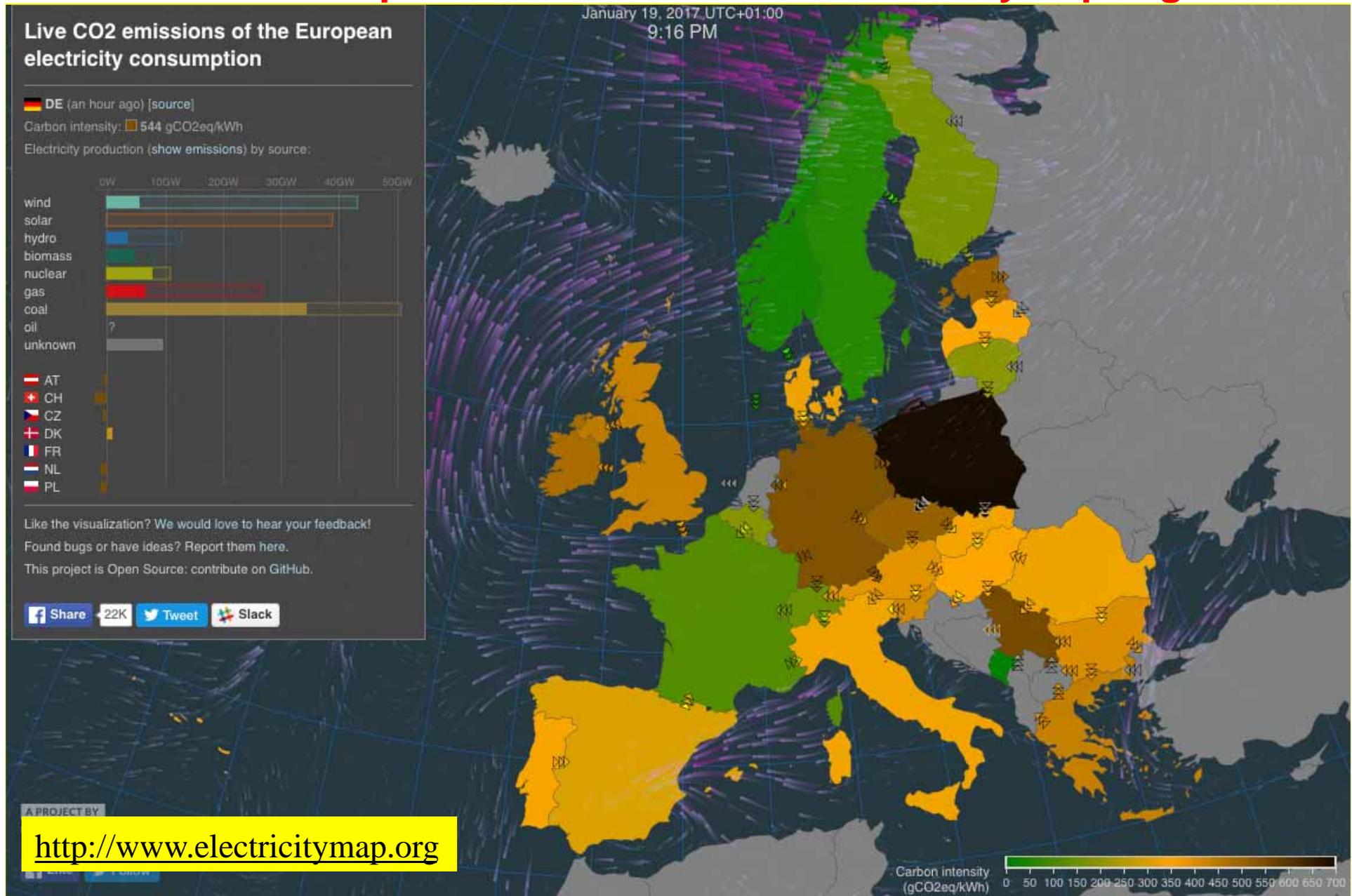
Allemagne:
½ kg de CO₂
par kWh !

