Drawing lessons from the German "Energiewende" for the French "Tournant Energétique" ?

Hubert Flocard
Association « Sauvons le Climat »

I acknowledge the invaluable support of my SLC colleagues for both data and advices. Moreover this presentation draws much from an earlier presentation by Jean-Pierre Pervès. Published results from P.F. Bach, J.M. Jancovici , H. Sharman, H. Vöss have been used.

The “Energy” Pilars of the Energiewende

1) Rapid deployment of renewable electricity: Eole & Helios.

2) Significant reinforcement of the high voltage grid.

3) Peat and coal powerplants.

Hohenhameln

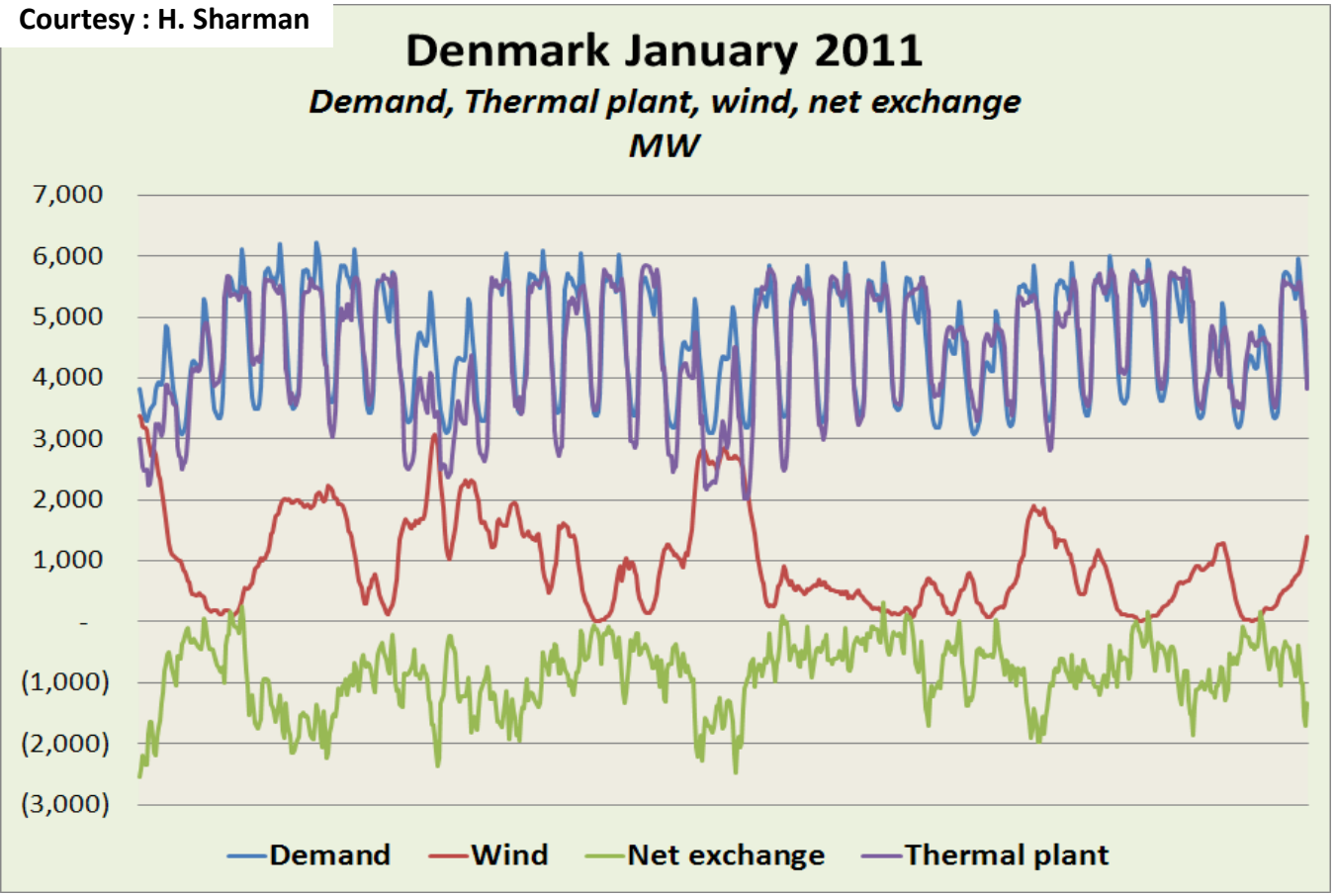
Minus a pilar under destruction : nuclear energy.

Plus a « solid post » : Gazprom, (shale gas ?).

Plus the usual keywords of standard greentalk:
“energy savings, H2 economy, storage, local”, ….

Denmark : a forerunner of the Energiewende

Courtesy : H. Sharman



In winter,

100% of Danish electricity is produced from fossil fuels

and

100% of Danish wind electricity is exported (mostly at a financial loss).

When the winds blow hard,
Denmark must get rid of its wind electricity whatever the cost.

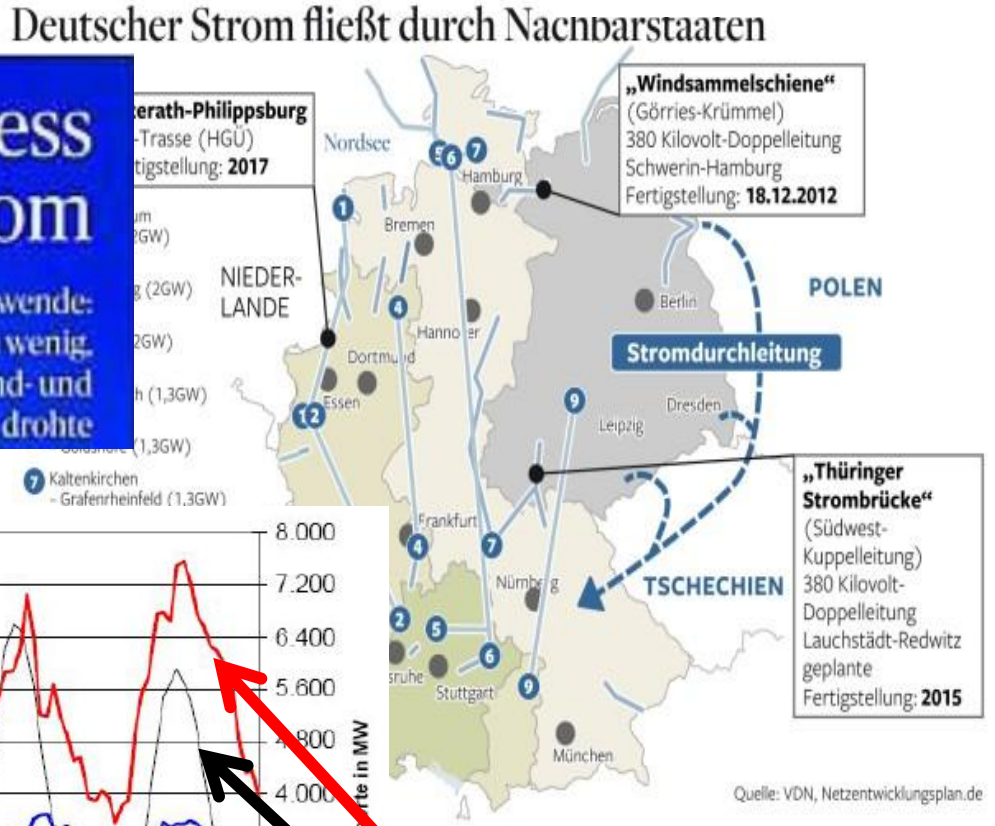
When the Gods (Eole, Helios) are asked to produce our electricity, the problem

- **is much less that most of the time they do nothing (previous situation after all),**
- **than the fact that when they choose to work , often they do too much.**

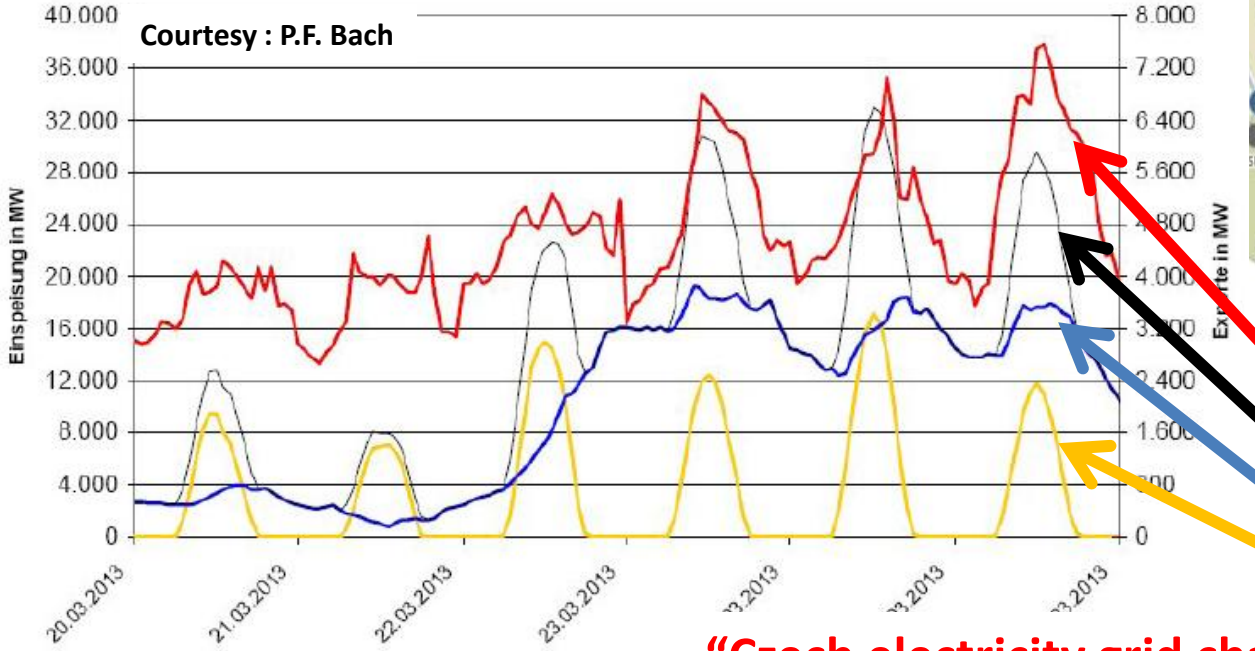
Now, the Danish effect shows up in Germanv

Handelsblatt 15-16 April 2013

Die Welt 29/12/12



Situation 22-23 March 2013

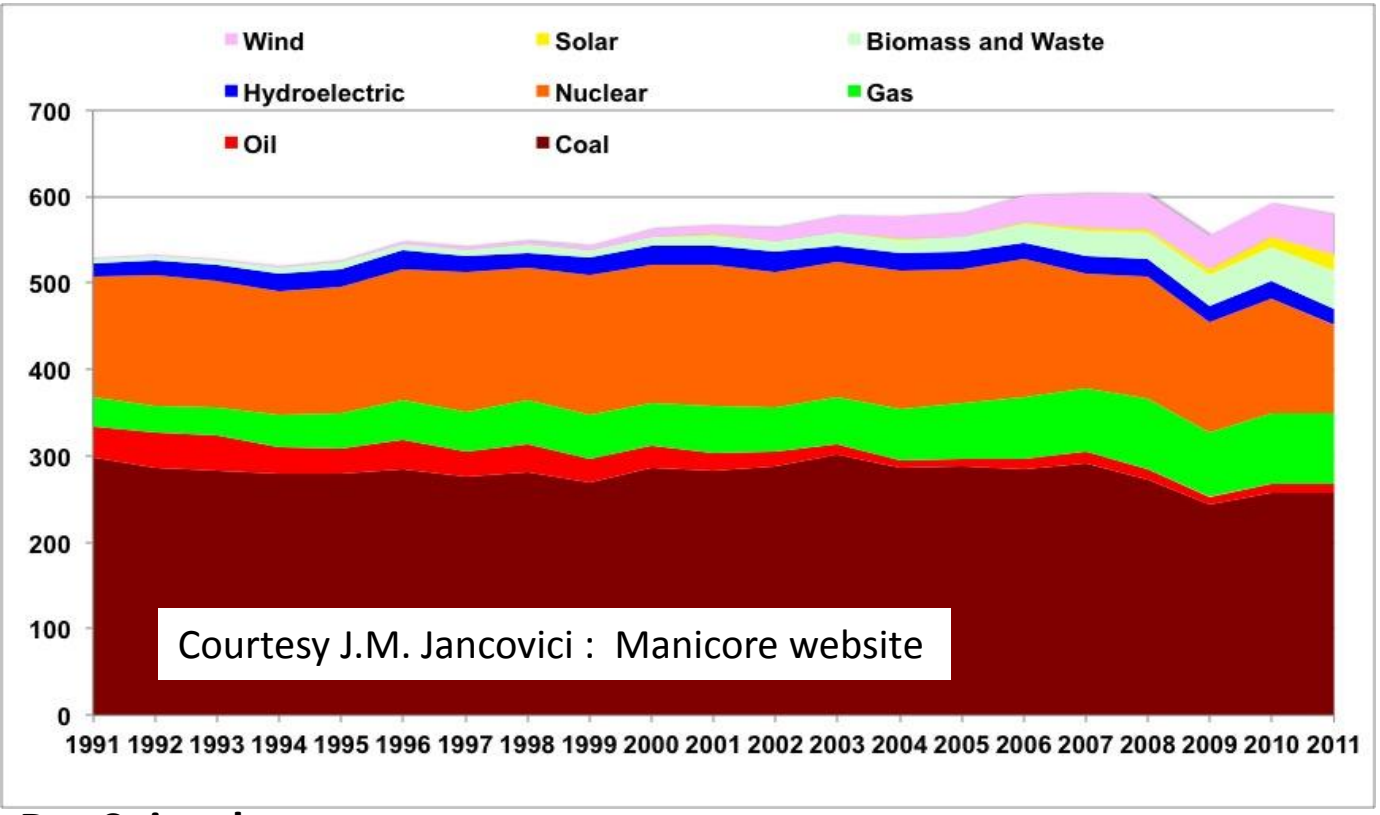


1) **Export Austria**
2) **Solar+ Wind**
3) **Wind**
4) **Solar**

“Czech electricity grid challenged by German wind”

Z. Blinis, EurophysicsNews Vol 44 N°4 July-August 2013

What produces German electricity ?



The rapid growth of "green" electricity over two decades (Wind + Solar > 62 GW) didn't lead to a lower electric production from peat, coal, gas and oil.

Since March 2011 the latter is in fact increasing mostly due to peat and coal combustion.

Der Spiegel
August 2nd 2013

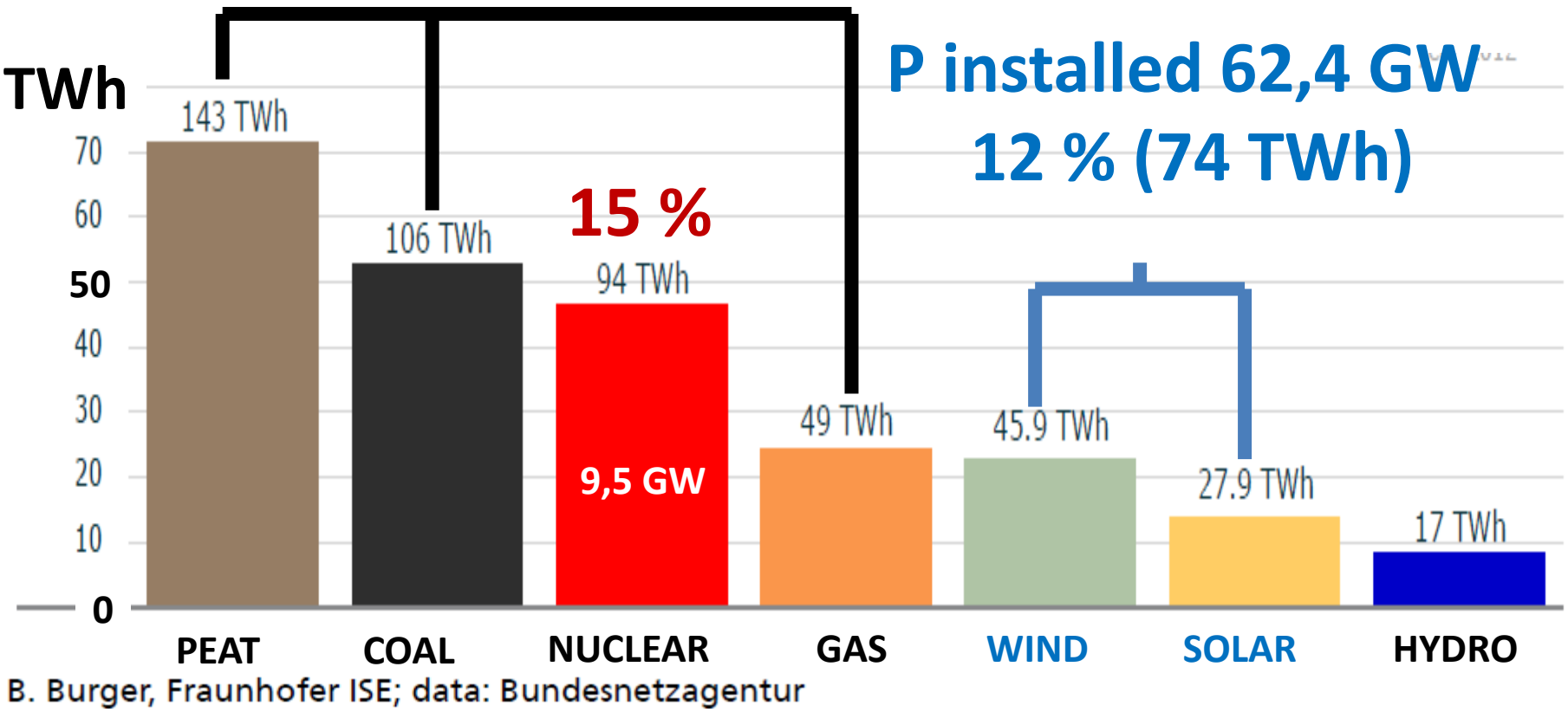
1) „CO2 trotz Ökoboom:
Kohlekraftwerke treiben Stromexport auf Rekordhöhe"
„Braun- und Steinkohlestrom boomen."