Dominant fossile

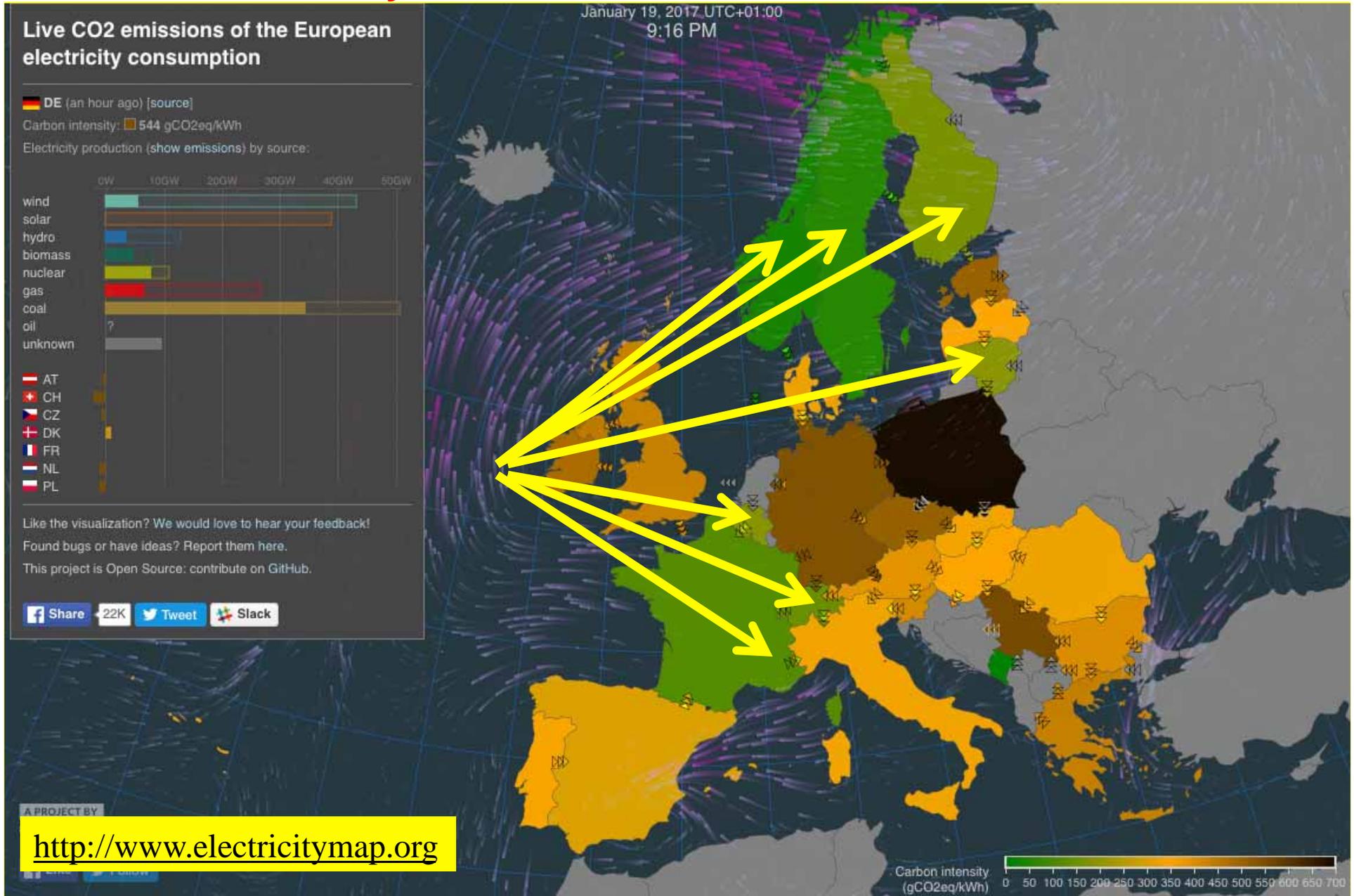
Nucléaire et fossile

Nucléaire et hydro

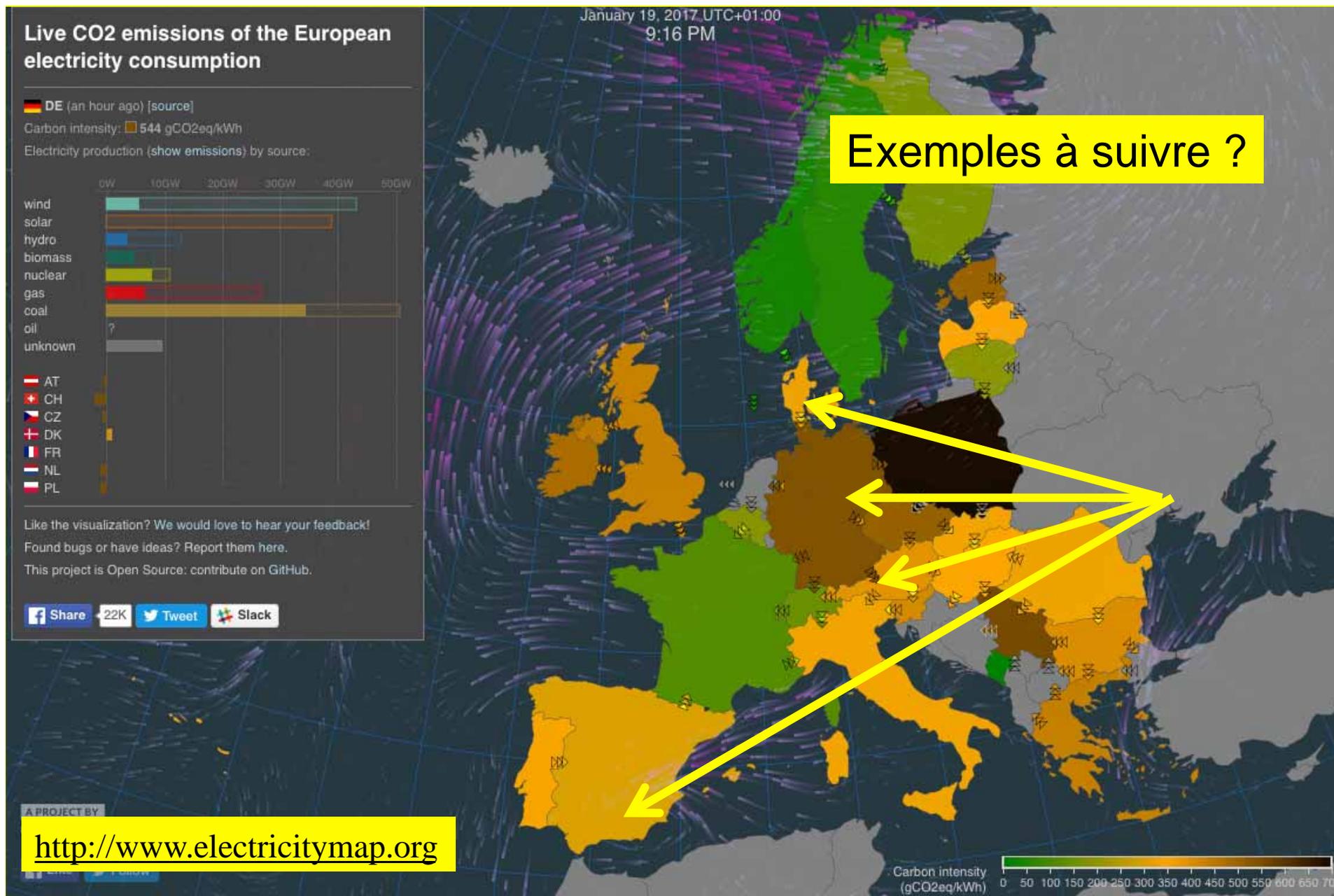
N'êtes vous pas convaincu ? www.electricitymap.org !



Pays verts: B, FR, NO, S, FI, CH, LT



Les 'champions verts' ne sont pas si verts...



La politique énergétique européenne n'est pas convaincante

ESPAGNE

The Spanish PV experience was either very successful or a fiasco ...
The cost in euros and energy has been enormous and clearly has contributed to the current Spanish economic crisis

(Piedro A.Prieto and Charles A.S.Hall, "Spains Photovoltaic Revolution", Springer Verlag 2013)

DANEMARK

Over the last eight years West Denmark has exported (couldn't use) 57% of the wind power and East Denmark 45%.

The wind power that is exported from Denmark saves neither fossil fuel consumption nor CO₂ emissions in Denmark, where it is all paid for [because of export to Norway and Sweden, which have nearly 100% from nuclear + hydro]

(Danish Centre for Political Studies, "Wind Energy, The Case of Denmark", Copenhagen 2009)

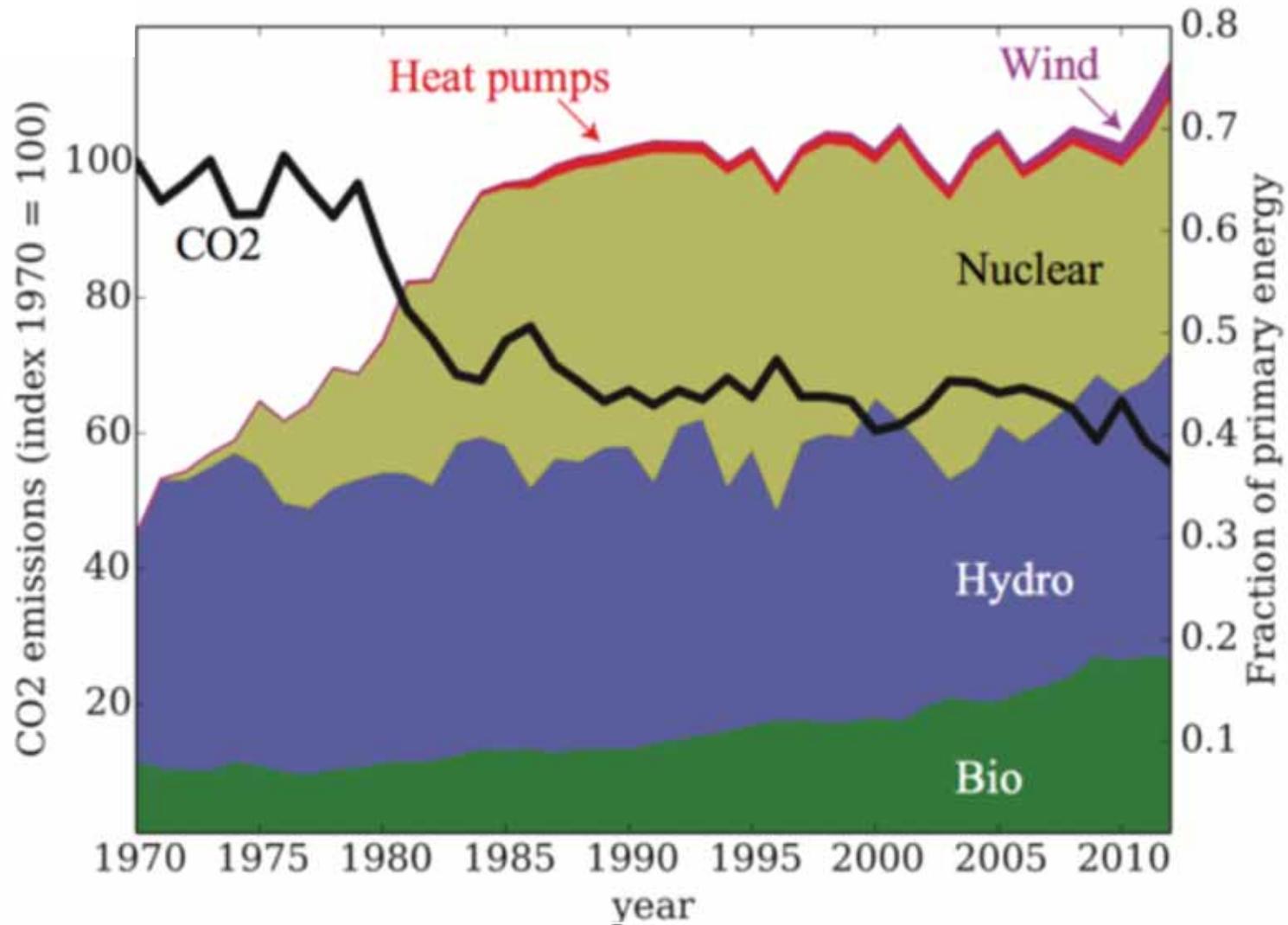
ALLEMAGNE

Australia's Prime Minister: The horrifying example of Germany

(Der Spiegel, 17.2.2014)

Un meilleur exemple: la Suède

Evolution des émissions de CO₂ dans les dernières 40 ans



(Production propre; 20% de l'énergie est importée)

L'Europe dans le contexte mondial

'Europe alone will NOT make the world clean again...!

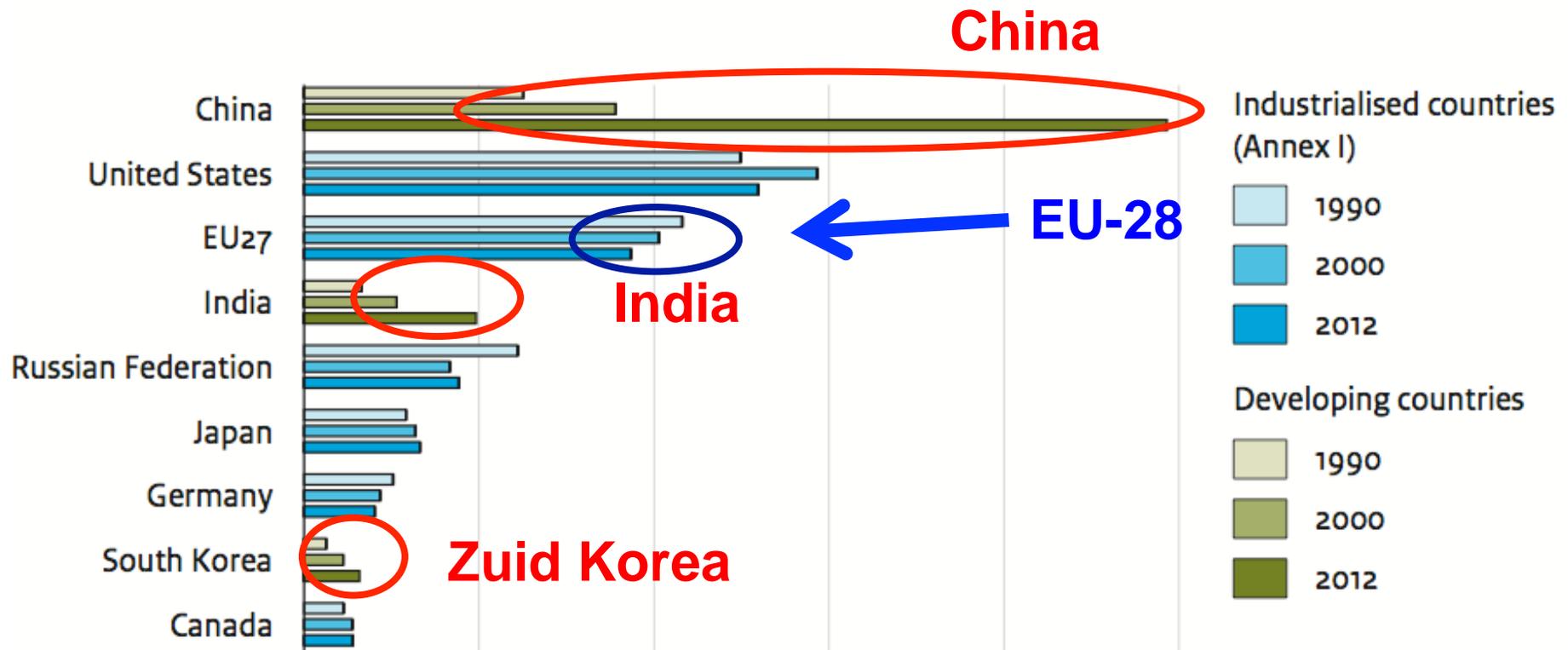
Pays	Émissions de CO ₂ (en millions de tonnes)	Contribution (2015)
États-Unis	5 620	17.7%
EU-27	3 895	8.2%
Chine	8 320	26.2%
Inde	1695	5.3%
Allemagne	730	2.3%
France	360	1.2%
Belgique	128	0.4%
Monde	31 780	100%

L'Europe devrait donner l'exemple 'de l'excellence' !

Les efforts européens sont négligables sur le plan mondial

Figure 2.3

CO₂ emissions per country from fossil-fuel use and cement production



L'Europe devrait donner l'exemple 'de l'excellence' !

Décarbonisation totale en Europe ou le monde – une utopie ?

Source d'énergie	Contribution [%]
Pétrole	35.4
Charbon	28.7
Gaz	22.7
Hydro	6.8
Nucléairw	4.4
Tout renouvelable	2.0
Totale	100

Monde: **Europe:**

Énergie fossile ~ 85% (=CO₂) **Énergie fossile ~ 71% (=CO₂)**

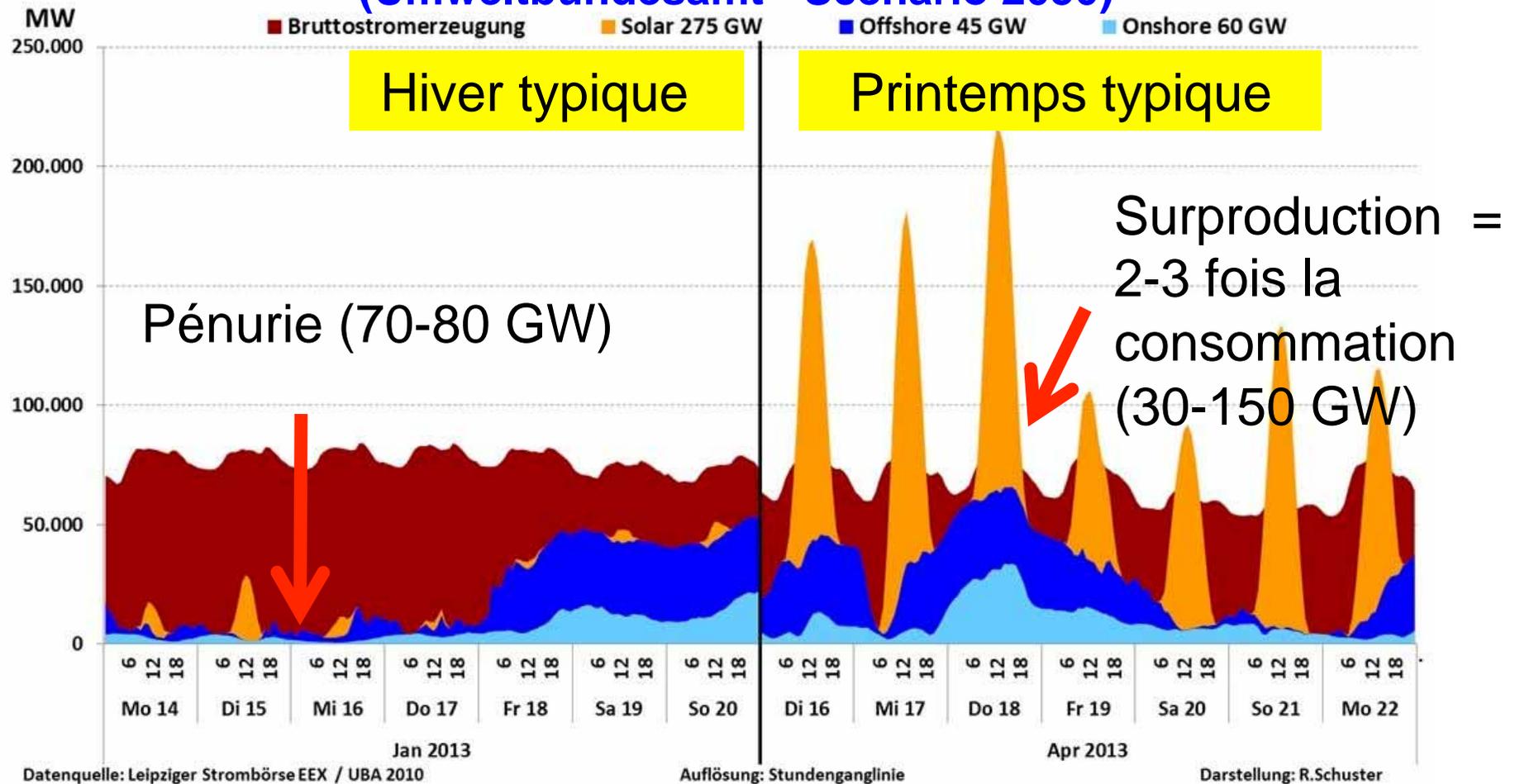
Source : "Energy International Annual, DOE, Washington DC, 2016

**Comment remplacer la dominance des énergies fossiles?
Dans quel délai ?
Avec quel système?**

Discussion de différentes propositions

1. Augmenter la puissance renouvelable?

Étude du Ministère allemand pour l'environnement (Umweltbundesamt - Scenarrio 2050)



Discussion

Nécessité de trois systèmes en parallèle:

- 1. Panneaux solaires / Éoliennes**
- 2. Système de sauvegarde**
- 3. Système de stockage**

Coût énorme ! (2-3 le système existant?)