2) „Trotz Energiewende: Kohlekraftwerke treiben deutschen CO2-Ausstoß"
„Die Energiewende macht Deutschland bislang nicht grüner."

Is Germany an example for us ?

2012: electric production 617 TWh - Power 159 GW

Max call : 90 GW

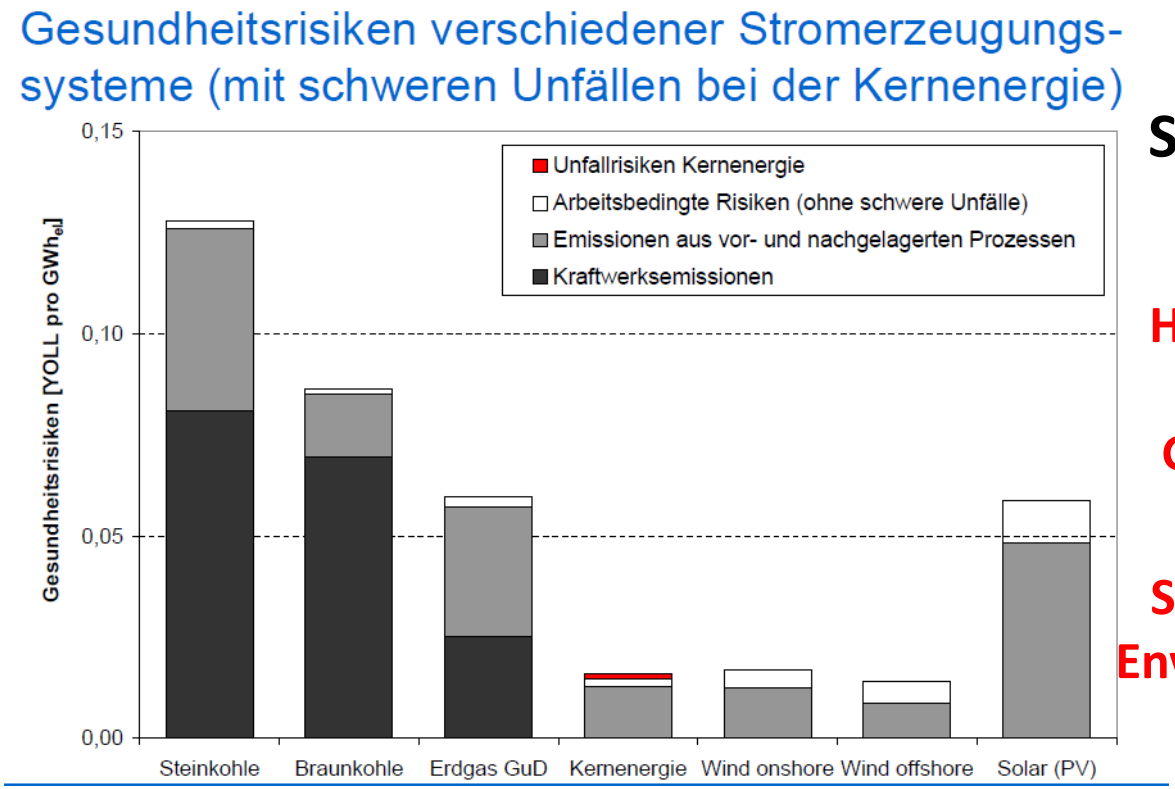


Ratio production (nuclear/intermittent): 5,5

Nuclear in France: 63 GW/118 GW (405 TWh/540 TWh)

Health and social impacts of energy productions

YOLL (Year Of Lifetime Loss) per GWh



Energy Institute, Stuttgart University (H. Vöss)

How many more deaths In France if following Germany we switched back to coal ?

See Kharecha & Hansen Env. Sci. & Tech. March 13

The opening of a new peat mine at Garzweiler (~ 50 km²) by the RWE utility requires the destruction of the Immerath village.

AFP P. Magnan 9 August 2013

Does anybody know what is Energiewende ?

What is needed for a German 100% renewable electricity by 2050 ?

6 official predictions (from 2008 to 2013) for the needed installed power (GW).

Realism appears to gradually take over.

Reminder: the German electric consumption peak does not exceed 90 GW.

GW installés	2012	AEE 2008	BWT 2010	UBA 2010	SRU 1 A 2011	Max Planck Sept. 2012	Fraunhofer Janv. 2013
Onshore	29,5	60	50	50	33	191	170
offshore	0,5	30	33	45	73	44	85
solaire	32	70	40	120	86	99	200
Total intermittent	62	160	163	215	192	334	455

AEE: Agentur für Erneuerbare Energie, Kombikraftwerk project
BWT/ Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie
UBA : German Federal Environment Agency
SRU: Advisory Council on the Environment, Germany

A spectacular growth of intermittent sources is required to answer the 100% renewable goal .

Last scenarios imply that 30% of the green electricity will have to be either destroyed or exported or stored.

From Germany to France (I)

- **The final energy consumption of a German is the same as that of a French; less electricity compensated by more gas. A Swede's energy consumption is larger. The electricity consumption of a Norwegian is record high.**
- **A German (or a Dane) emits 80% more CO_2 than a French. A Swede produces less CO_2 than a French. A Norwegian still less.**
- **For developed economies, there is no direct relation between environmental pressure (e.g. CO_2, pollution, health risks) and neither energy nor electricity consumption.**

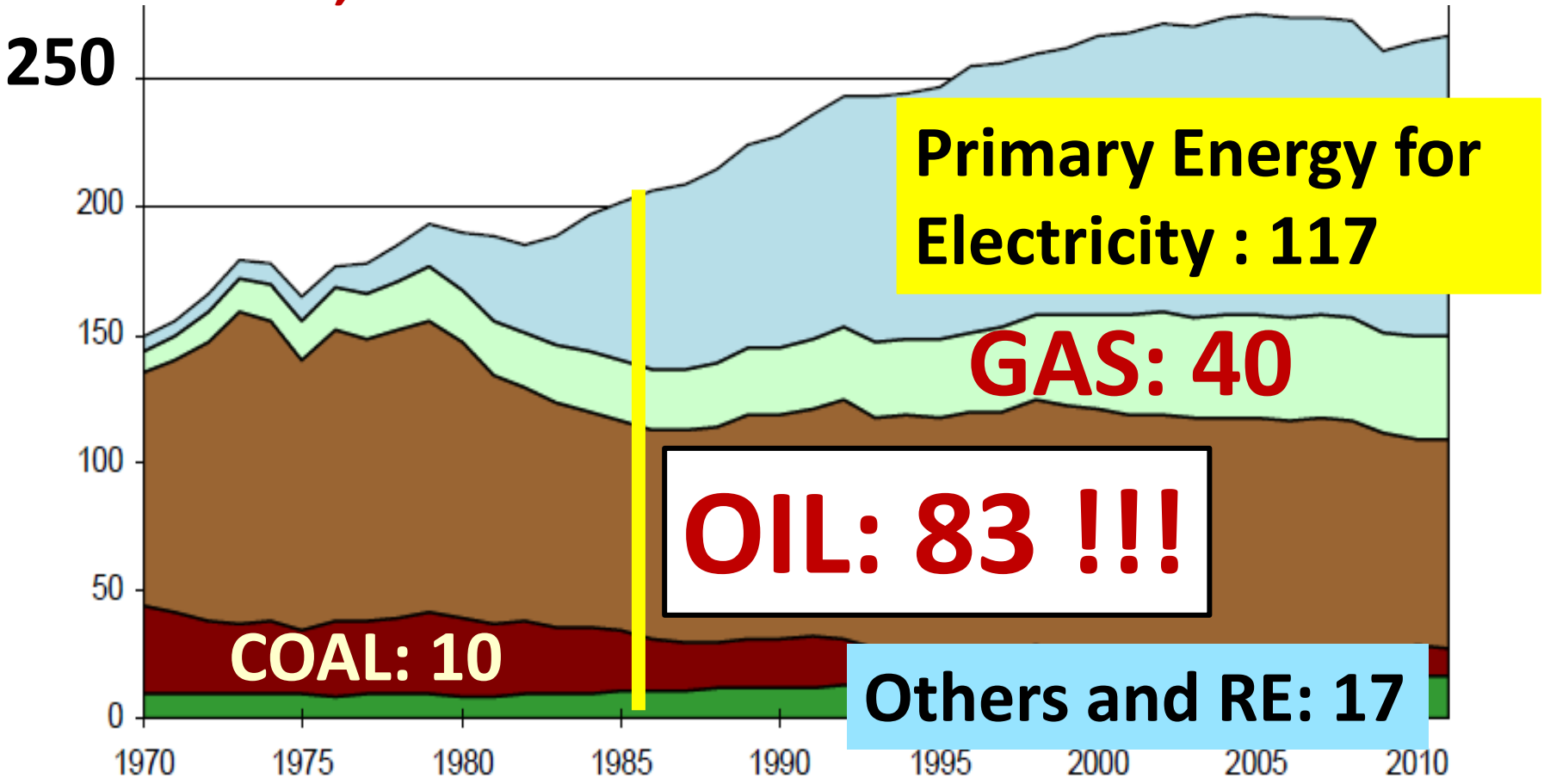
From Germany to France (II)

- Within France, the discussions on the « Tournant Energétique » are mostly focused on electricity (renewable or nuclear) although the major part of the French final energy is not consumed as electricity
- Fossils (Oil, Gas, Coal) correspond to more than 50 % of the French primary energy consumption.
- In 2011, the importation of fossils (100% imported) cost France 61,4 billion €. That year, the deficit of the trade balance amounted to about 65 billions €.
- the uranium import bill (nuclear corresponds to about 42 % or French primary energy) was about 1/100 of the fossil-fuels import bill.

France primary Energy Consumption

Strong dependence on imported oil and gas

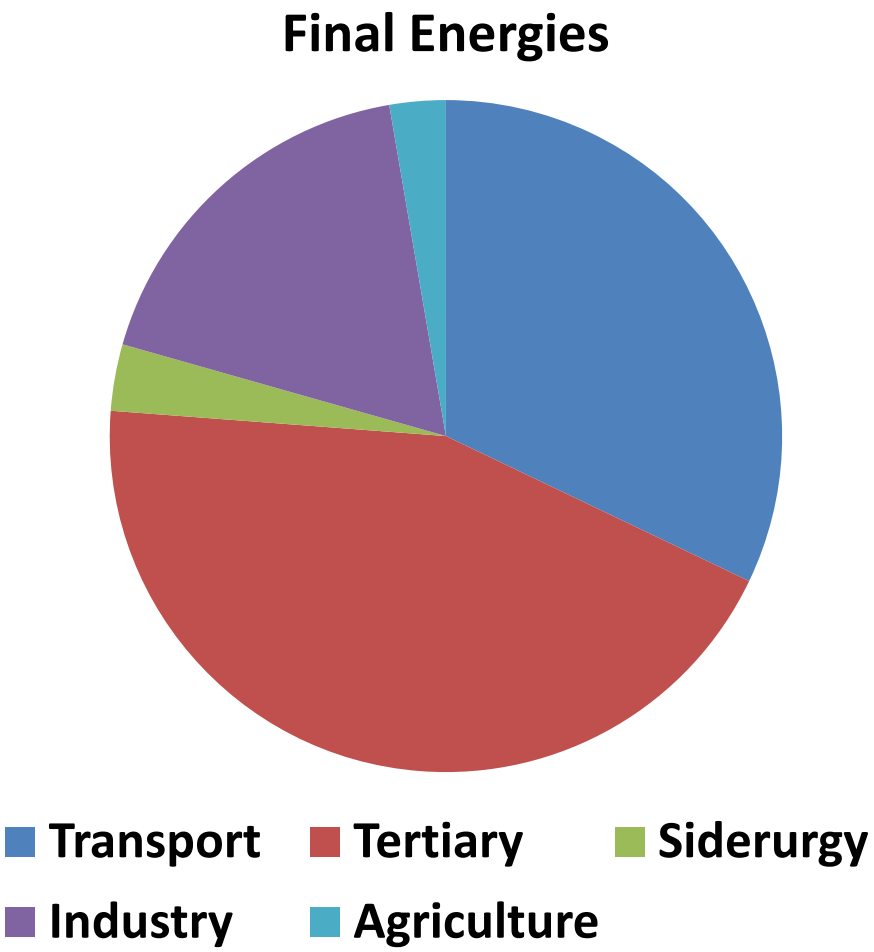
2011: 266,4 Mtoe out of which 133 from fossils



Almost no progress in 20 years after nuclear buildup

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2011

France (2011) ; Final Energy per Branch: 161 Mtoe



Urban organization and mobility weigh 76 % on energy efficiency

This is 10 % more than for 1990

THEY ARE THE MAIN SOURCES
- OF OUR ENERGY DEFICIT
- OF OUR TRADE DEFICIT
- OF FRANCE'S CO_2 EMISSIONS

CO_2 emissions : France 2011
350 millions tons
(out of which only 27 for electricity)
Source : SOeS, bilan de l'énergie 2011

THESE ARE THE BRANCHES WHERE ACTION IS NEEDED, NOT THE ELECTRICITY SECTOR

SLC proposal for a French "Tournant Energétique"

- **Selection of Priorities**

1 Reduce as much as possible the use of imported fuels (trade balance, negative health impact, CO2 emissions).

2 Support deployment of renewable heat rather than renewable electricity (solar DW, heat pumps, geothermy, biomass).

3 Increase the use and usages of electricity

while supporting a production which is

- carbon free,
- as cheap as possible (this eliminates the recourse to subsidies to bolster present non-economical renewable technologies).

4 Prepare the future via a strong support to research

on the crucial still **unsolved problems** of the energy transition.

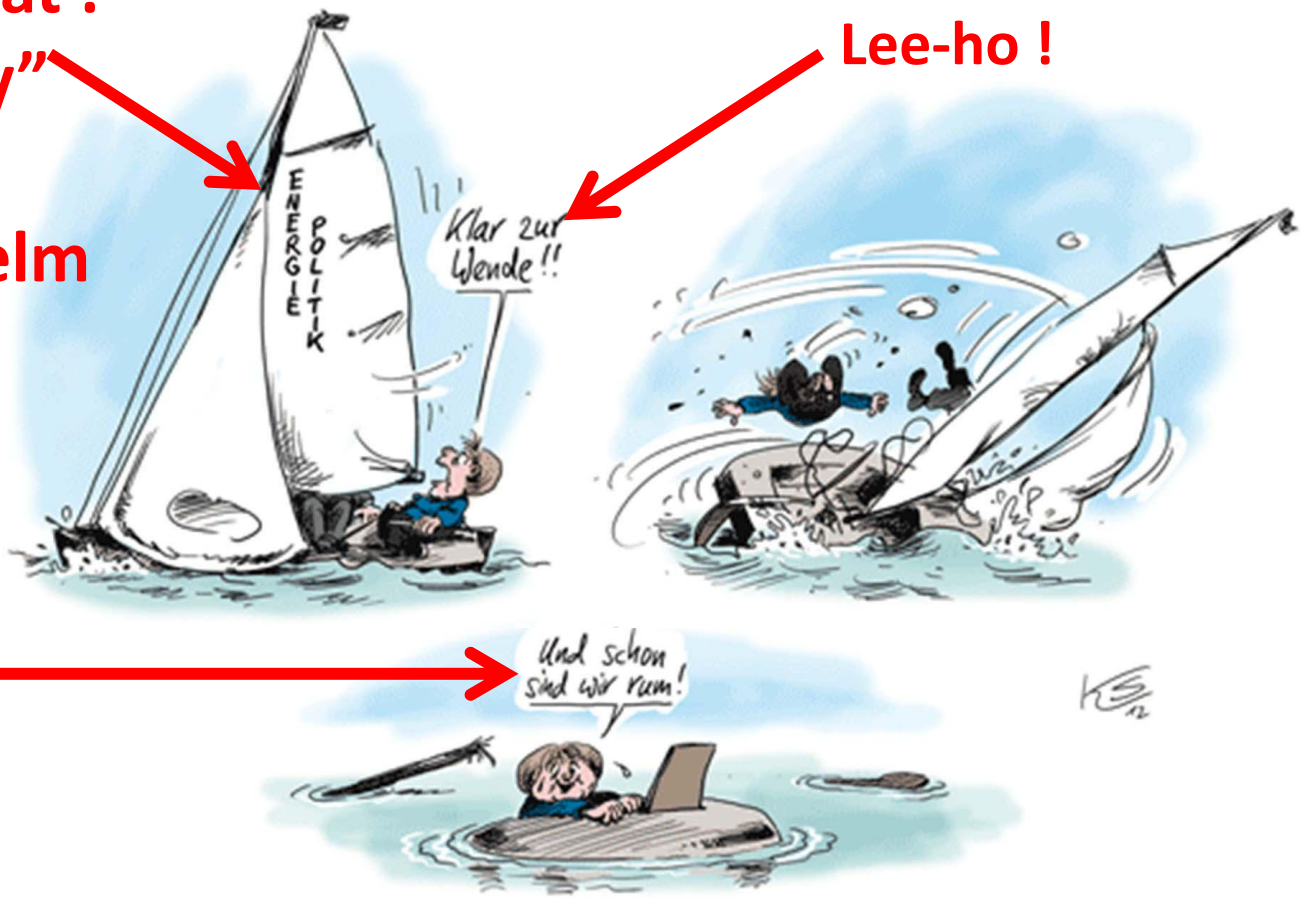
- Storage
- Bio-fuels of second and third generation
- Efficient electric renewable production in particular solar photovoltaic (whose performances are presently stalling).

Back to the "Energiewende" :

A German humoristic view of the country energy policy

Name of the boat :
"Energy Policy"
and
a lady at the helm

Ready to come about !
Lee-ho !



See !
Already done !

Merci de votre attention.

Annexes

Evaluations, today , tomorrow

The World Economic Forum

- Ranking of energy systems : France 3rd

- "France is one of the developed countries with the smallest CO2 emissions"

KPMG Institute /Institut Choisel

France world leader for the quality of its electric sector

France 93th for its energy mix (too much dependent on oil)

However,

what engineers could build, politicians can destroy

The French national grid (RTE) announced in its July 2013 report that by 2016-17 its management safety margins should drop to nil.

1) Loss of about 8 GW of dispatchable power (EU coal- oil norms + Fessenheim)

2) steady growth of our "national" Wind + Solar

3) impact of electricity production systems of neighboring countries

SLC proposal for a French "Tournant Energétique" (I)

Selection of Criterions

- Energy cost
- Health, environment and climate impact
- Jobs (direct + indirect) within the nation
- Trade balance
- Stability of the grid
- Long term (say 50 years) vision

- **The deployment of renewable energies should only be considered a possible mean, not a goal by itself.**
- **There is no justification for an "a-priori" rejection of scenarios which preserve or enlarge the present contribution of nuclear energy to the mix**

Evaluations, today , tomorrow

The World Economic Forum

- Ranking of energy systems : France 3rd

- "France is one of the developed countries with the smallest CO2 emissions"

KPMG Institute /Institut Choisel

France world leader for the quality of its electric sector

France 93th for its energy mix (too much dependent on oil)

However,

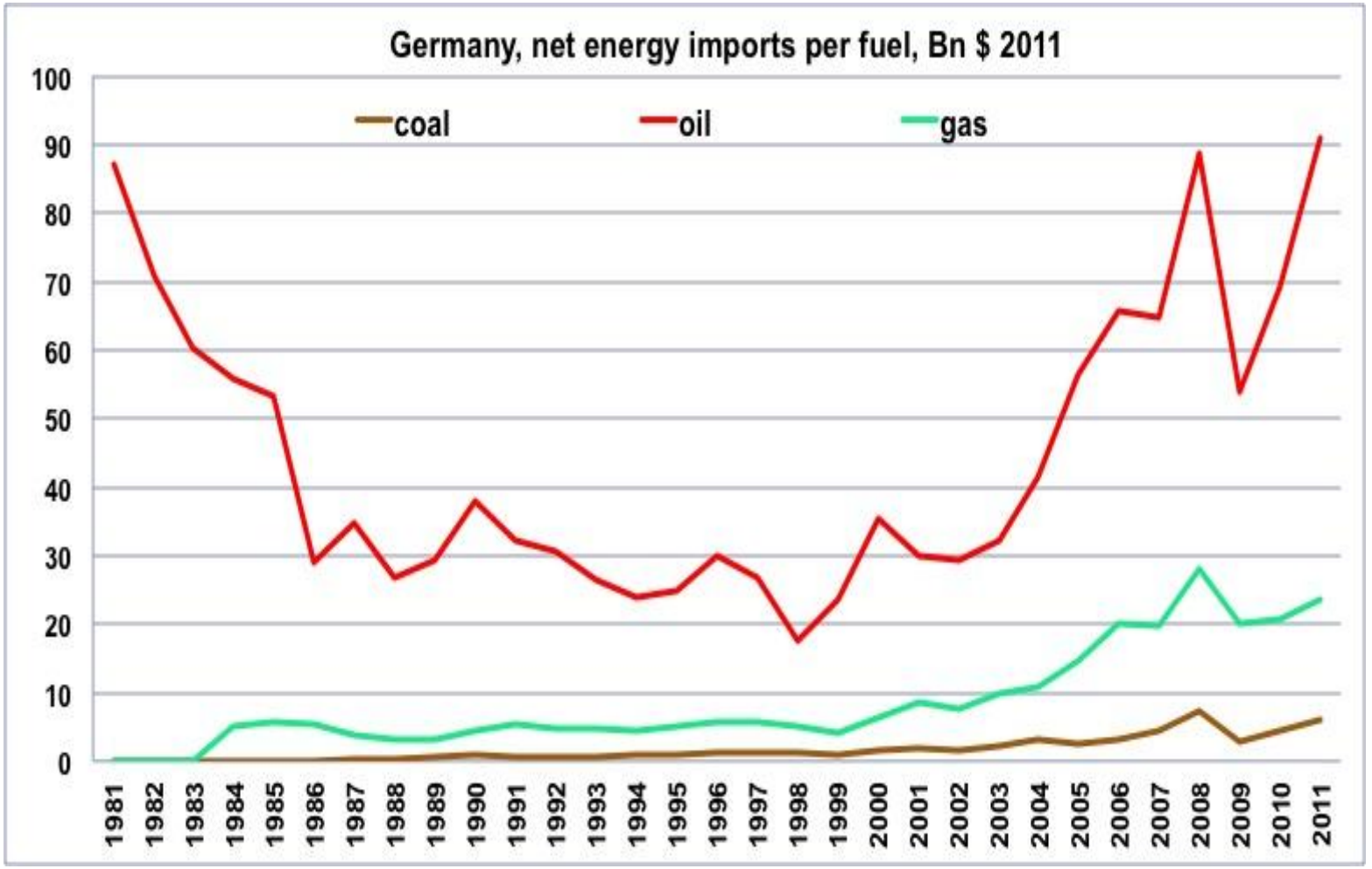
what engineers could build, politicians can destroy

The French national grid (RTE) announced in its July 2013 report that by 2016-17 its management safety margins should drop to nil.

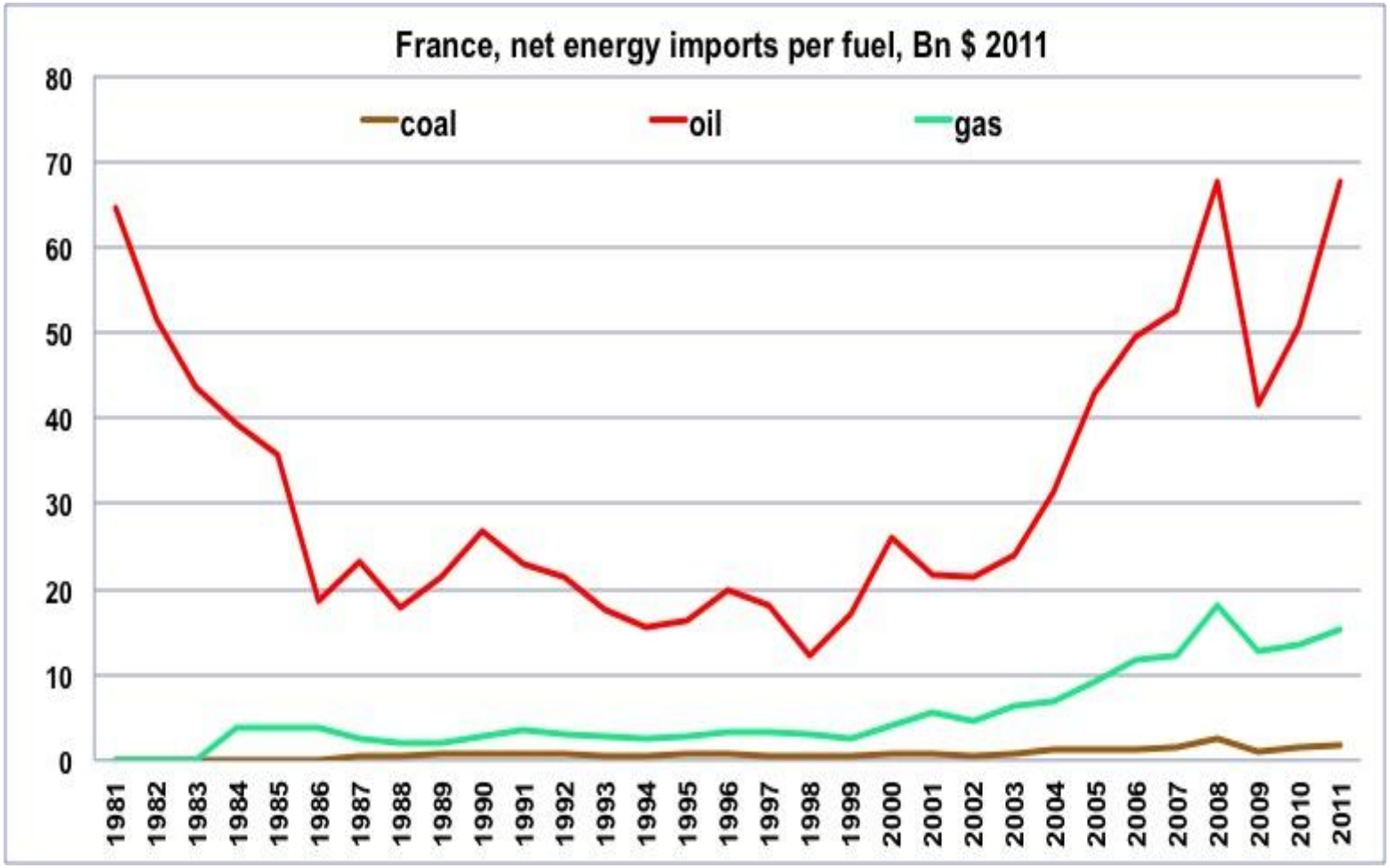
1) Loss of about 8 GW of dispatchable power (EU coal- oil norms + Fessenheim)

2) steady growth of our "national" Wind + Solar

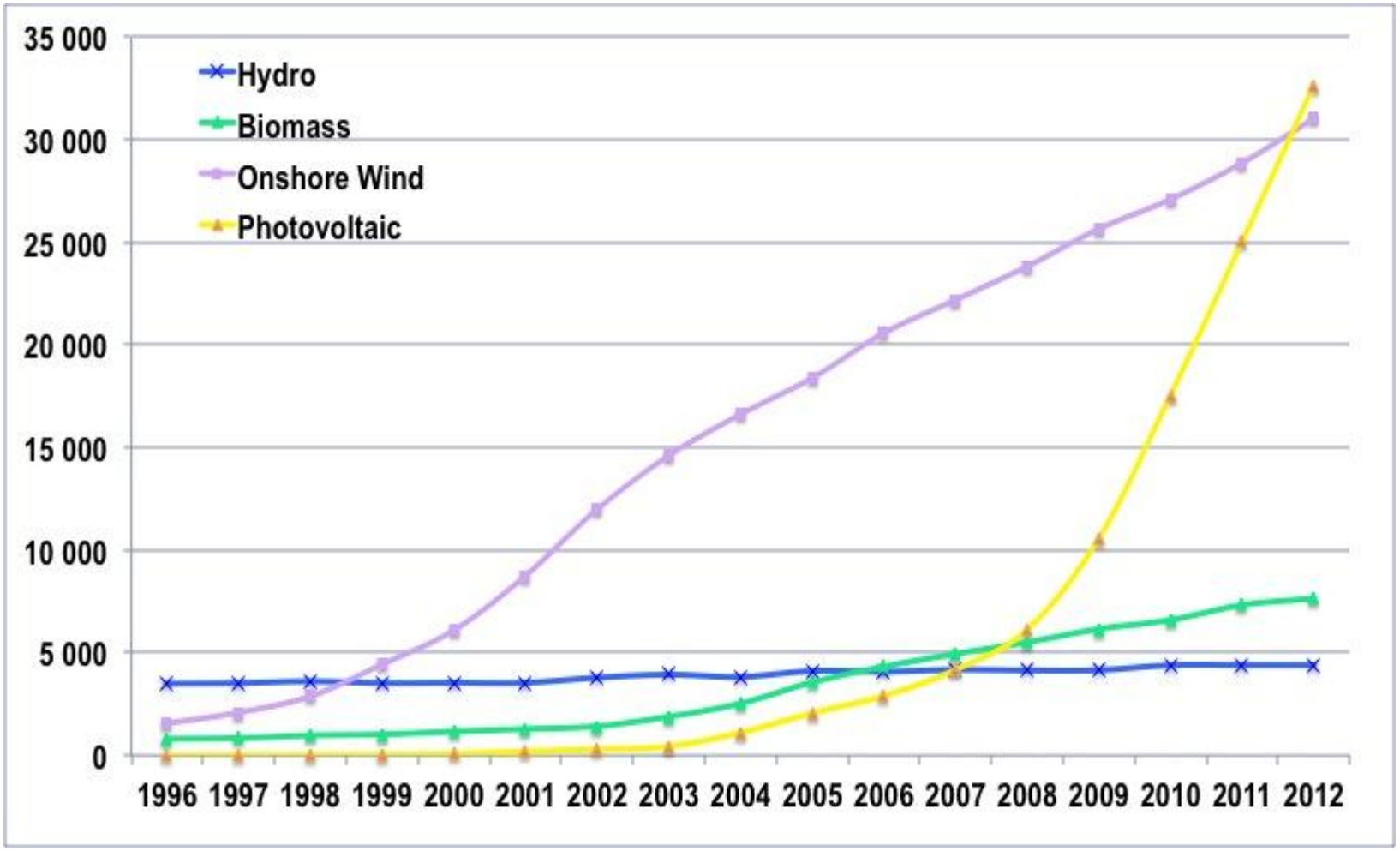
3) impact of electricity production systems of neighboring countries



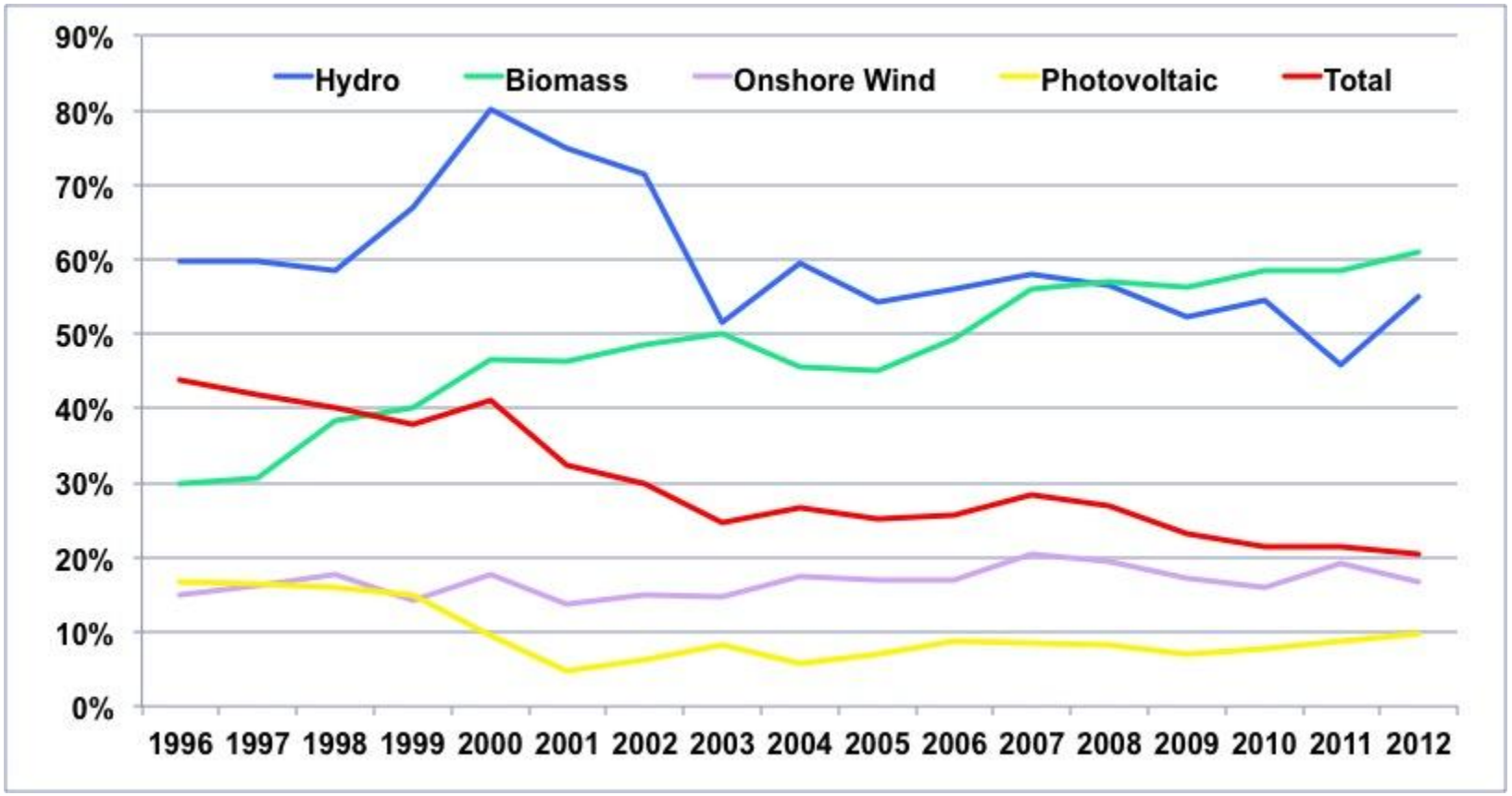
Reconstitution des importations allemandes par énergie, en milliards de dollars constants depuis 1981. On ne voit pas d'inflexion évidente dans importations du pays (qui dépassent les 100 milliards de dollars, ou 80 milliards d'euros) si l'on compare avec la France ci-dessous. On notera par ailleurs que l'Allemagne importe du charbon (elle ne produit pas la totalité de ce qu'elle consomme). Jancovici


France, net energy imports per fuel, Bn $ 2011
coal
oil
gas
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011