Stockage saisonnier nécessaire: quelle taille ?

Allemagne

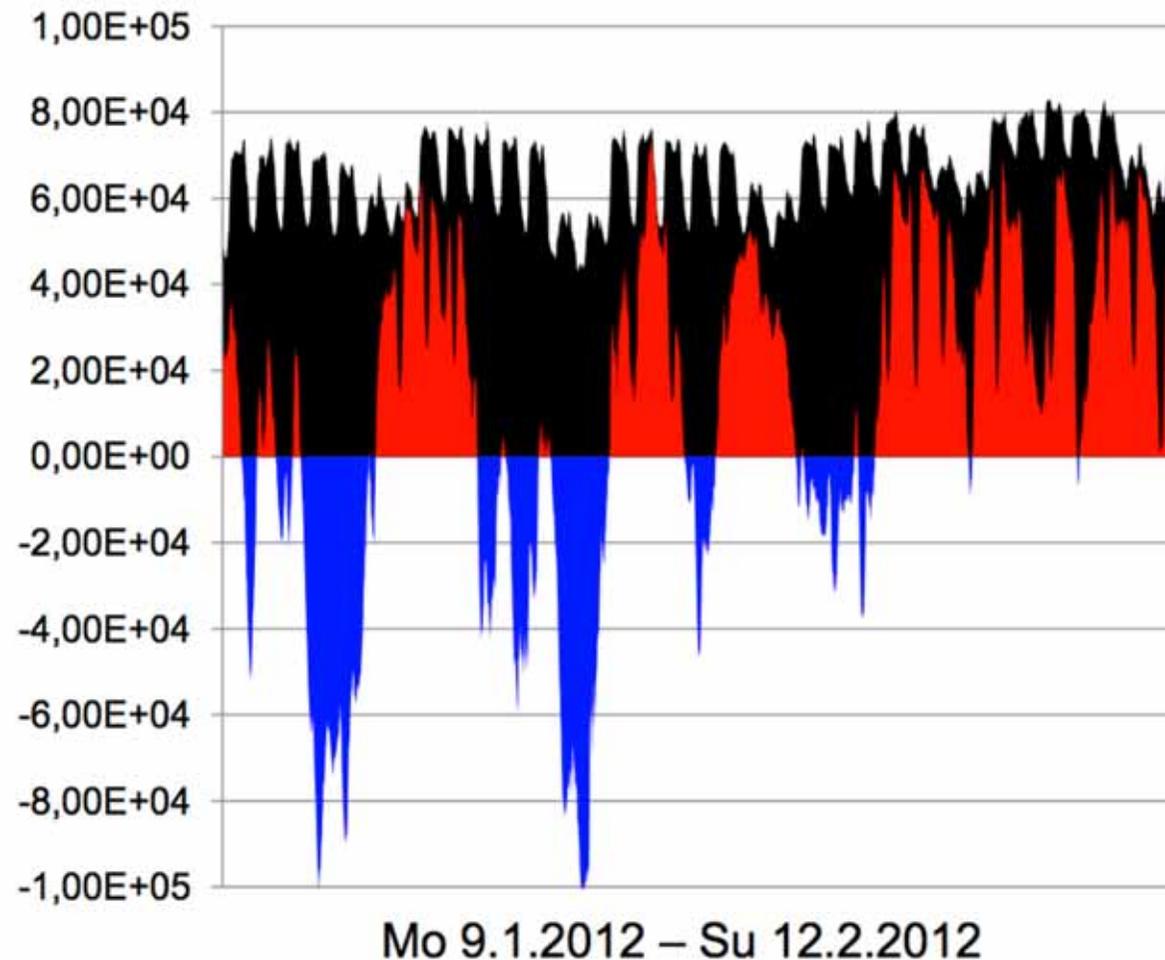
Dans l'hypothèse de 100% d'électricité renouvelable

Jan / Feb 2012

Charge du reseau

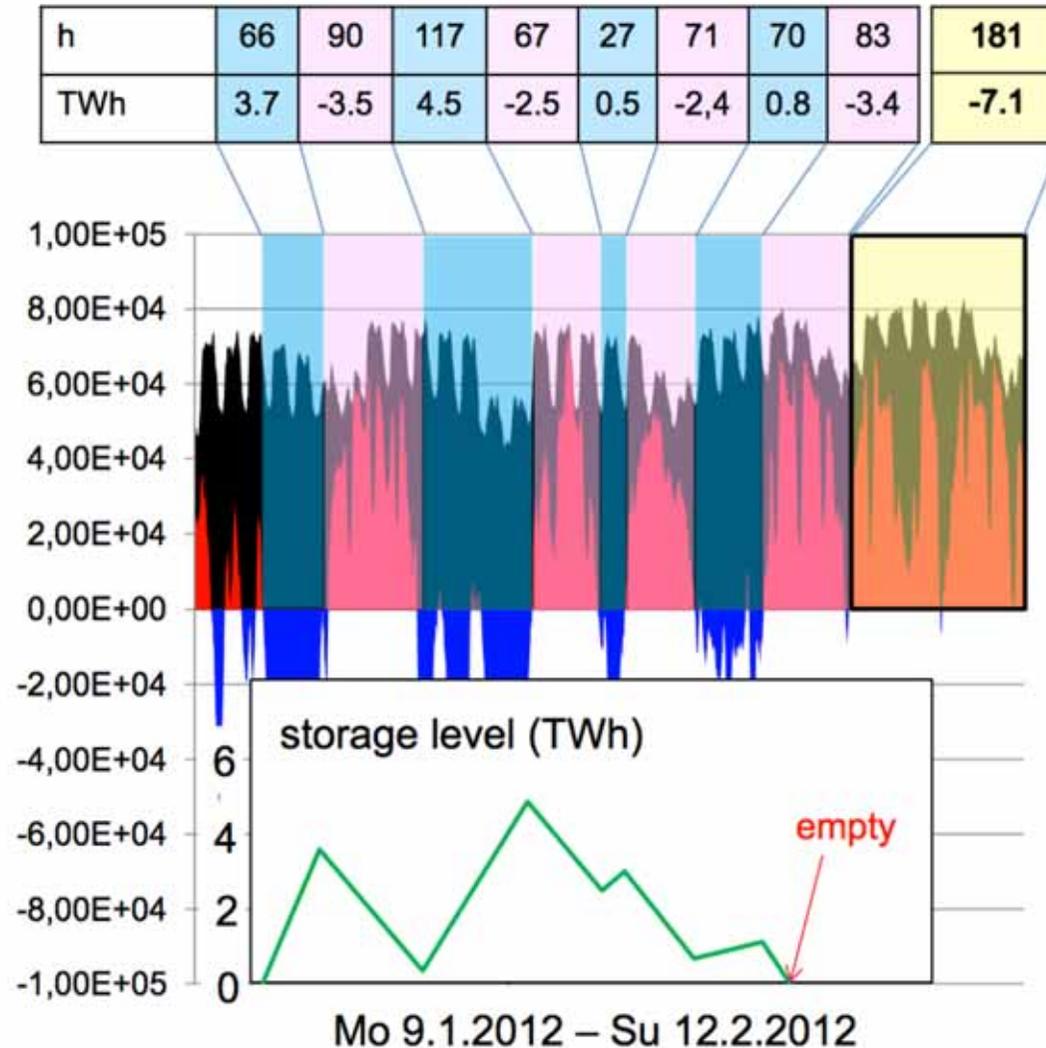
Sauvegarde

Surproduction
renouvelable et
stockable



Stockage saisonnier : taille ?