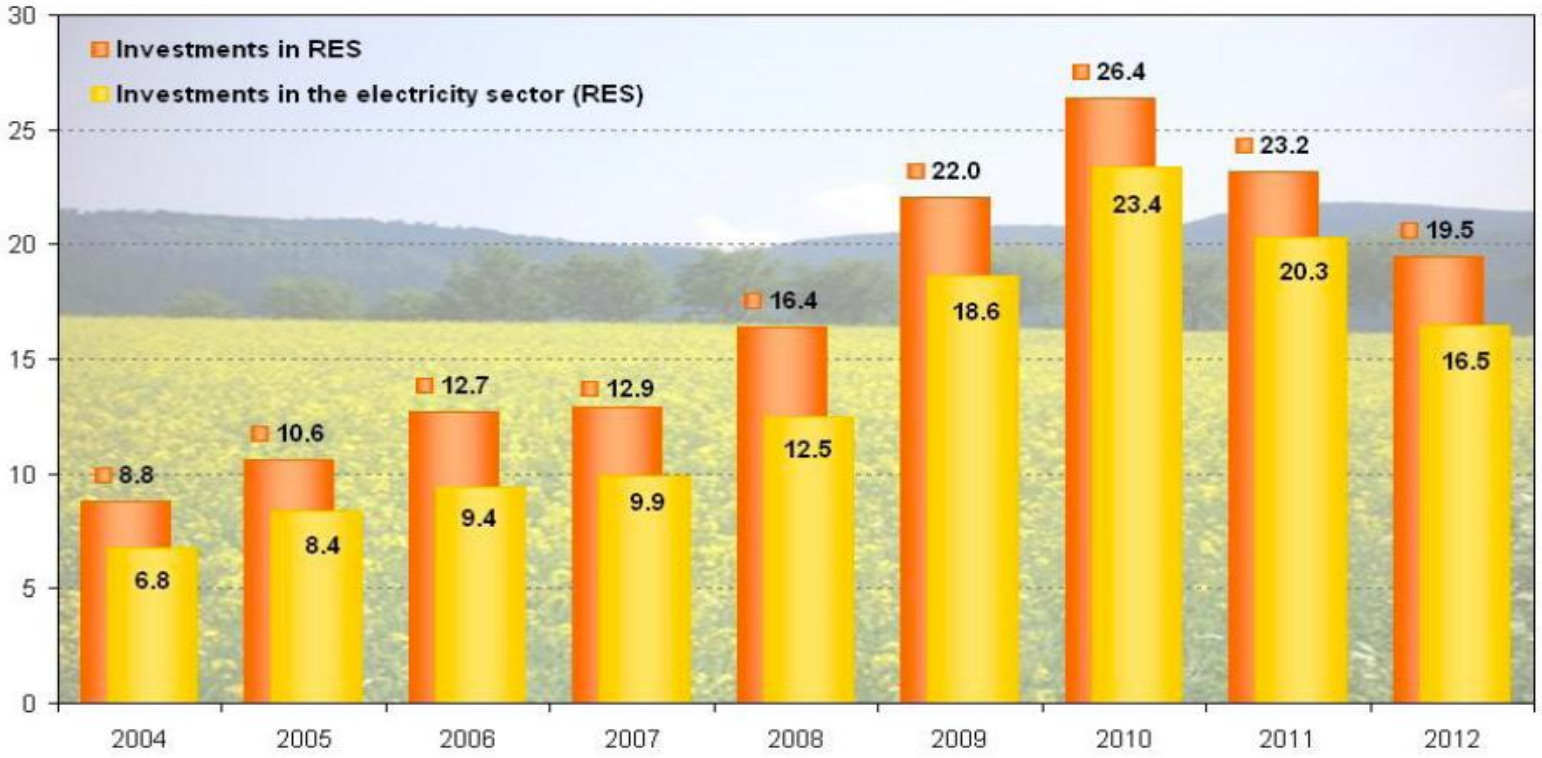
Jancovici



Capacités installées pour les diverses renouvelables en Allemagne depuis 1996, en MW. L'ensemble totalise 76.000 MW, ou encore 76 GW, Jancovici
Source AGEE-Stat, Federal Ministry of Environment, Germany.



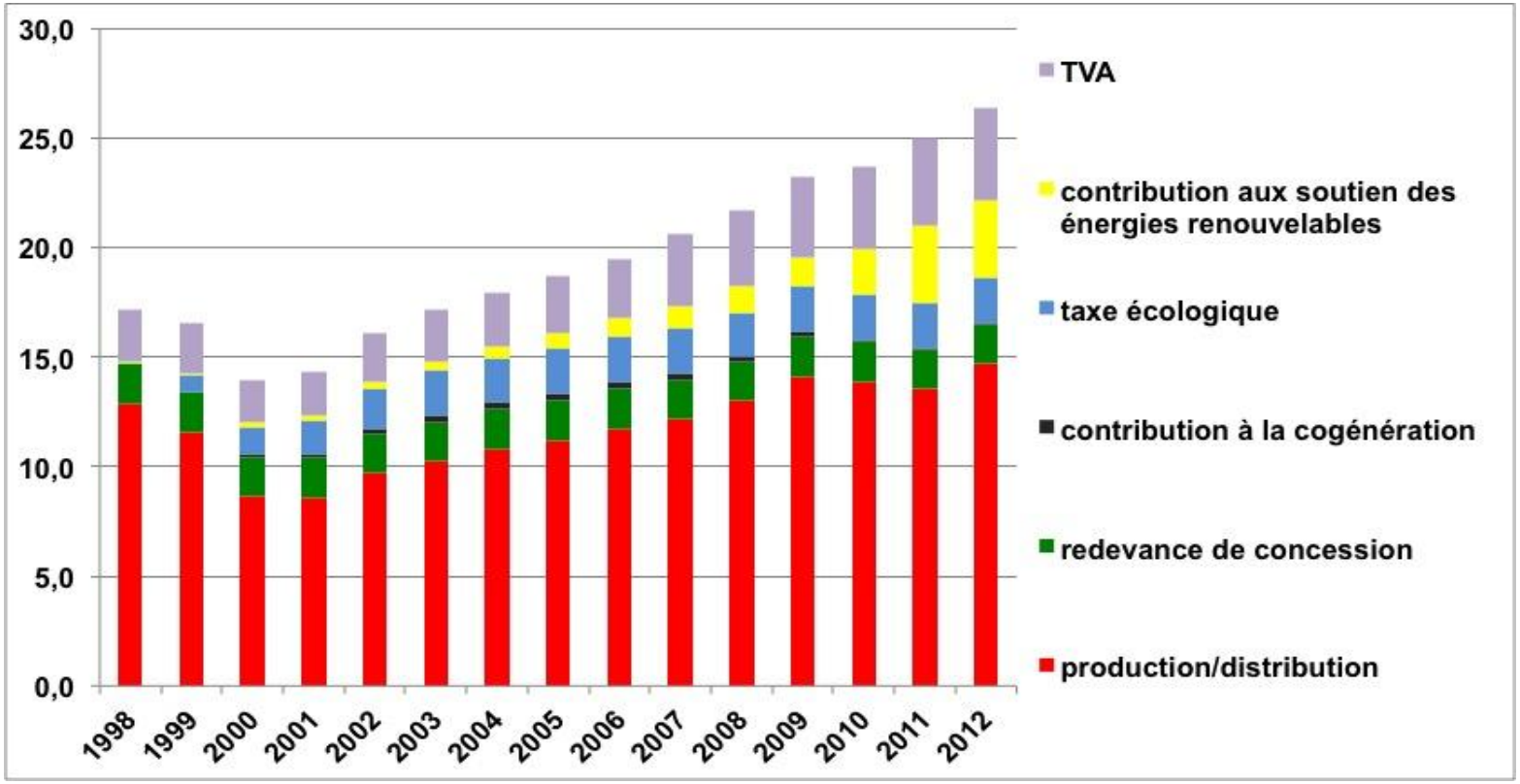
Facteurs de charge de chaque mode électrique renouvelable en Allemagne depuis 1996.
Ce facteur correspond au % du temps annuel où l'installation devrait fonctionner à pleine puissance pour fournir le courant qu'elle produit effectivement sur l'année.
Calculs Jancovici sur données primaires
AGEE-Stat, Federal Ministry of Environment, Germany.



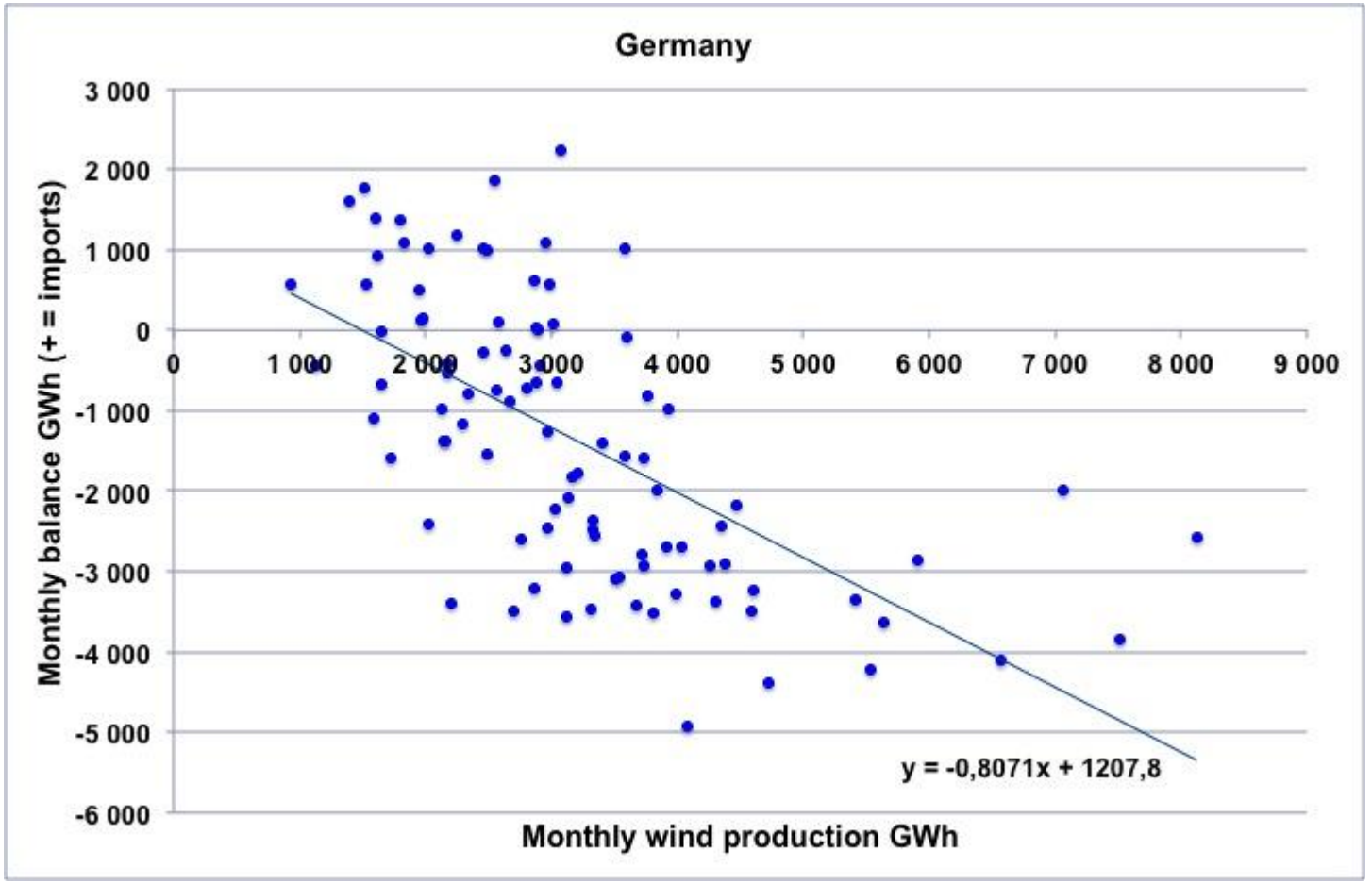
Montants investis dans les dispositifs de production d'énergies renouvelables, en milliards d'euros (orange), et investissements induits dans le secteur électrique, en milliards d'euros également (jaune), depuis 2004. La période couverte représente déjà plus de 250 milliards d'euros en cumulé.

Sachant que les dispositifs construits (barre orange) incluent un peu de chaleur, ce qui n'a pas d'impact sur la partie électrique, on peut retenir que pour 1 milliard investi dans des dispositifs de production électriques, il faut également investir 1 milliard dans le réseau pour que l'ensemble fonctionne.

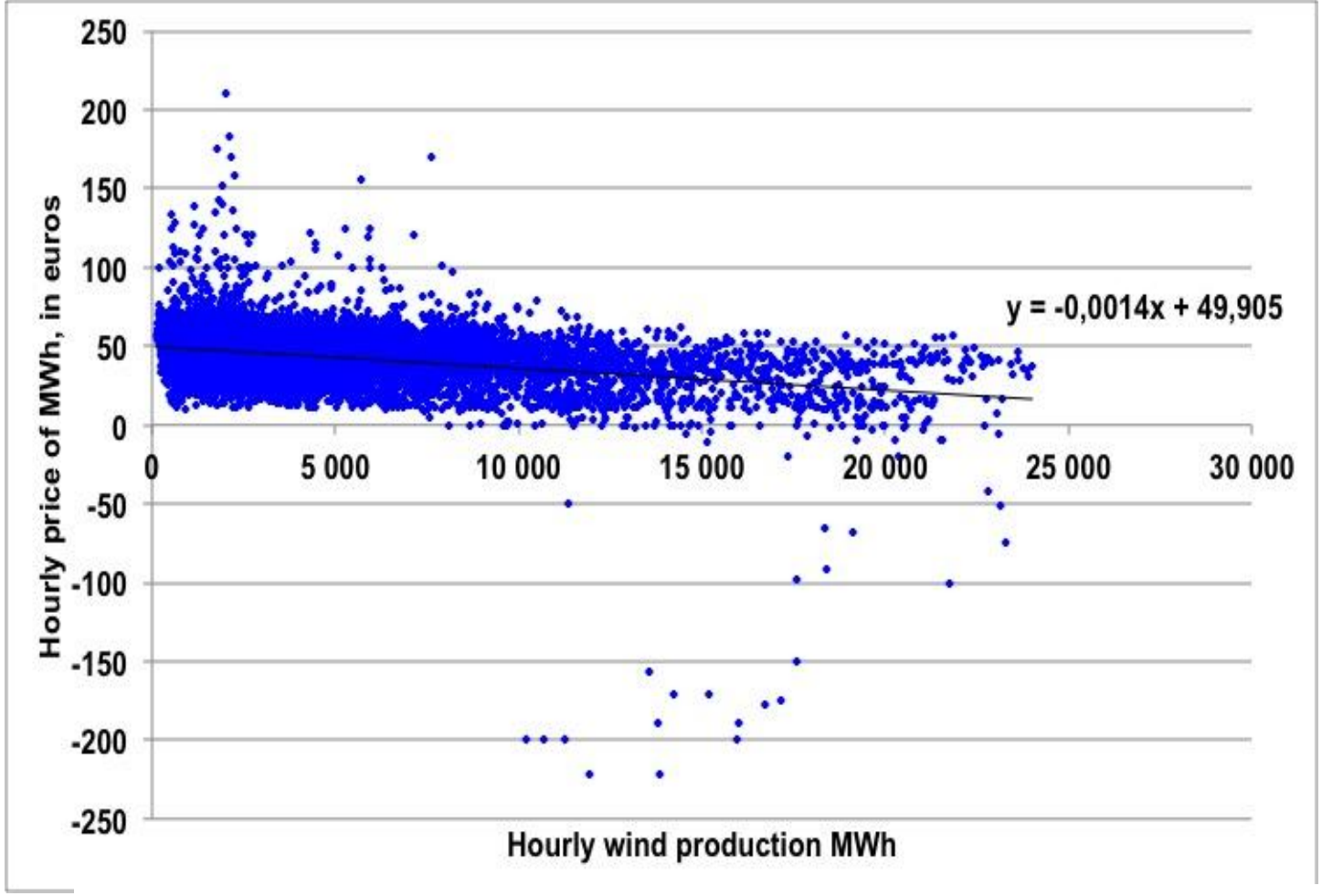
Jancovici & Source AGEE-Stat, Federal Ministry of Environment, Germany.



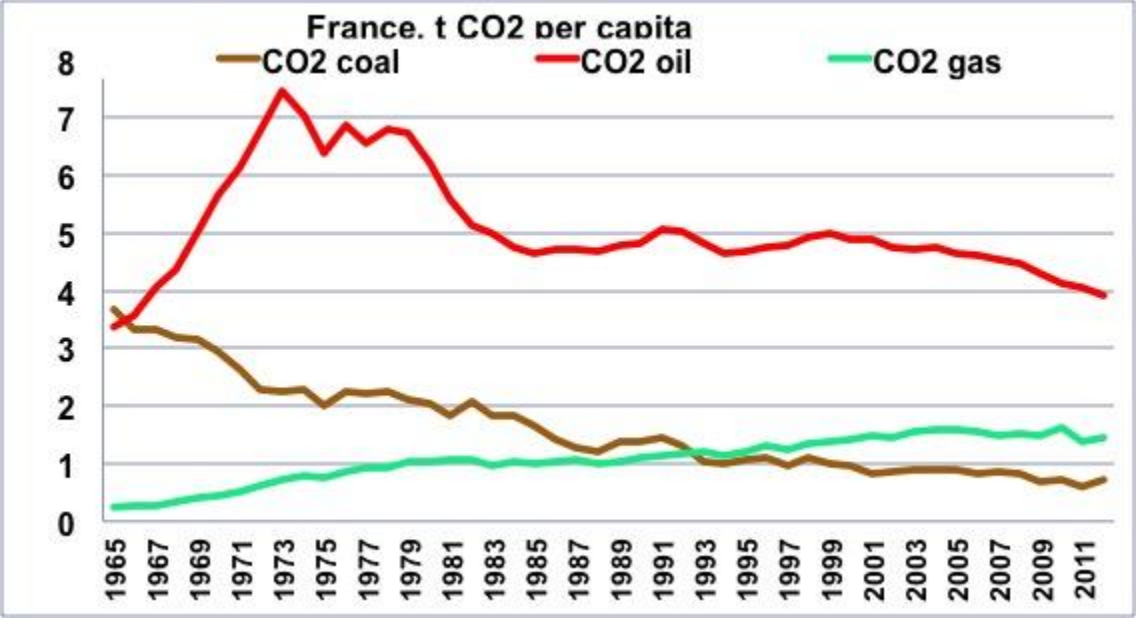
Evolution du prix du kWh pour le consommateur particulier allemand de 1998 à 2012. La hausse du prix est bien visible, mais elle est clairement due pour partie au paquet "production+distribution", et dans ce paquet il y a certes le cout d'usage du réseau, mais aussi le coût des combustibles fossiles utilisés pour la production au gaz et au charbon. La baisse de cette contribution au moment où gaz et charbon baissent (2009-2011) accrédite l'idée que dans l'autre sens la hausse a joué (les statistiques allemandes discriminées sont difficiles à trouver). Jancovici & Source BDEW



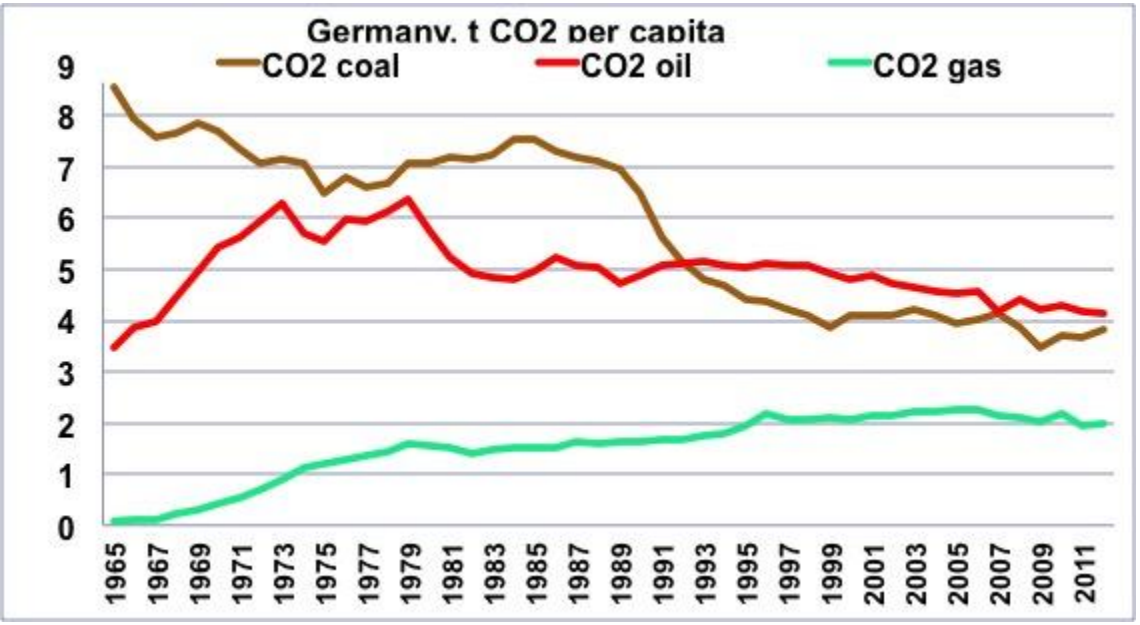
Solde des échanges par mois (axe vertical) en fonction de la production éolienne mensuelle, pour la période qui va de janvier 2005 à décembre 2012.
Il apparaît clairement que plus la production éolienne augmente, plus, en tendance, on va vers des exportations élevées, ce qui suggère qu'une partie du surplus d'exportations est directement ou indirectement lié à l'augmentation de la production éolienne.
Calculs Jancovici sur données ENTSOE



Prix de l'électricité en fonction de la production éolienne, pour chaque heure de l'année 2012.
On voit clairement que plus il y a de vent, plus de prix de l'électricité est bas, avec l'apparition de prix nuls passé 8 GWh par heure, et même de prix négatifs passé 10 GWh par heure.
Comme il y a environ 30 GW de puissance éolienne installée en Allemagne, cela signifie que dès qu'un tiers des éoliennes tourne à pleine puissance on voit apparaître de temps en temps des prix nuls ou négatifs (à ce moment le producteur paye le client pour qu'il prenne l'électricité, pour éviter de faire sauter le réseau).
Quand il n'y a pas de vent le prix moyen est de 50 euros le MWh, alors que quand le parc produit presque à pleine puissance (24 GW) ce prix moyen tombe à 20 euros environ.
Sources des données pfbach.dk

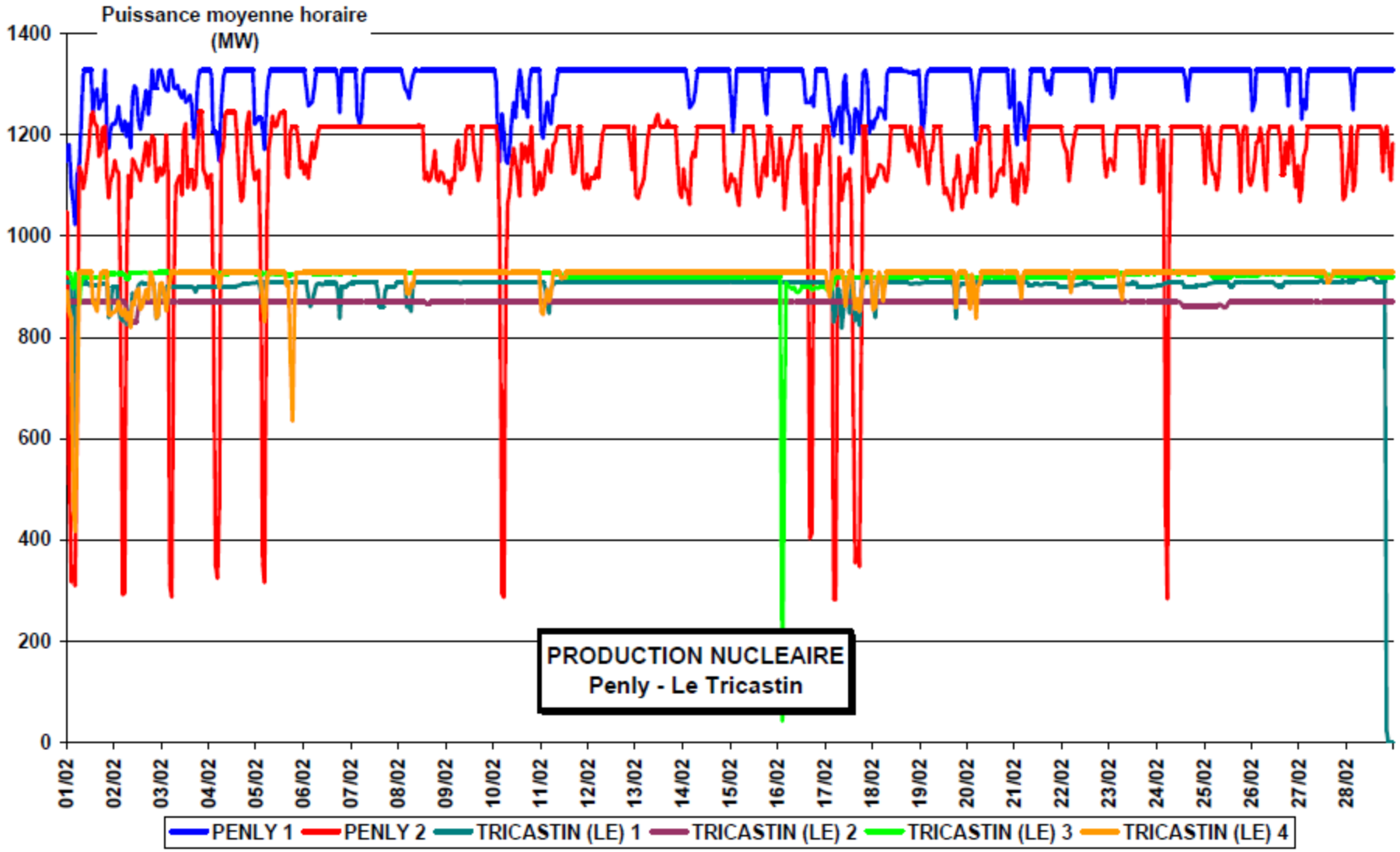


Emissions de CO2 fossile par personne en France de 1965 à 2012. La contribution du charbon est actuellement un peu inférieure à 1 t par personne et par an (4 fois moins qu'en 1965), celle due au gaz est d'environ 1,5 t, et enfin celle du pétrole est d'environ 4 t, pour un total d'environ 6 t. Calcul Jancovici BP Statistical Review, 2013

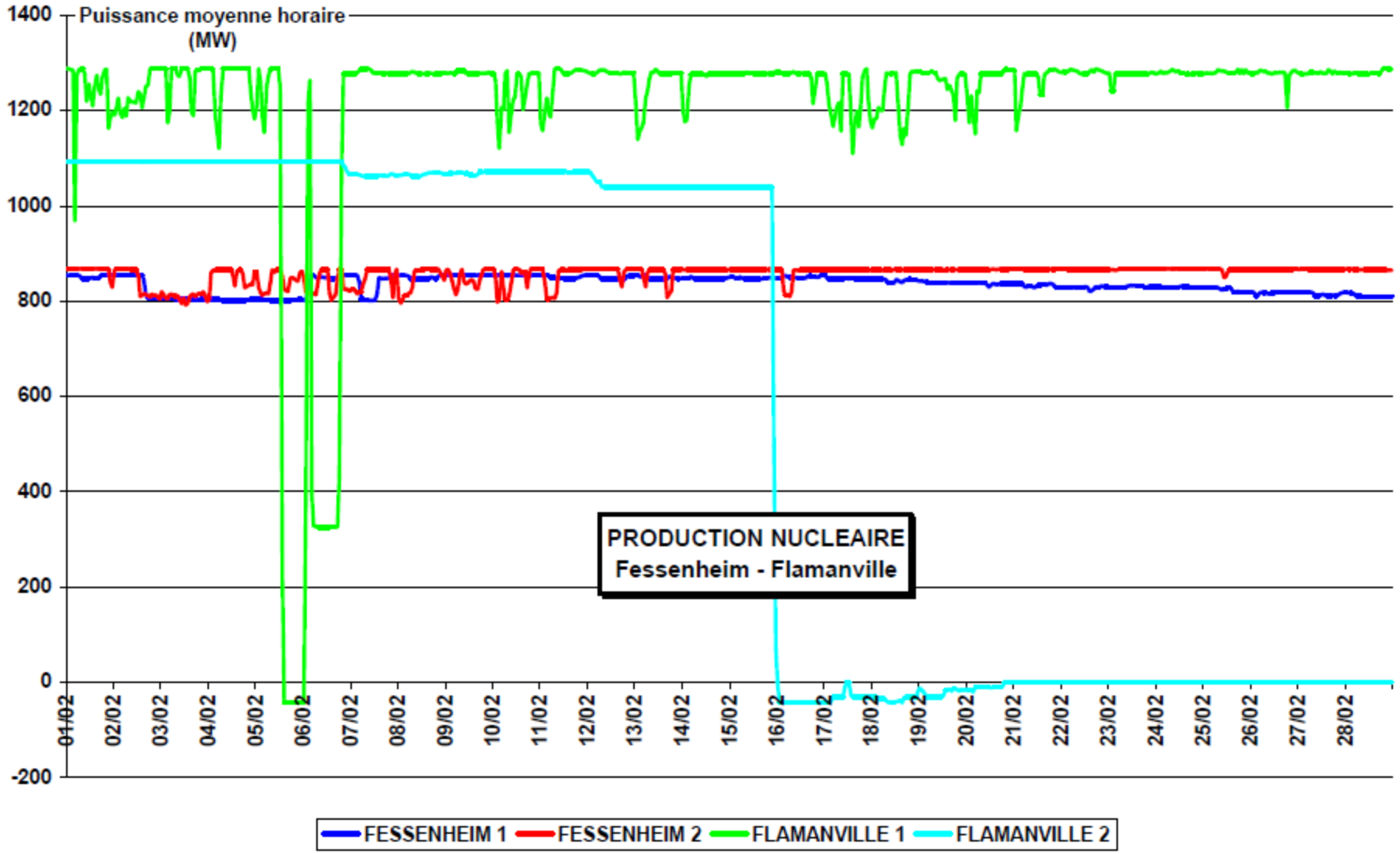


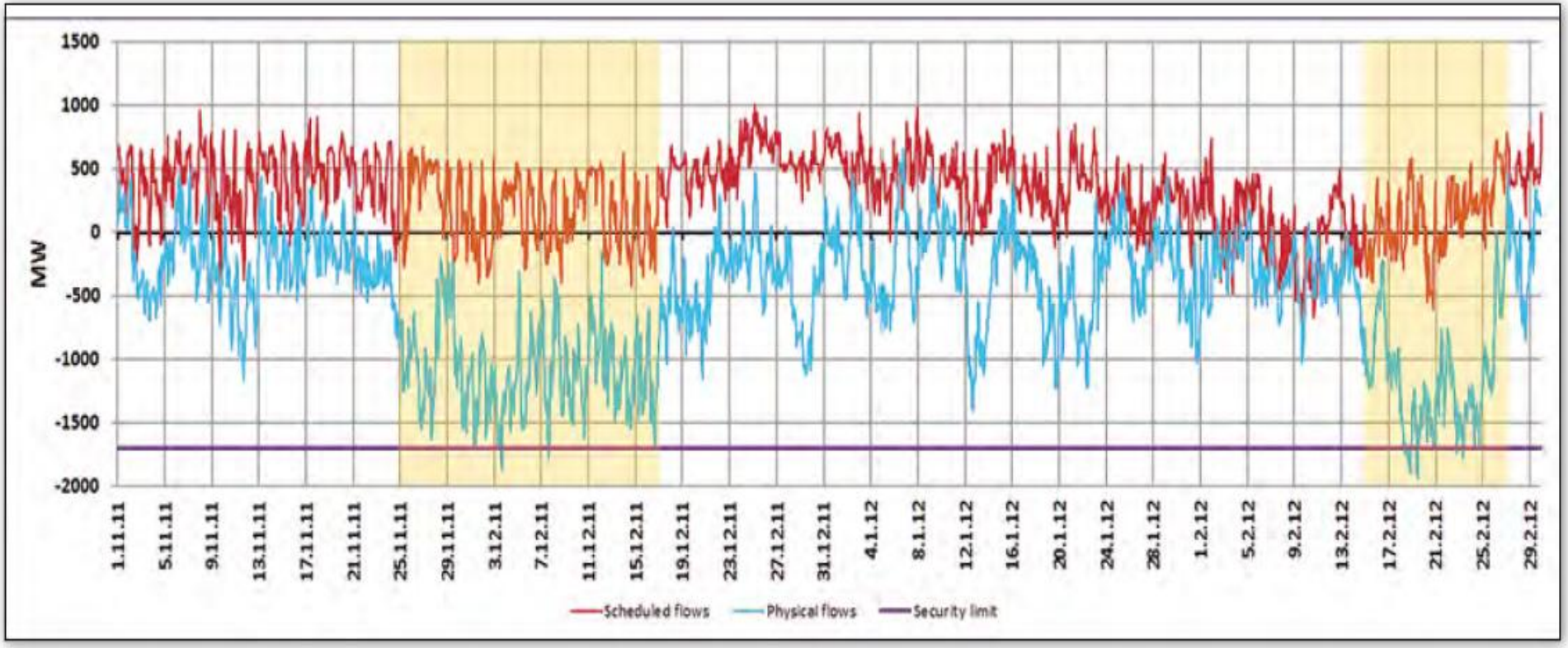
Emissions de CO2 fossile par personne en Allemagne de 1965 à 2012. La contribution du pétrole est la même que pour la France, mais les contributions du gaz et du charbon sont respectivement 30% et 4 fois plus élevées, pour un total d'environ 10 tonnes. On note que depuis les années 1980 le profil sur le pétrole est assez similaire à ce qu'il est pour la France, par contre a "transition" n'a clairement pas encore imprimé sa marque sur charbon et gaz, qui sont les énergies fossiles utilisées dans la production électrique (le pétrole très peu). Calcul Jancovici sur données BP Statistical Review, 2013

Production de réacteurs nucléaires français Février 2013



Production de réacteurs nucléaires français Février 2013





Les flux physiques sur le réseau tchèque (bleu) excèdent largement les prévisions (rouge)
Et dépassent parfois les limites de sécurité des transferts (ligne mauve).

Fundamentals of an energy transition for an economically fragile country (e.g. the situation of France not of Germany)

- **HORIZON 2030: Only realism can be afforded**
  - **Rely on proven and socially acceptable technologies**
  - **Realize that a crisis-free evolution of a global energy system can only be slow**
  - **Use one's strengths, do not destroy them**
  - **Support the national economy : expensive energy = weakening + delocalization + job losses**
  - **Support the people : costly energy = precariousness**

What does the French parliament says ?

(OPECST = parliamentary office for the evaluation of scientific and technological choices)

- OPECST 15/12/2011:

"il serait irresponsable d'estropier notre pays en le lançant dans le vide pour s'éviter d'attendre les 2 ou 3 décennies indispensables à la mise au point d'innovations suffisamment robustes »

“A forced-march deployment favors importations from low-labor-cost countries”

Energy efficiency for 2030

(proposal of the French govt. agency ADEME)

ADEME's goal : reduce by 30% house heating energy (7,3 Mtoe)

- target : 100% social housing pre-2005, 50% private housing pre-1975 for 70% individual housing
- Investment costs : 200 billions € (20 à 30 k€/housing)
- 550 € for every avoided « CO2 ton » over 50 years

RETURN IS SMALL ; COSTS ARE HIGH!

Will the country be able to pay ?

- It would be much more efficient to follow experts (UFE) by targeting first the less costly improvements & by increasing electricity use (heat pumps & storage)

TRANSPORT

(Oil is our main source of trade deficit, BUT mobility is an essential engine of economic growth)

- First generation of bio-fuels is no more than a subsidized dead-end (~1 ha per car . year)
- There is no convincing demonstration of the second generation bio-fuels that ADEME relies on. They may become economically viable after 2030
- SLC proposes two partial solutions until 2030:
  - Public-transport systems (investments)
  - Support transfer to electricity (while ADEME asks for electricity reduction)

BIOENERGY FOR HEAT

(ADEME scenario implies a growth from 12 à 31 Mtoe)

- **SOLID BIOMASS (Wood mostly)**
  - **ADEME makes it grow from 9 to 18 Mtoe (requires mobilizing 75% of the total French resource)**
  - **ADEME neglects that this existing national resource is not well structured and has many other uses.**
- **BIOGAS**
  - **ADEME assumes a factor 10 increase of present production (reach the 2012-German level which requires imports from Brazil).**

Threats of depletion of Europe soil-carbon-content are described in the LEOPOLDINA German Academy report 2012

ELECTRIC RENEWABLES AND GRID MANAGEMENT

ADEME scenario requires 79 GW Wind + Solar by 2030

To ensure grid stability via the equality
CONSUMPTION = PRODUCTION, for any x and t
up to now one had to adjust to consumption variations.