Capacité de quelques dizaines de TWh



Stockage d'électricité dans des batteries au plomb?



Dans l'hypothèse de 100% d'électricité renouvelable en Allemagne
A peu près 60 tonnes de batteries au plomb (25m³) par famille...

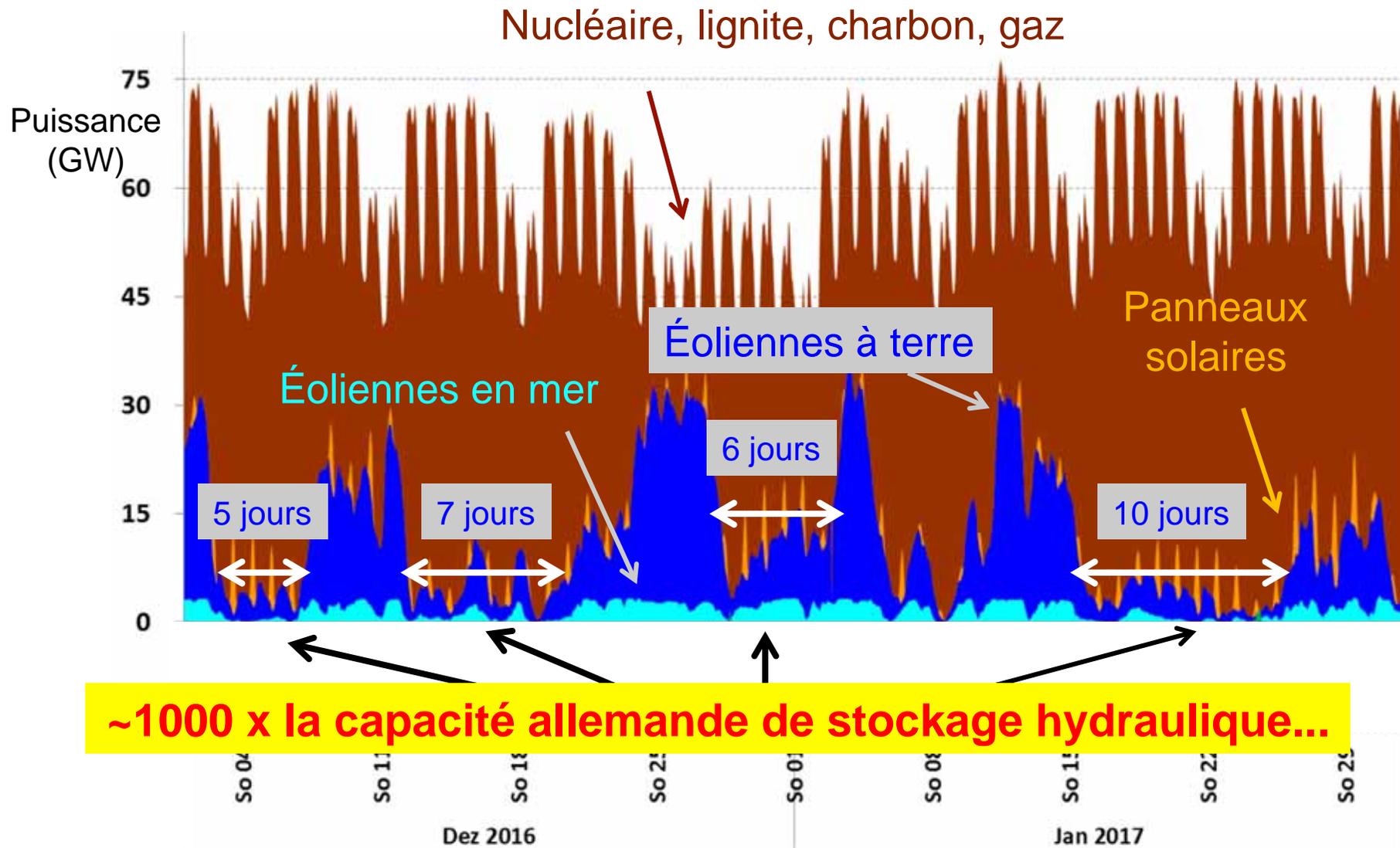
Stockage dans de piles à Lithium ion?

“Batteriespeicher Schwerin”
La plus grande pile à Li-ion en Allemagne
17 Sept 2014

5MWh: 2500m³
14.5MWh en construction: 5000m³

**Volume total au cas de 100% d'électricité renouvelable
en Allemagne**
~ 2-5 km³ (à remplacer après ~10 ans...)

Stockage avec l'énergie hydraulique (systèmes de pompage, barrages,...)?



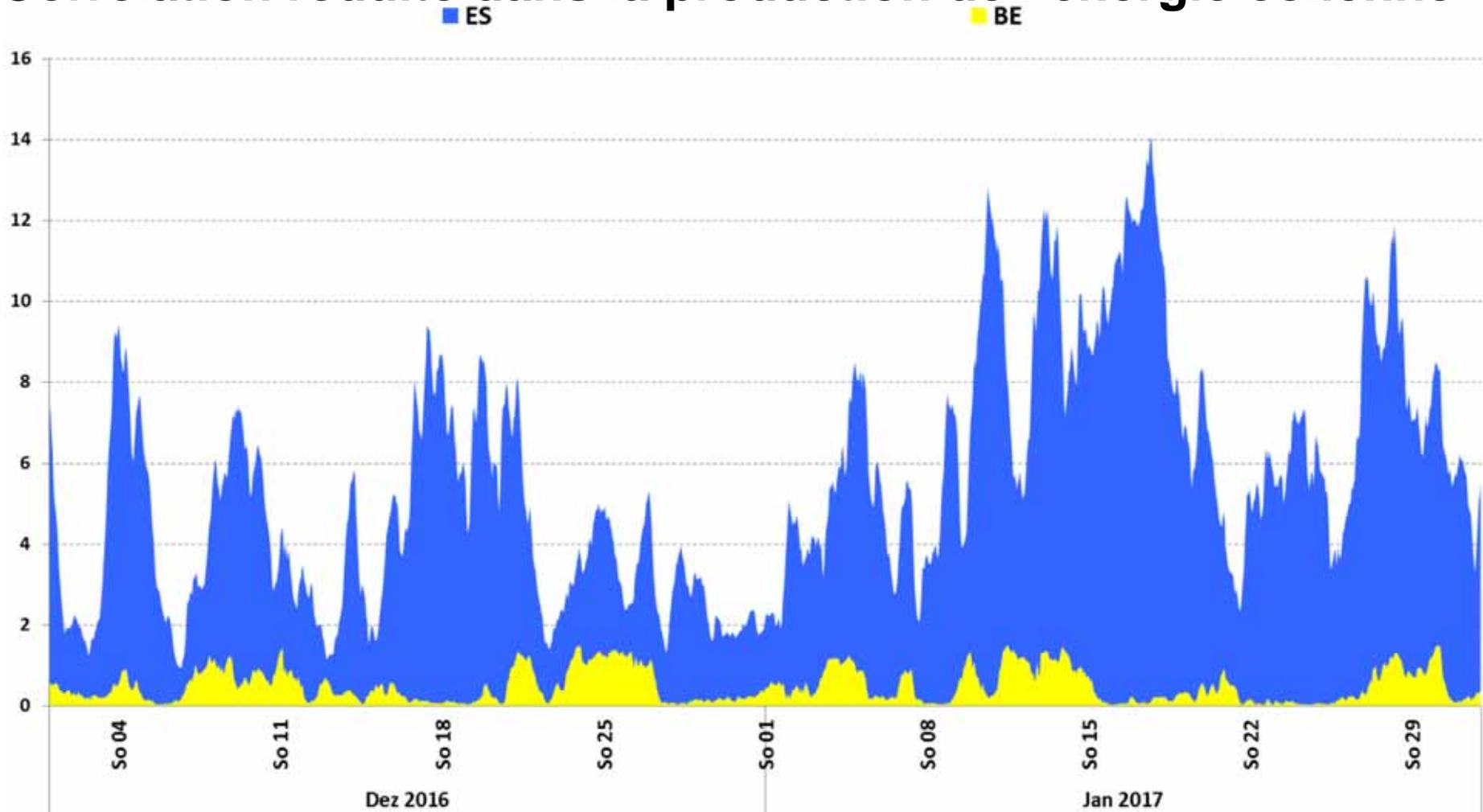
Discussion

Le stockage de grandes quantités d'électricité est problématique

- 1. Comment éviter les grandes fluctuations:**
 - en moyennant sur l'Europe ?
- 2. Exporter la surproduction ?**
 - beaucoup de pays ont un surplus en même temps
- 3. Arrêter la surproduction ?**
 - efficacité réduite ...
- 4. Systèmes 'smart' ?**
 - risque être irrégulier...
 - donc pratique ?