- **The ADEME scenario values requires now correcting first the fluctuations of intermittent power while the same scenario implies a reduction of the French dispatchable power which the only mean to effect the correction.**
- **Management of extremes of a wildly fluctuating production, even at the European level, will be both complex and costly (backup, additions to the grid)**
- **Prices for the consumer can only take off**
- **An economic war about intermittent production has already started (Speculation; “negative prices” and extreme highs)**

Conclusions for a French "Tournant Energétique" (III)

The NEGATEP scenario put forward by the SLC association opens better perspectives than those of the ADEME government agency.

1. **No imposition on the French people of the punitive energy consumption reduction (-23 %) planned in the ADEME scenario**
2. **Extension of electricity usages to decrease fossil consumption**
   - **Transports**
   - **Heating with heat pumps**
   - **Electrification of industry for a better efficiency**
3. **Decrease from 8% to 3% of fossil energy in the French electricity mix while preserving grid stability by deploying no more than 12-15 GW of Wind + Solar**
4. **Steady energy efficiency improvement maintained at the present realistic rates**
5. **Increase of bio-energy without damaging other uses of biomass**

JOBS

Solar: the jobs are in China. Germans know that well by now !

Where do the French wind turbines come from (2011) ?

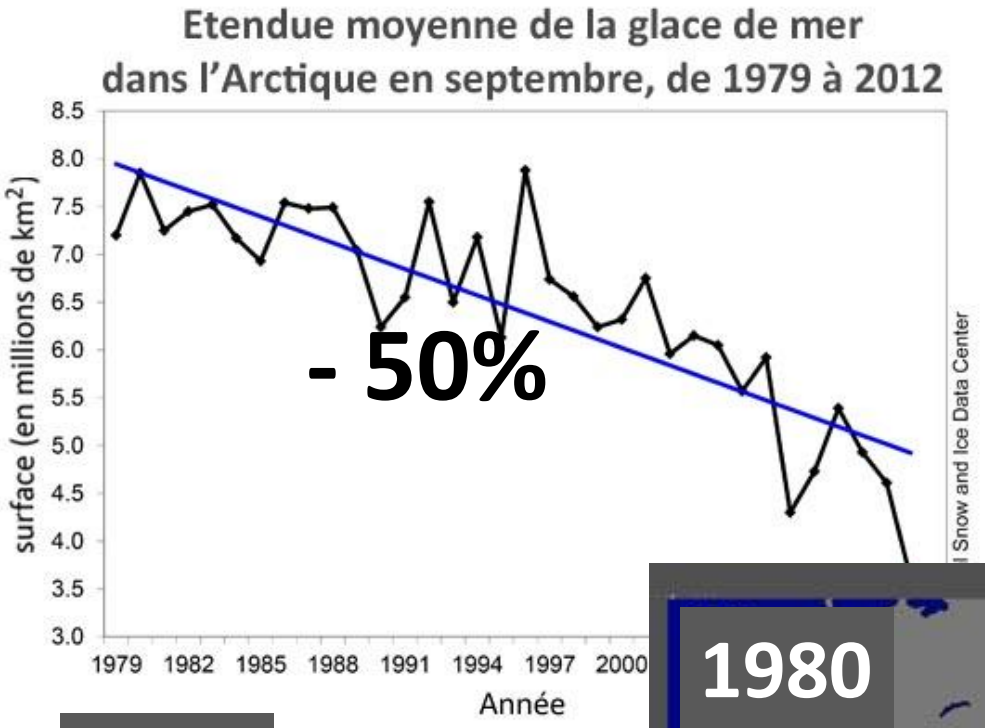
- **CA 2010: 3 G€**
- **Effectif 9500 (!!!)**
- **Import: ~70 % du CA**

Source EurObserv'ER

	PAYS	PUISSANCE MW FIN 2011
ENERCON	ALLEMAGNE	1600
VESTAS	DANEMARK	1392
Repower	DANEMARK	1298
NORDEX	ALLEMAGNE	1032
GAMESA	ESPAGNE	664
SIEMENS	ALLEMAGNE	270
GE	USA	220
ALSTOM	ESPAGNE	219
VERGNET	*FRANCE*	*82*
	TOTAL	**6777**

CHANGEMENT CLIMATIQUE: UNE REALITE

Arctique

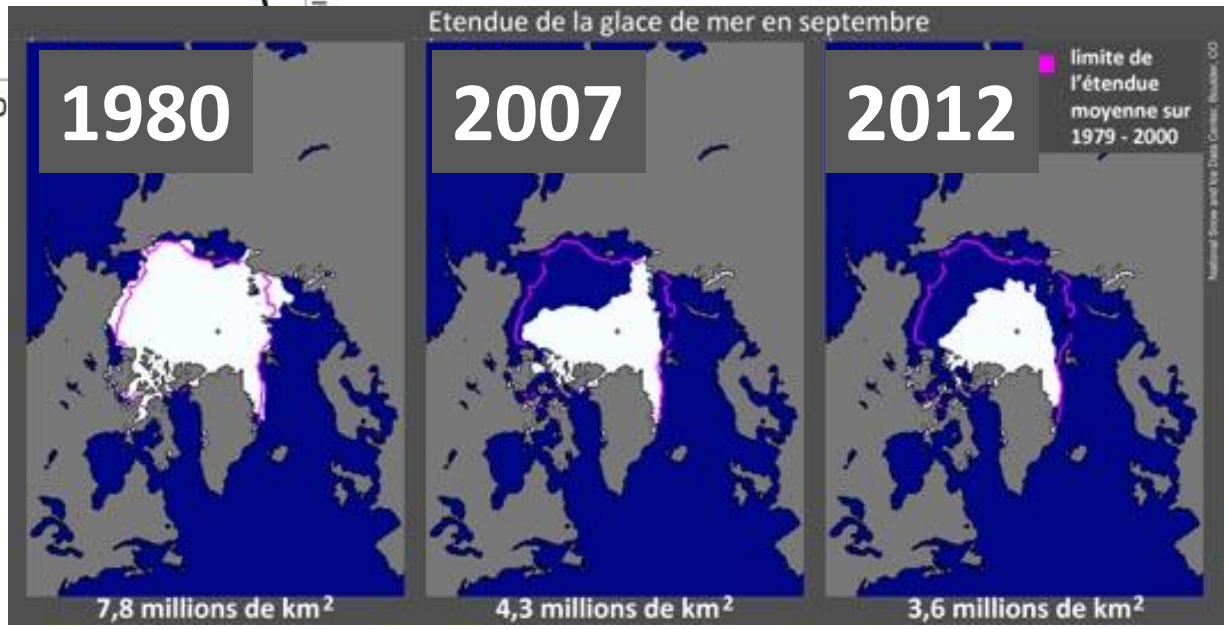


Surface de la glace de mer (septembre)

2012

1980

Une réduction de 7,6 fois la surface de la France



UN CONSTAT GLOBAL

Les énergies fossiles représentent encore la moitié de notre énergie primaire et ont un impact lourd sur la balance commerciale

- **Deux secteurs dominent: ils sont prioritaires**
  - **Le résidentiel / tertiaire**
  - **Le transport**

- **L'impact positif du nucléaire *non carboné et exportateur* dans l'électricité: faire mieux et non moins bien en privilégiant des technologies peu efficaces**
- **EnR: modestes hors hydraulique et bois**

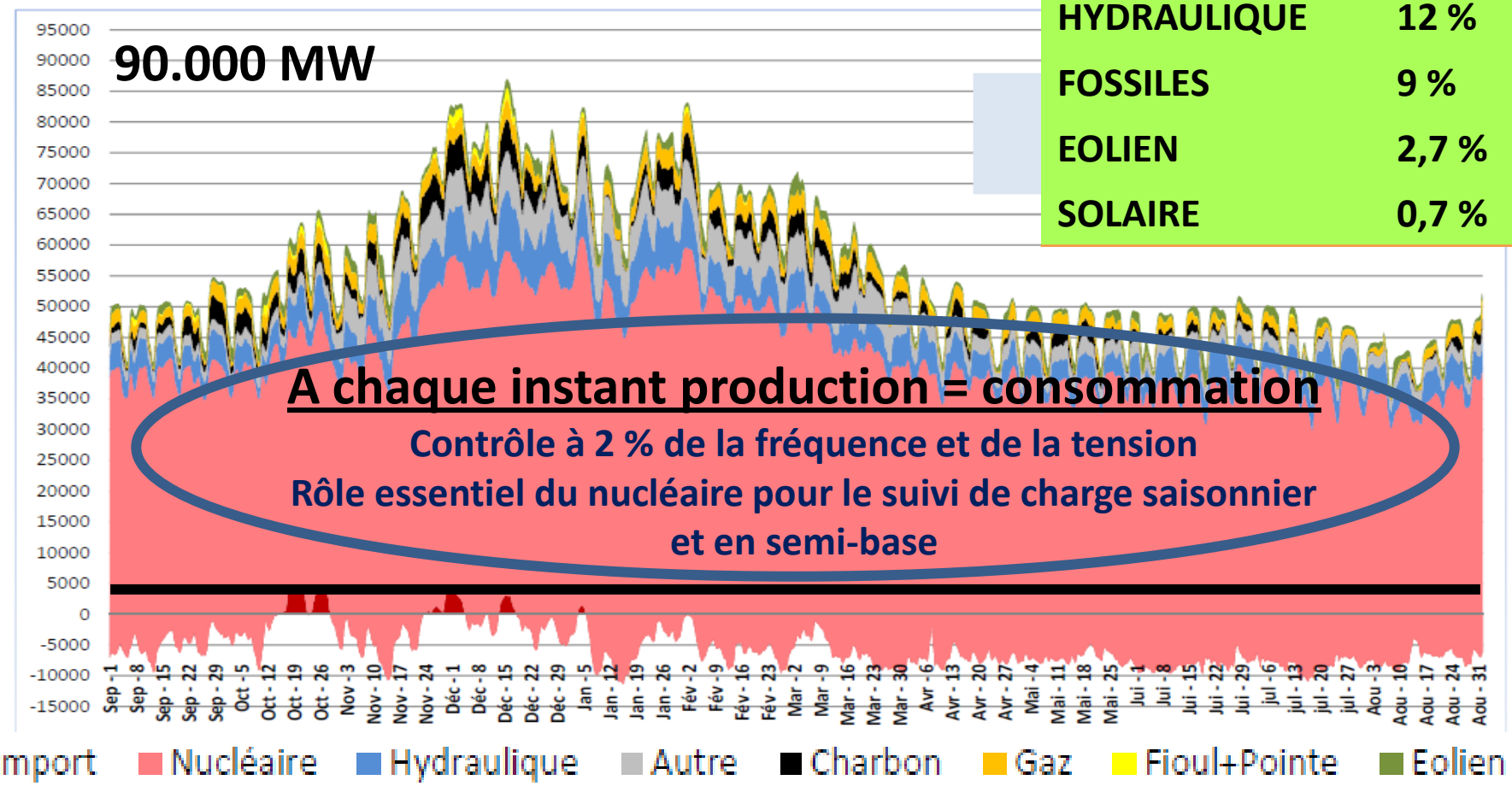
ELECTRICITE: UN ATOUT FRANCAIS

Maîtrise de la production: une haute technologie

Effets saisonnier et hebdomadaire

Septembre 2010 à août 2011 (moyennes journalières)

2012	
NUCLEAIRE	75%
HYDRAULIQUE	12 %
FOSSILES	9 %
EOLIEN	2,7 %
SOLAIRE	0,7 %

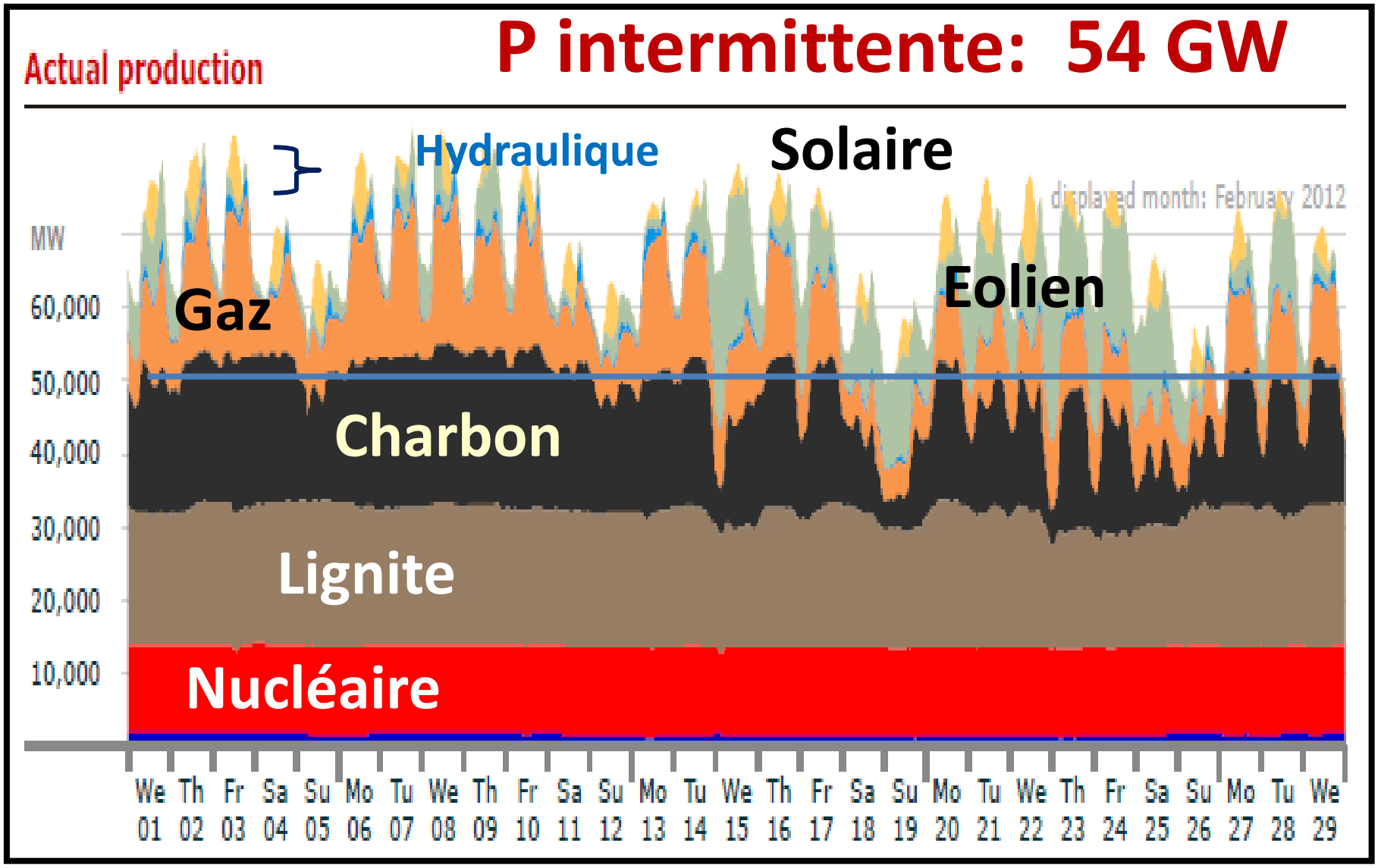


A chaque instant production = consommation

Contrôle à 2 % de la fréquence et de la tension

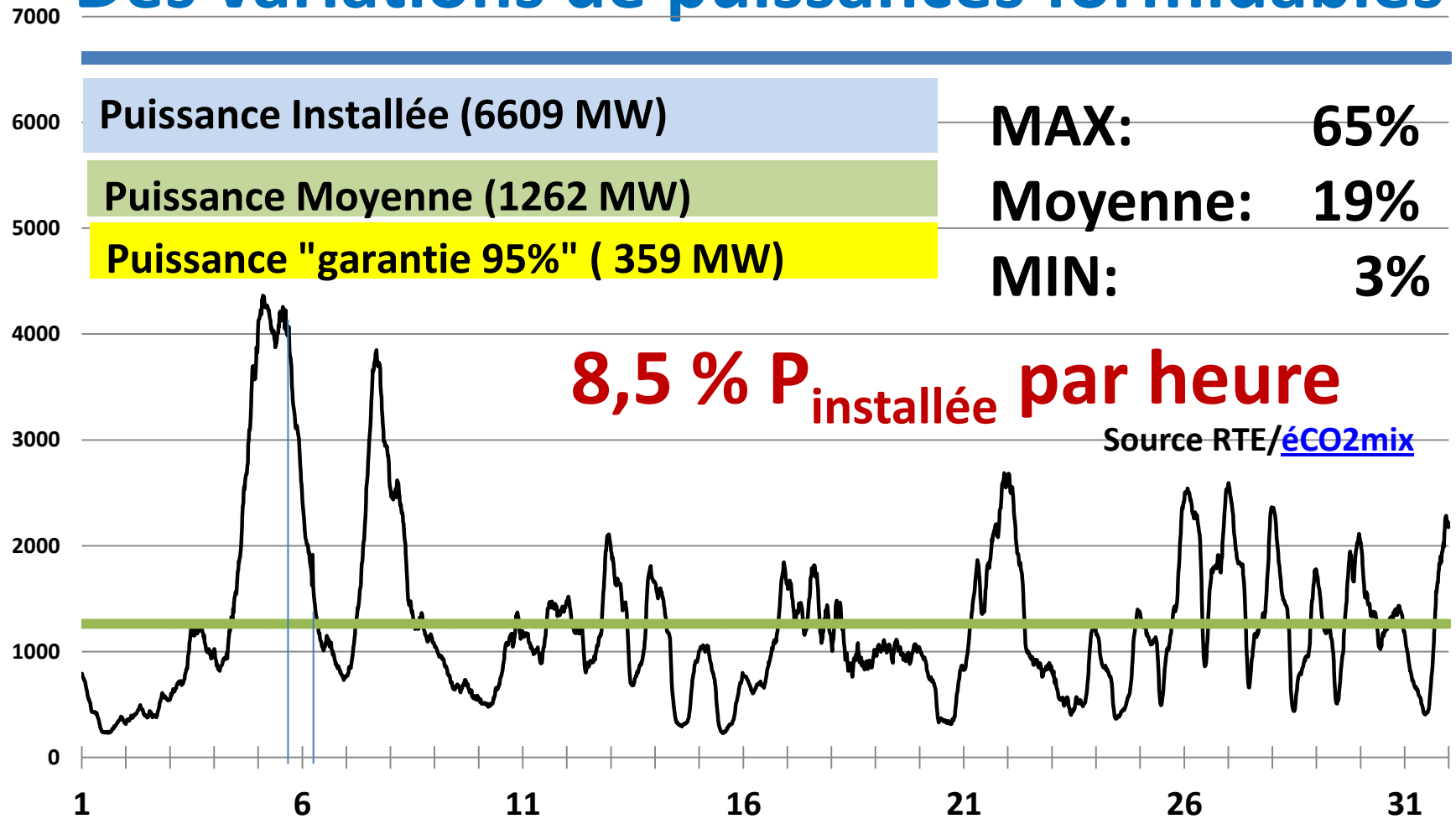
Rôle essentiel du nucléaire pour le suivi de charge saisonnier et en semi-base