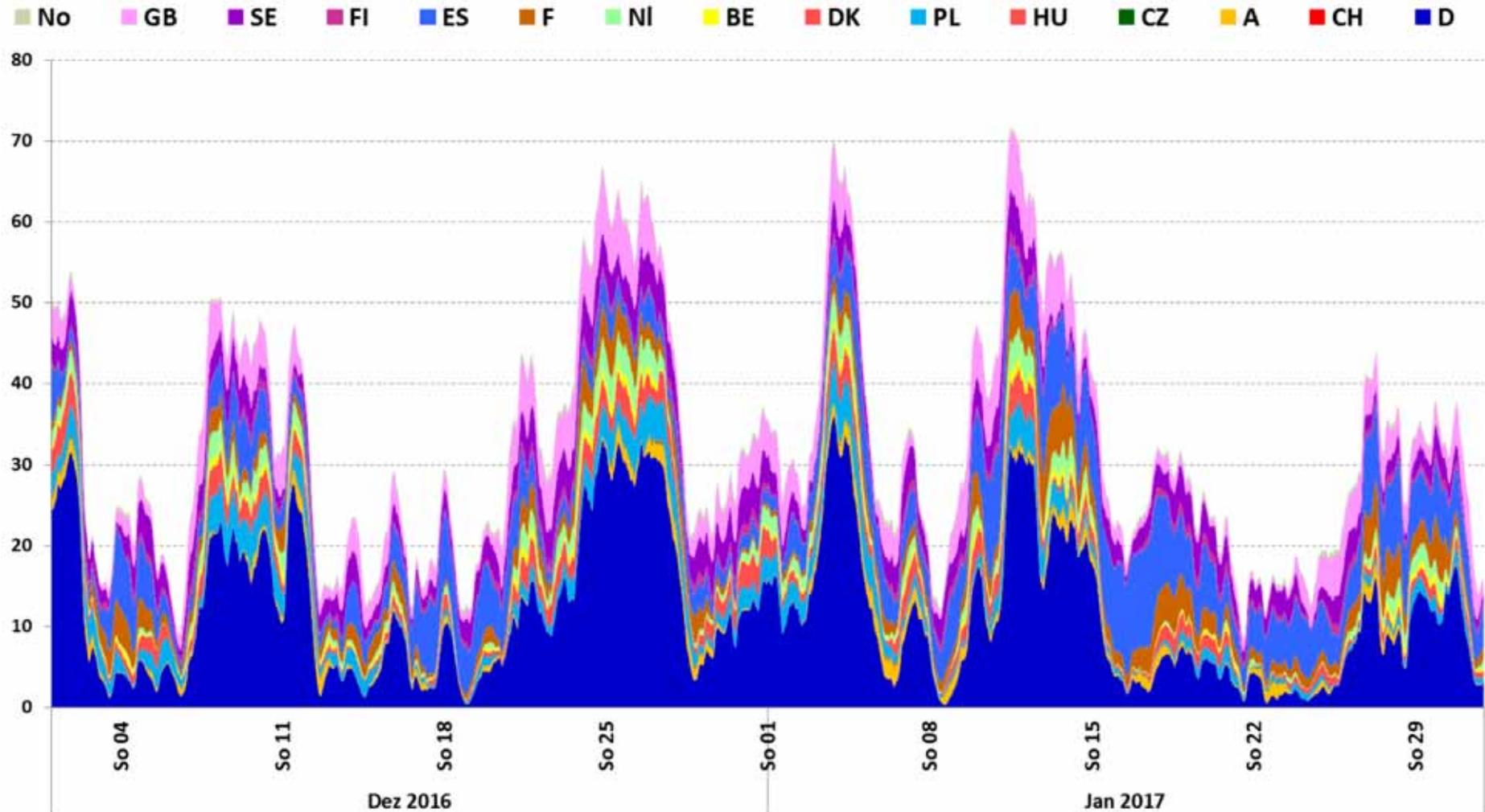
Des éoliennes dans l'Europe toute entière ?

Exemple B / ES: Correlation reduite dans la production de l'énergie éolienne



2. Des éoliennes dans l'Europe toute entière ?

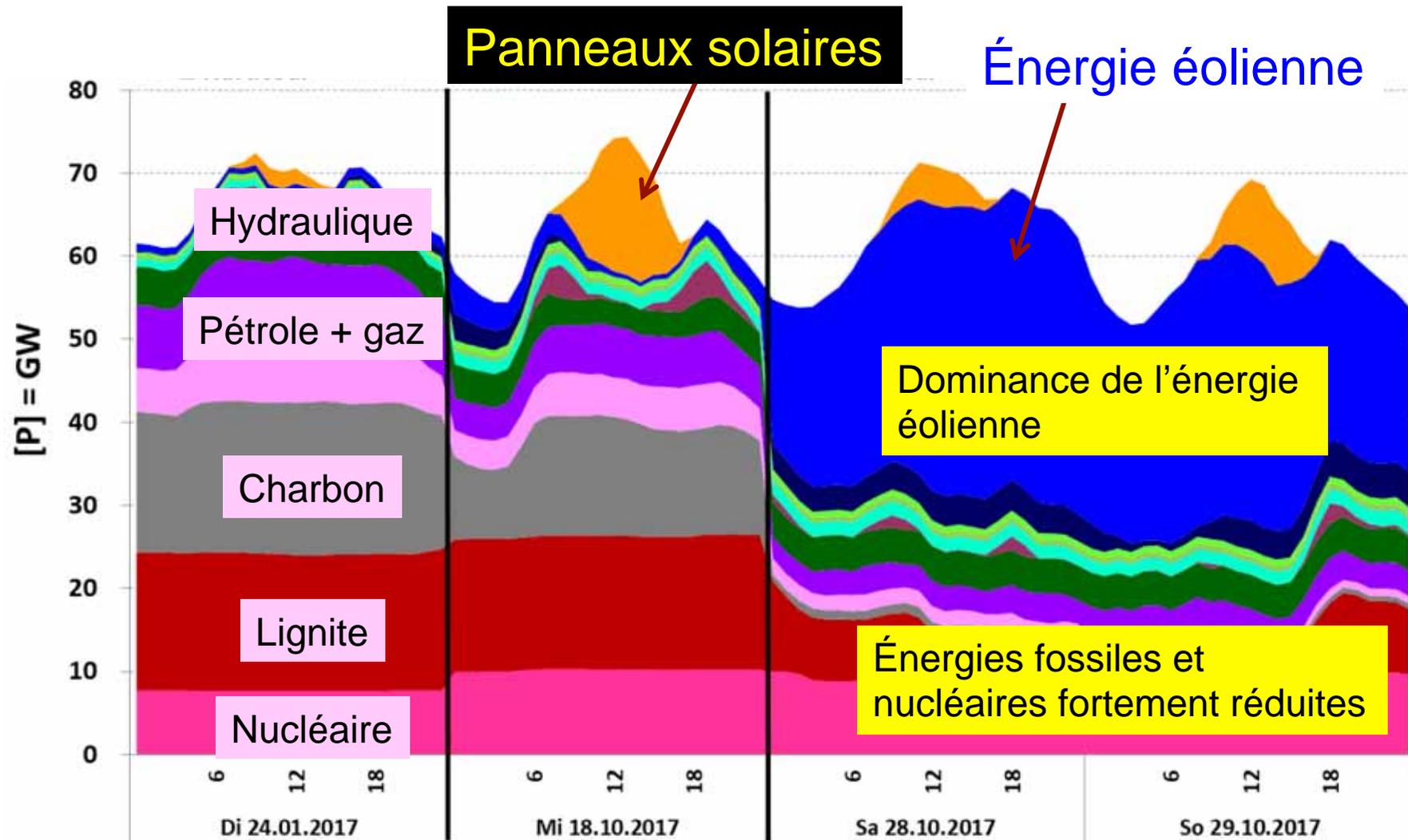
Énergie éolienne – somme de toutes les pays européens