ALLEMAGNE FEVRIER 2012



Eolien mars 2012/ Détail par ¼ h

Des variations de puissances formidables



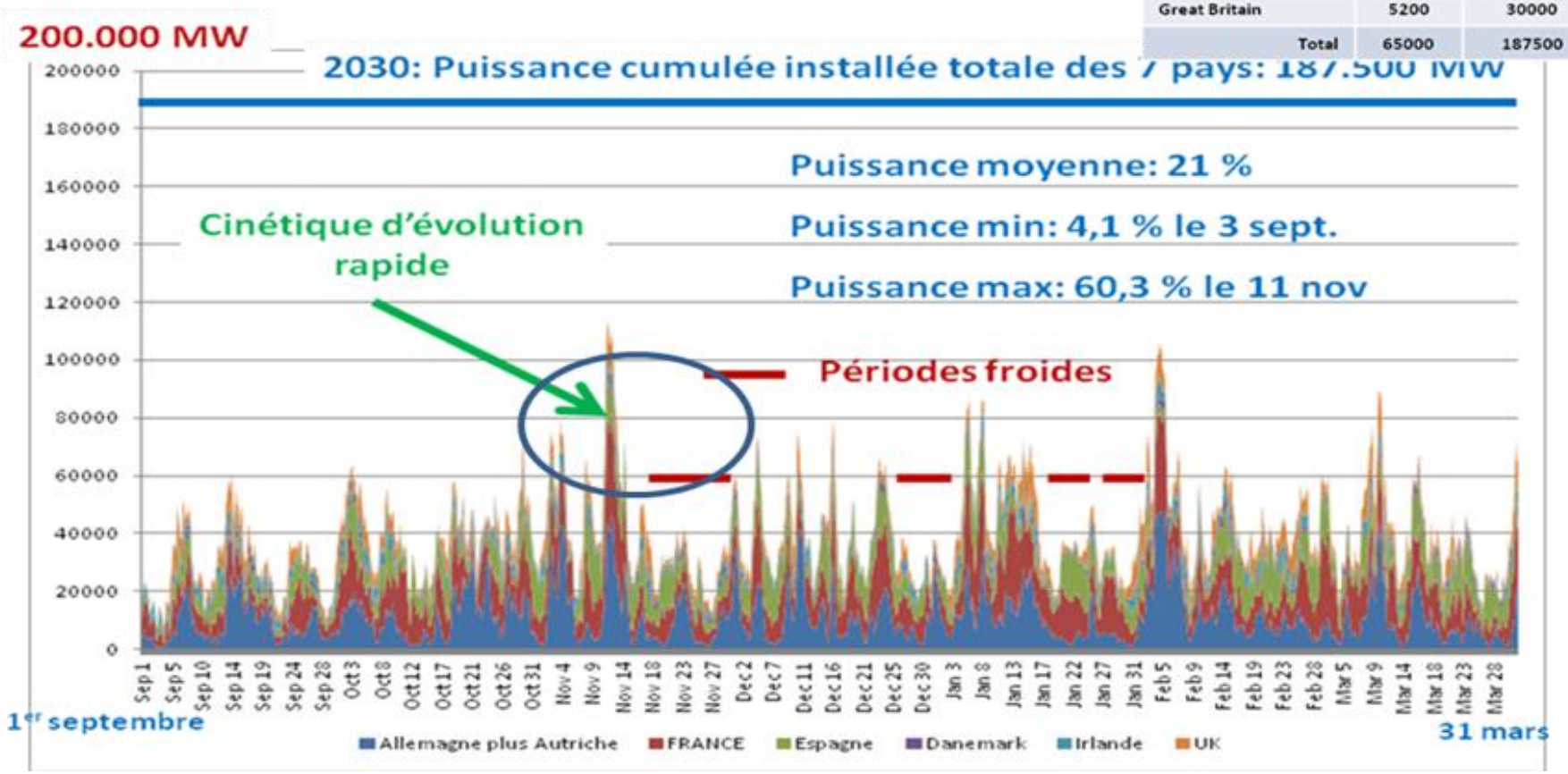
Aucune corrélation avec les besoins: elle est subie

Y a-t-il une solidarité des vents en Europe?

Production éolienne de 7 pays européens en 2030 pour 187000 MW installés (climat similaire à celui de 2010/2011)

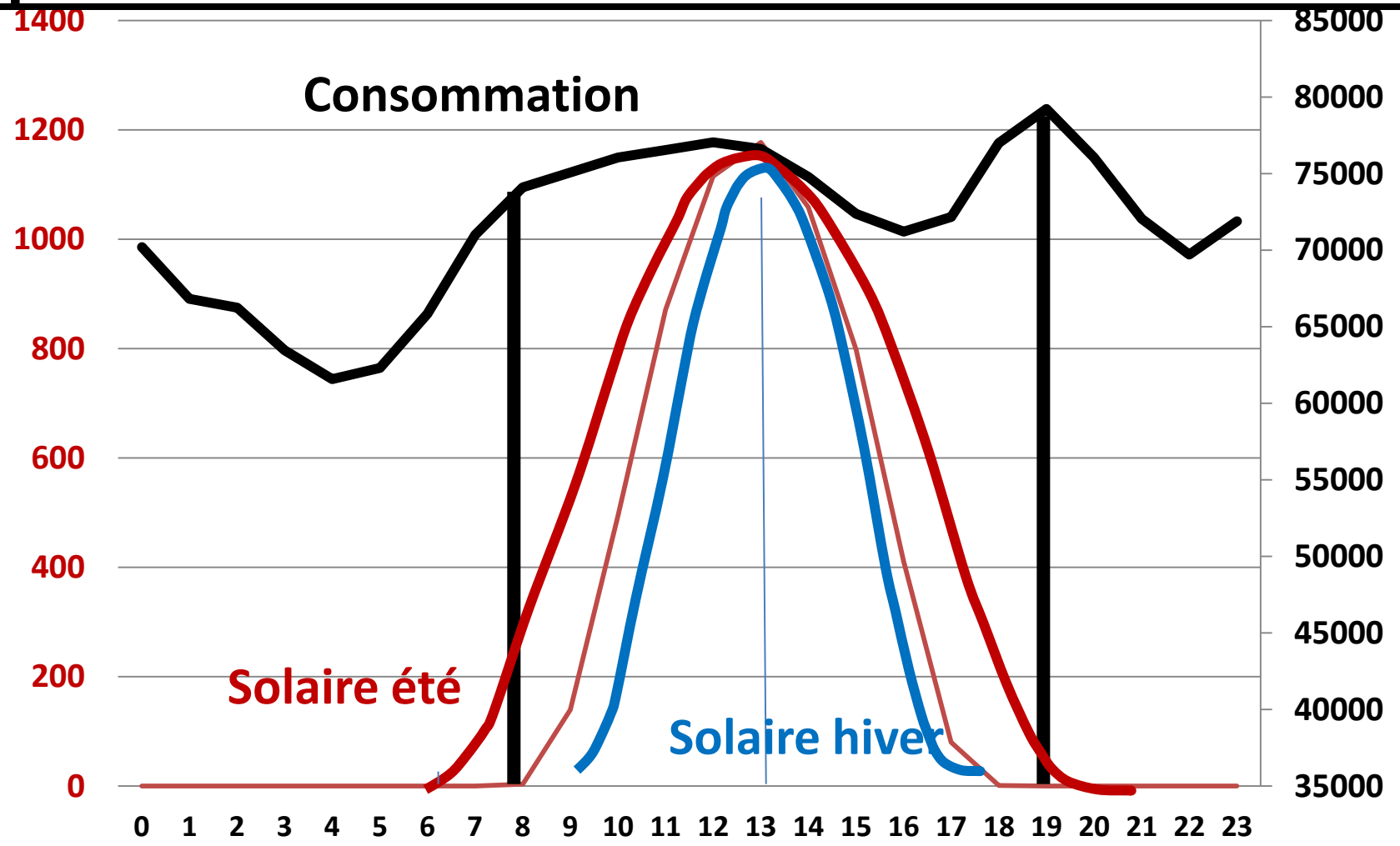
Hypothèse EnR fortes

MW	2010	2030 est.
France	5660	53000
Germany/Austria	28200	60000
Spain	20700	30000
Denmark	3800	4500
Ireland	1430	10000
Great Britain	5200	30000
Total	65000	187500



LE SOLAIRE: UNE PRESENCE TRES LIMITEE!

Et pas de corrélations avec consommation et éolien



15 % Pi par heure

Scénario 2030 ADEME

- **Consommation -18 % soit de 445 à 377 TWh**
- **Nucléaire 44% → 181 TWh**
- **Puissance nucléaire: 30 GW (actuel 63)**
- **Puissance intermittente: 79 GW**
- **Arrêt de tous les 900 MW soit 34 réacteurs**
- **Dont dans la vallée du Rhône: 4 Bugey + 4 Tricastin + 4 Cruas**

pour les remplacer→ 35.000 éoliennes de 2 MW

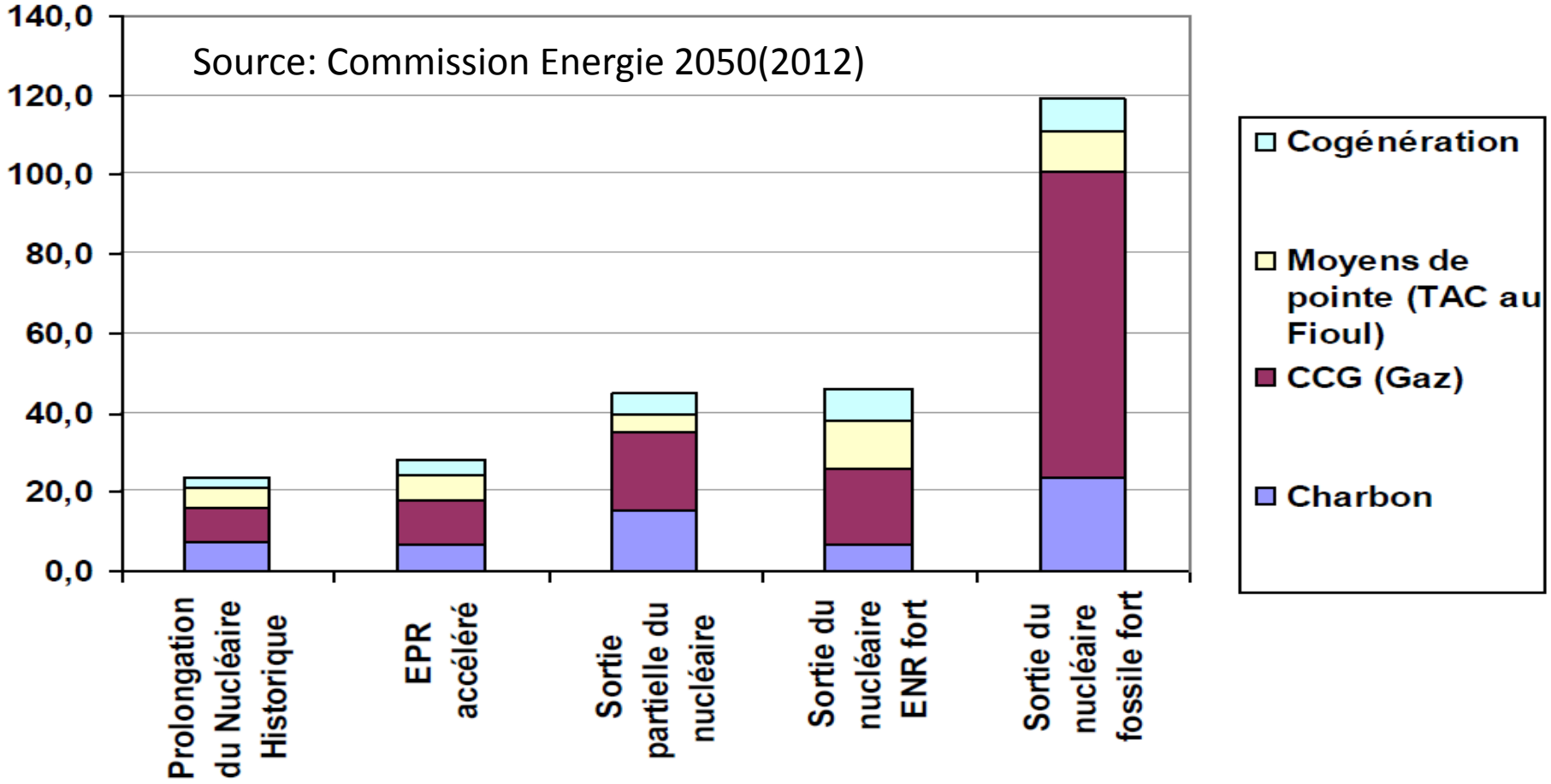
ARRET PREMATURE DE FESSENHEIM
La brutalité des accords électoraux

- **Sureté insuffisante: non**
- **Rentabilité insuffisante: non (EDF)**
- **Surproduction: non**
- **Impact sur les seuls comptes de EDF: *6 à 8 milliards***

2030/ 5 SCENARIOS

Emissions de CO2 dues à la production d'électricité en Mt par an (2011: 26 Mt)

Un retrait du nucléaire ne peut qu'augmenter les émissions



Coût de l'isolation d'un logement de 100 m^2 (indicatif)

- **Isolation murs extérieurs: 20 à 30 k€**
- **Isolation des combles: 5 à 15 k€**
- **Isolation planchers bas: 5 à 10 k€**

→ Coût moyen pour gagner un facteur 2 en consommation: de 30 à 40 k€

Rénovation du parc de logements français

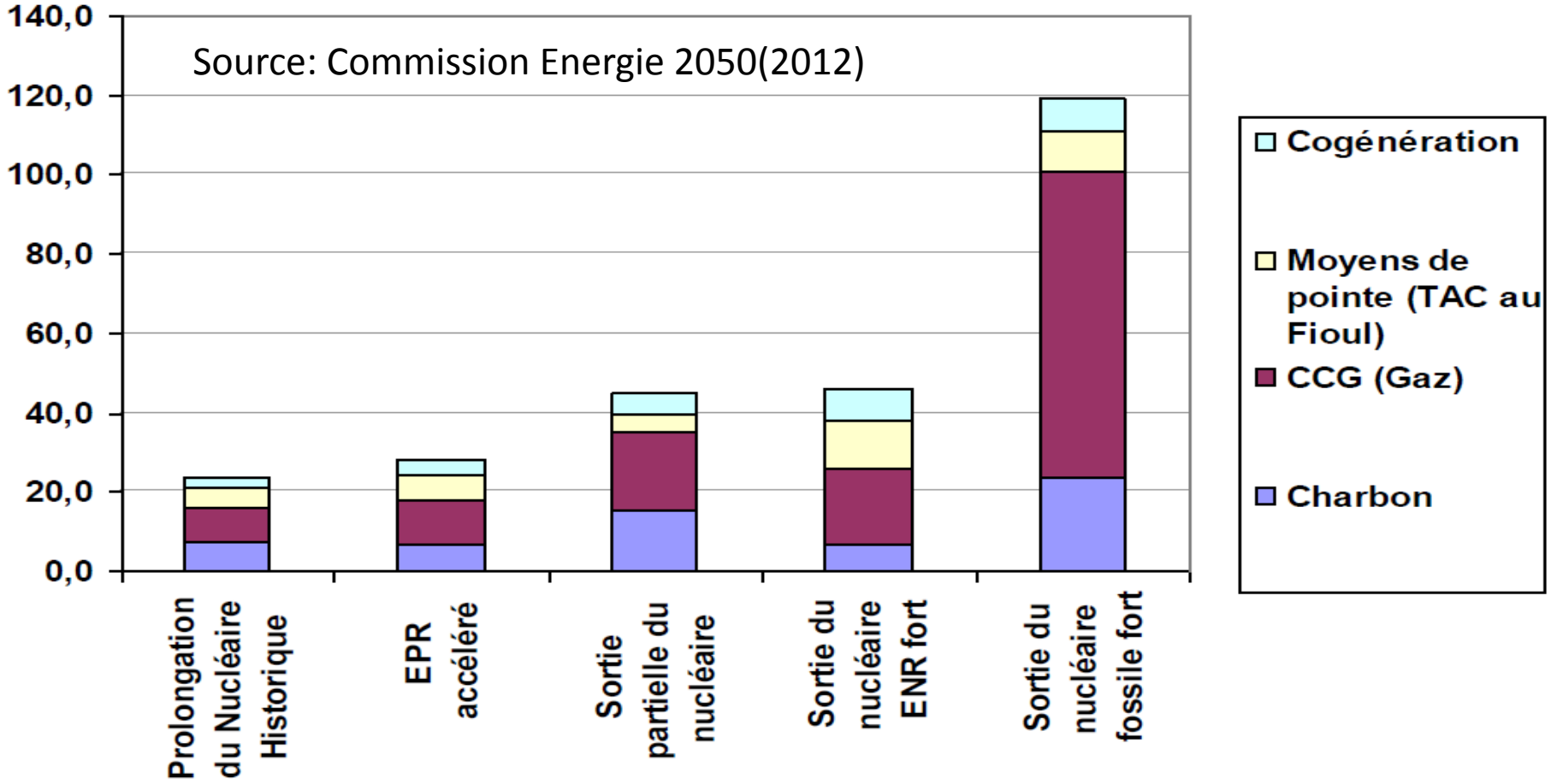
→ de 500 à 900 milliards €

→ Priorité à l'efficacité de l'investissement

2030/ 5 SCENARIOS

Emissions de CO2 dues à la production d'électricité en Mt par an (2011: 26 Mt)