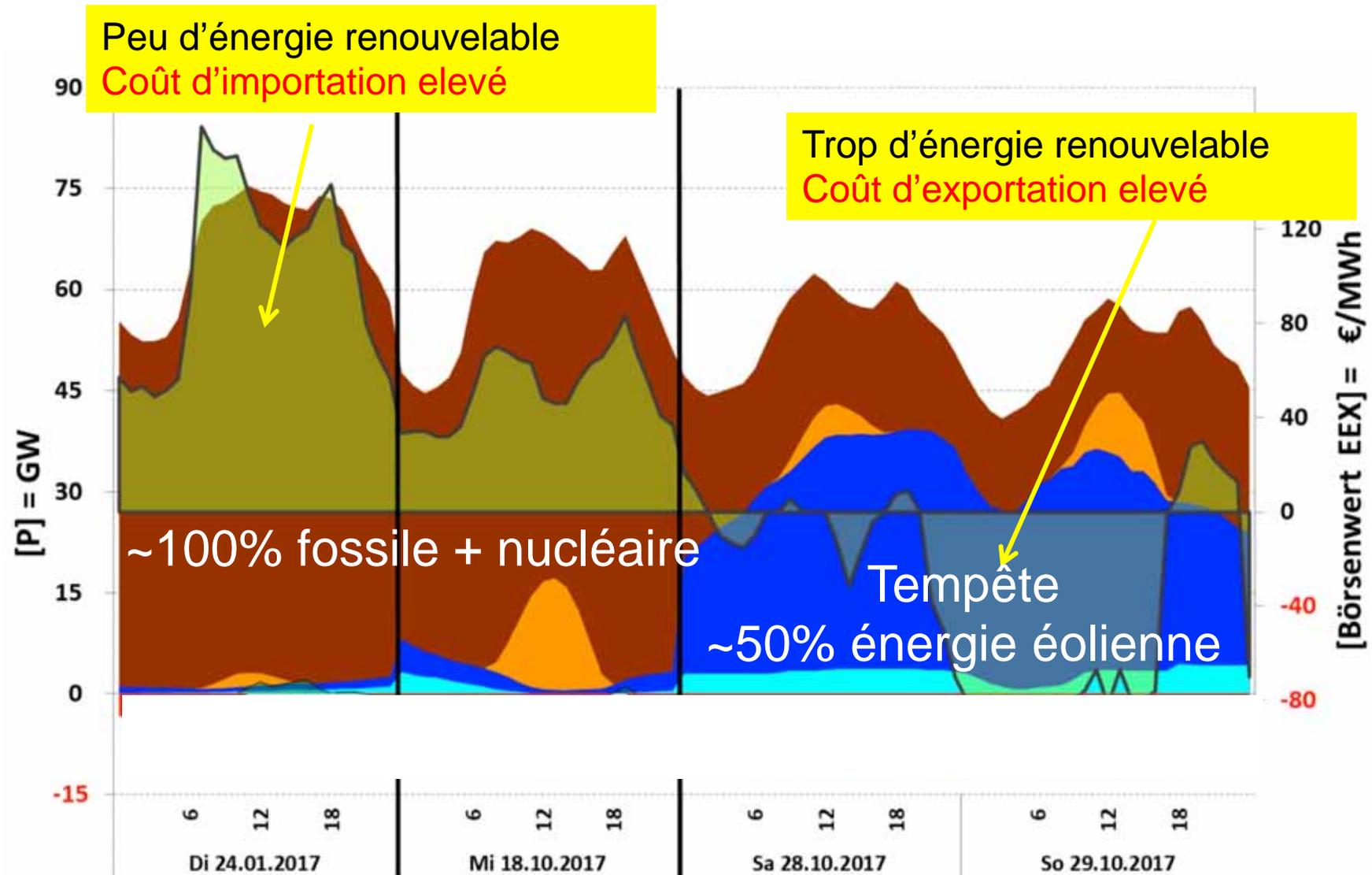
Surement pas la solution miracle...

Coûts d'importation et d'exportation d'électricité en Allemagne

Exemple: fin Octobre 2017



Coûts d'importation et exportation d'électricité en Allemagne



En 2 jours l'Allemagne a du dépenser **63 millions d'Euros...**

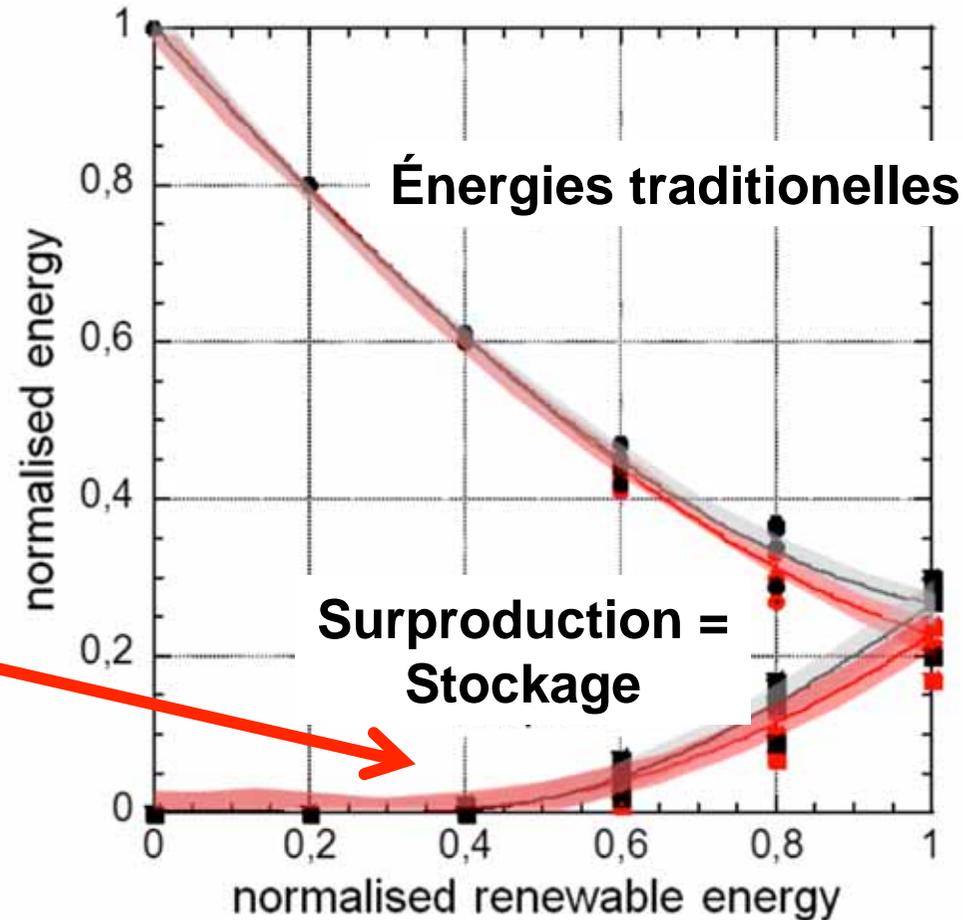
Discussion

Le stockage de grandes quantités d'électricité est problématique

1. Diminuer de 100% les émissions de CO₂ dans le secteur d'électricité avec 100% de renouvelable, nécessitera des quantités de stockage pratiquement inatteignables
2. Il faudra le compléter **maintenant** par du nucléaire, du fossile avec CSC, ... dans le **futur** : fusion, génération 4, 5...

3. Limiter l'électricité renouvelable à 30-40%

Tailles des systèmes traditionnels et du stockage par rapport à la taille du système d'énergie renouvelable



Optimum
~ 30-40 %

**Surproduction =
Stockage**

CONCLUSIONS

1. Ne pas se précipiter, éviter des effets indésirables
2. Une approche raisonnable – 30% d'électricité renouvelable

A plus long terme:

- Prendre en compte toutes les options énergétiques (y inclus le nucléaire)
- Investir dans la recherche et le développement de nouvelles techniques (génération IV, thorium, fusion, captage et stockage du carbone, géothermie,...)
- Ralentir la croissance démographique (éducation, amélioration des conditions de vie,...)

**LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE N'EST PAS ACQUISE
NI DEMAIN, NI APRÈS-DEMAIN**

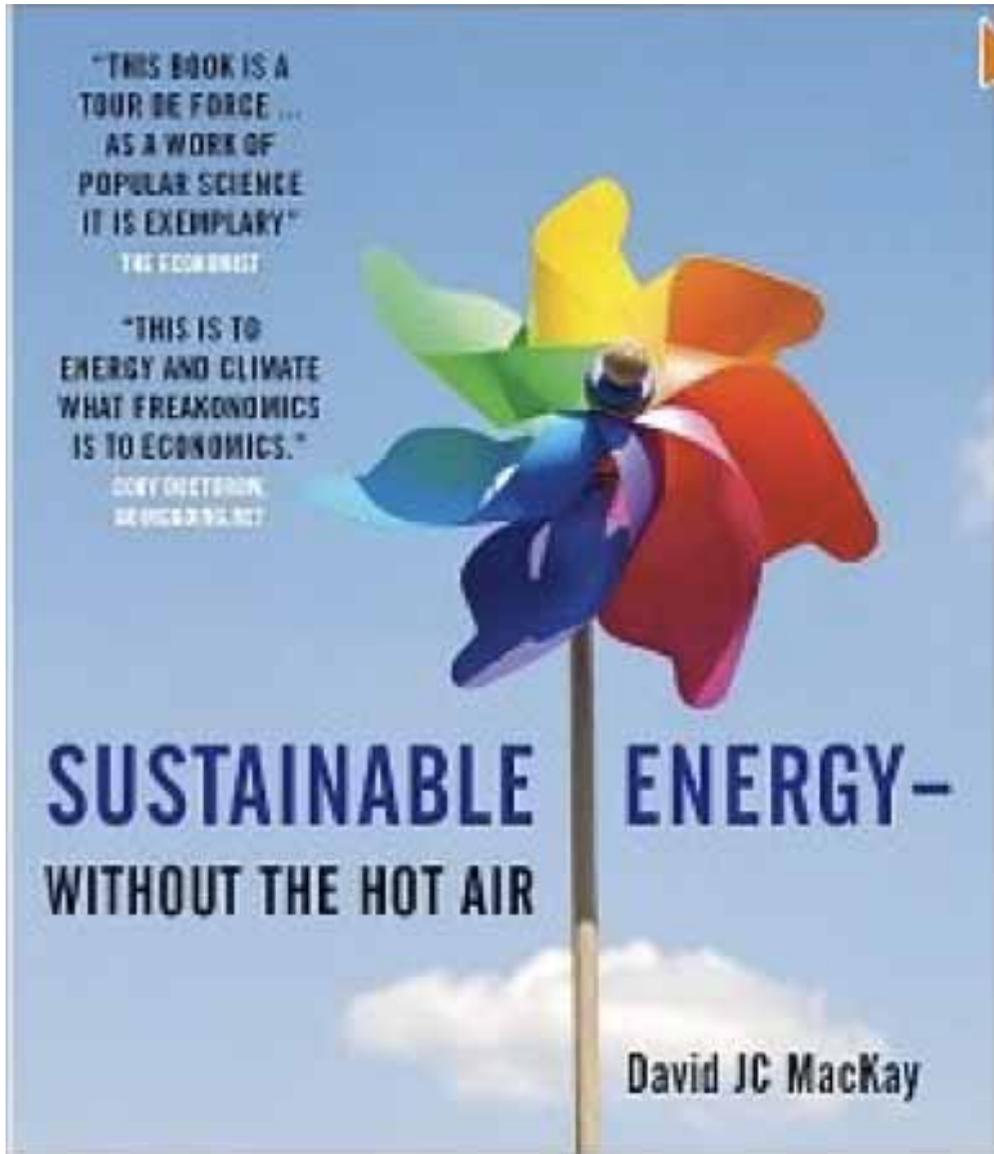
CONCLUSIONS

1. Si le but reste 100% d'électricité renouvelable
2. ET le problème du stockage n'est pas résolu

- Le nucléaire s'impose
- Et/ou captage et stockage ? Mais il y a des risques aussi...
(et suppose brûler des réserves fossiles...)
- Sinon: forte dépendance de notre société aux conditions météo
 - difficile à organiser le travail (weekend ?, vacances ?)
 - retour aux temps de Cro-Magnon et Néanderthal ... ?

**LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE N'EST PAS ACQUISE
NI DEMAIN, NI APRÈS-DEMAIN**

La bible des énergies renouvelables



David JC MacKay

Professor, Department of Physics,
University of Cambridge

Chief Scientific Adviser at the
UK Department of Energy and
Climate Change

Disponible gratuitement sur
www.withouthotair.com

Focus Point on the Transition to Sustainable Energy Systems

European Physical Journal Plus

EPJ Plus

2016 Impact factor **1.753**

10 most recent

Browse issues

Topical issues

Reviews

Tips and Tricks

EPJ Plus

Focus Point on the Transition to Sustainable Energy Systems

J. Ongena



Export the citation of the selected articles

Export

Select all



Regular Article

Models for the transient stability of conventional power generating stations connected to low inertia systems

Marios Zarifakis, William T. Coffey, Yuri P. Kalmykov and Sergei V. Titov

Eur. Phys. J. Plus, 132 6 (2017) 289

Published online: 30 June 2017

DOI: 10.1140/epjp/i2017-11543-4

Abstract | PDF (1.20 MB)

Focus Point on the Transition to Sustainable Energy Systems



Open Access

Regular Article

Surplus from and storage of electricity generated by intermittent sources

Friedrich Wagner

Eur. Phys. J. Plus, 131 12 (2016) 445

Published online: 27 December 2016

DOI: 10.1140/epjp/i2016-16445-3

Abstract | PDF (4.52 MB)



Open Access

Regular Article

Electricity production by intermittent renewable sources: a synthesis of French and German studies

D. Grand, Ch. Le Brun, R. Vidil and F. Wagner

Eur. Phys. J. Plus, 131 9 (2016) 329

Published online: 22 September 2016

DOI: 10.1140/epjp/i2016-16329-6

Abstract | PDF (1.871 MB)



Regular Article

Characteristics of electricity generation with intermittent sources depending on the time resolution of the input data

F. Wagner and F. Wertz

Eur. Phys. J. Plus, 131 8 (2016) 284

Published online: 24 August 2016

DOI: 10.1140/epjp/i2016-16284-2

Abstract | PDF (1.56 MB)

Focus Point on the Transition to Sustainable Energy Systems

European Physical Journal Plus



Regular Article

Study on a hypothetical replacement of nuclear electricity by wind power in Sweden

F. Wagner and E. Rachlew

Eur. Phys. J. Plus, 131 5 (2016) 173

Published online: 26 May 2016

DOI: 10.1140/epjp/i2016-16173-8

[Abstract](#) | [PDF \(2.28 MB\)](#)



Regular Article

Towards 50% wind electricity in Denmark: Dilemmas and challenges

Paul-Frederik Bach

Eur. Phys. J. Plus, 131 5 (2016) 161

Published online: 24 May 2016

DOI: 10.1140/epjp/i2016-16161-0

[Abstract](#) | [PDF \(2.74 MB\)](#)



Regular Article

Strategies for the integration of intermittent renewable energy sources in the electrical system

Francesco Romanelli

Eur. Phys. J. Plus, 131 3 (2016) 53

Published online: 02 March 2016

DOI: 10.1140/epjp/i2016-16053-3

[Abstract](#) | [PDF \(1.79 MB\)](#)

Focus Point on the Transition to Sustainable Energy Systems

European Physical Journal Plus

Eur. Phys. J. Plus (2016) **131**: 445
DOI 10.1140/epjp/i2016-16445-3

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL PLUS

Regular Article

Surplus from and storage of electricity generated by intermittent sources*

Friedrich Wagner^a

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Branch Greifswald, Wendelsteinstraße 1, 17491 Greifswald, Germany

Received: 17 September 2016 / Revised: 12 November 2016

Published online: 27 December 2016

© The Author(s) 2016. This article is published with open access at Springerlink.com