Un retrait du nucléaire ne peut qu'augmenter les émissions



Coût de l'isolation d'un logement de 100 m^2 (indicatif)

- **Isolation murs extérieurs: 20 à 30 k€**
- **Isolation des combles: 5 à 15 k€**
- **Isolation planchers bas: 5 à 10 k€**

→ Coût moyen pour gagner un facteur 2 en consommation: de 30 à 40 k€

Rénovation du parc de logements français

→ de 500 à 900 milliards €

→ Priorité à l'efficacité de l'investissement

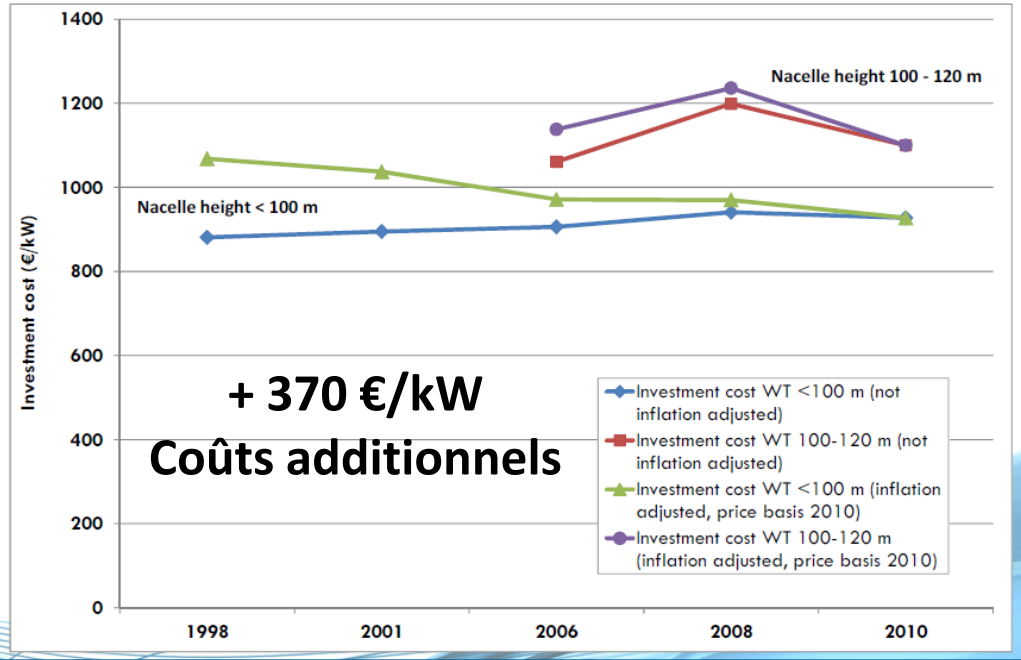
L'ALLEMAGNE: UN MODELE?

- **Health and Environmental Alliance (HEAL):**
  - **Coût en santé publique du charbon pour l'Europe: 15,5 à 43 milliards d'euros par an**
    - ***Pologne (8 mds €), l'Allemagne et la Roumanie (6 mds € chacune) totalisent la moitié de l'impact***
    - ***18 000 décès prématurés, 8 500 cas de bronchite chronique,***
    - ***4 millions de journées de travail perdues chaque année.***
- **Choix des Grünen: lignite/charbon/gaz plutôt que nucléaire**

Les coûts d'investissement de l'éolien vont-ils baisser???

Investment cost development (WT 2-2,9 MW)

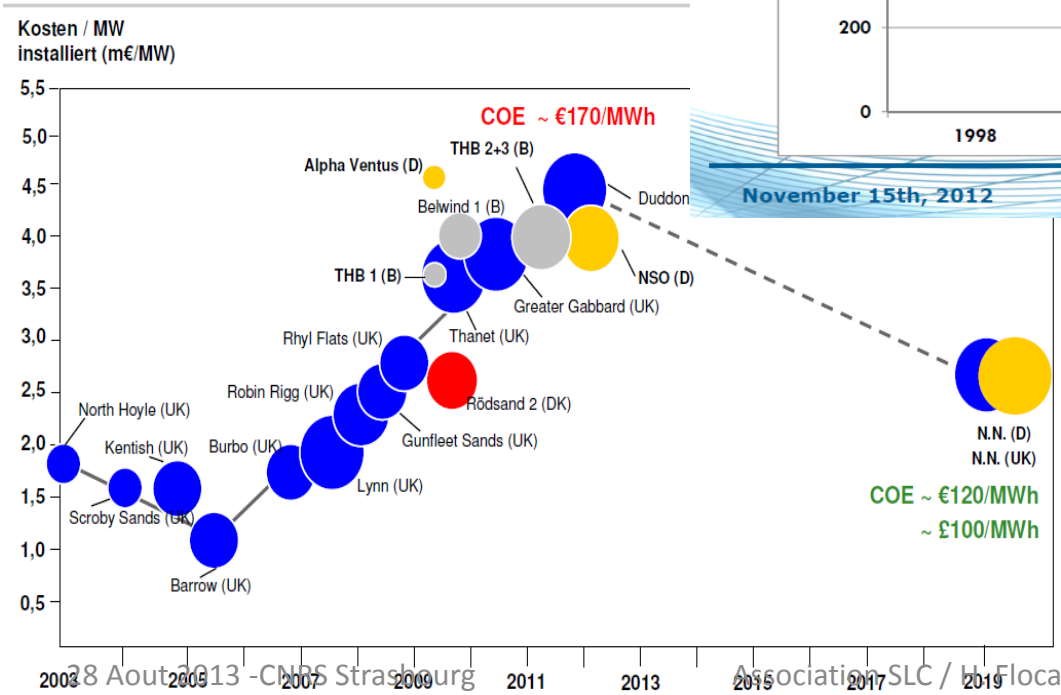
Deutsche WindGuard



+ 370 €/kW
Coûts additionnels

November 15th, 2012 8

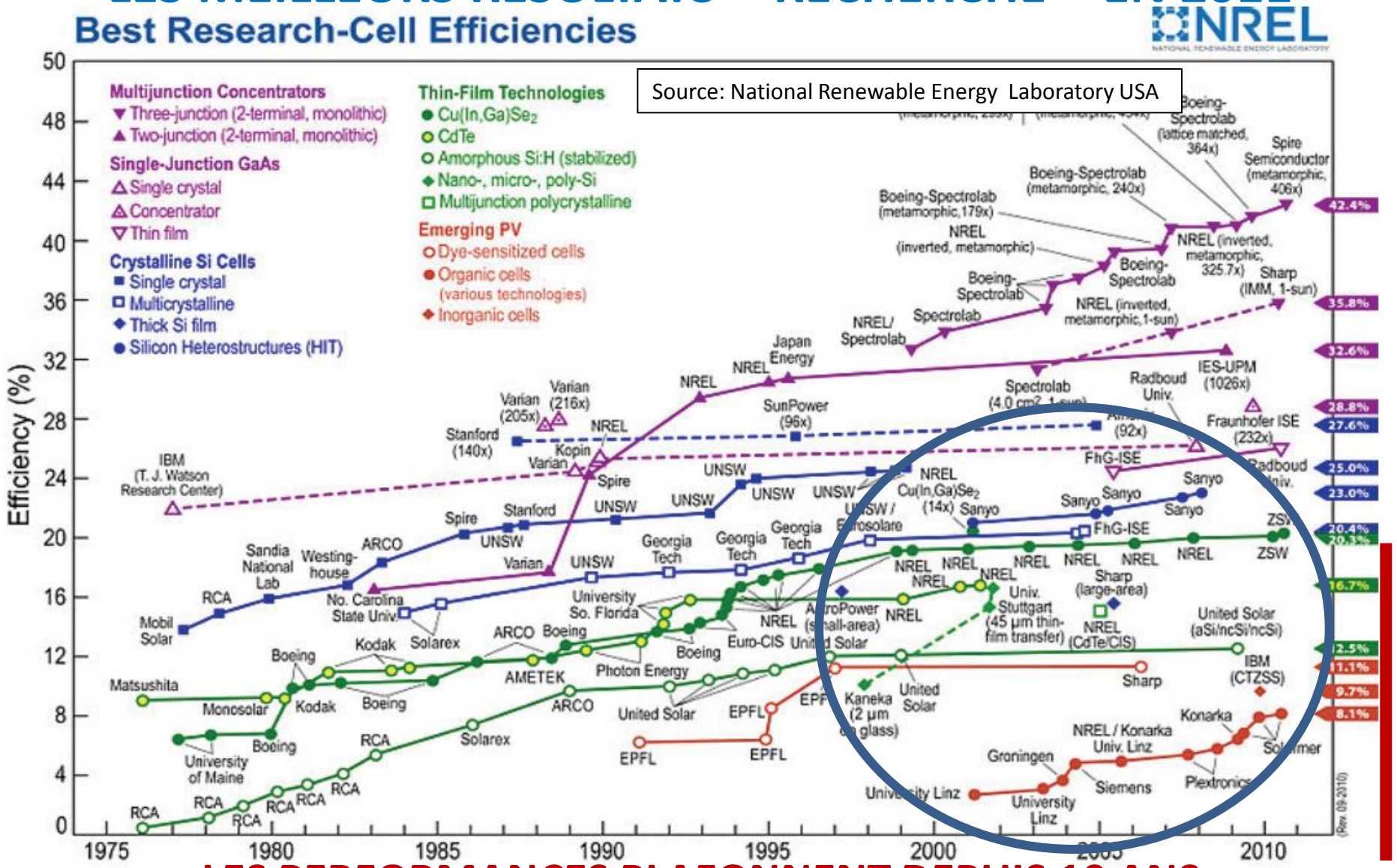
Challenge for all of us: Cost reduction



ONSHORE
Aucun gain depuis 10 ans

OFFSHORE
Une dérive continue : toujours plus couteux

LES MEILLEURS RESULTATS « RECHERCHE » EN 2011

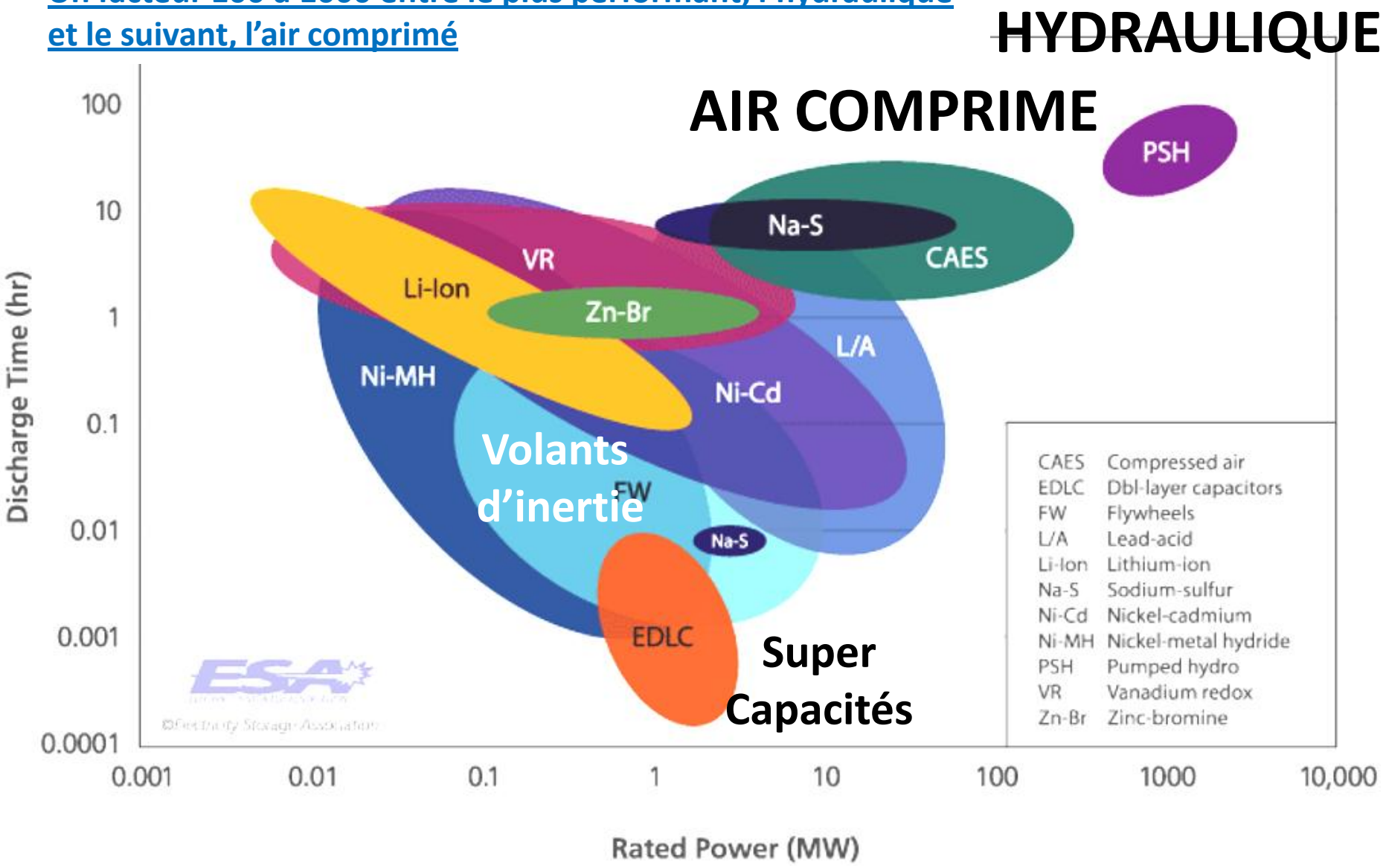


LES PERFORMANCES PLAFONNENT DEPUIS 10 ANS

BAISSE DU COUT DU SOLAIRE = MAIN D'ŒUVRE BON MARCHE

LES LIMITES DU STOCKAGE

Un facteur 100 à 1000 entre le plus performant, l'hydraulique et le suivant, l'air comprimé



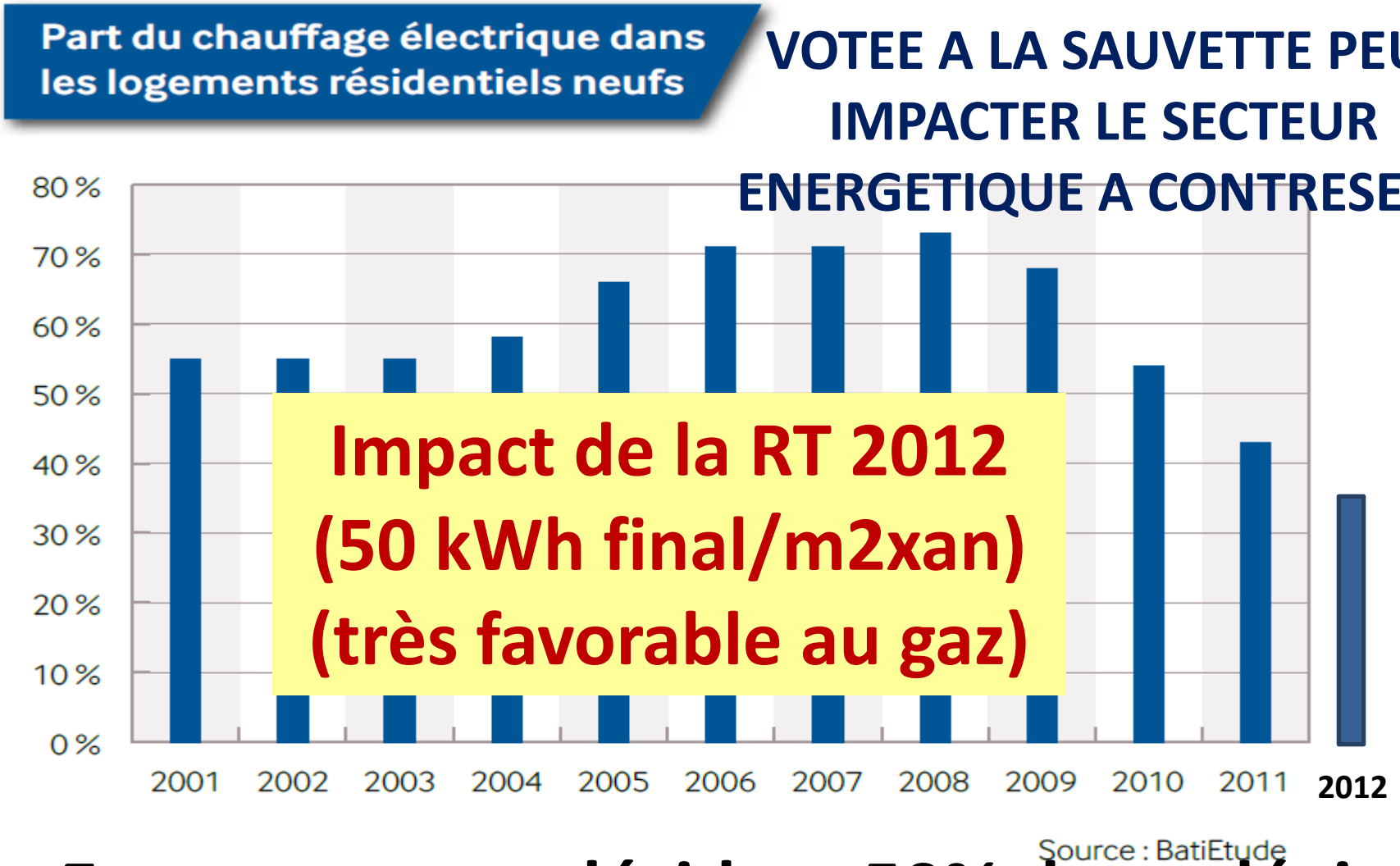
Modèle allemand: 40% EnR optimal

(Besoin 100GW max et 562 TWh)

	Puissance Installée GW		Production TWh	Facteur de charge %
Eolien onshore	184 GW 340 milliards	82	106	15 %
Eolien offshore		16	53	37 %
Solaire		84	66	10 %
Autre Enr		15	45	40 %
Fossile		86	293	45 %
Total		283	562	23 %
Part EnR %		70 %	40 %	
Part fossiles		30 %	52 %	
Stockage		35	3	

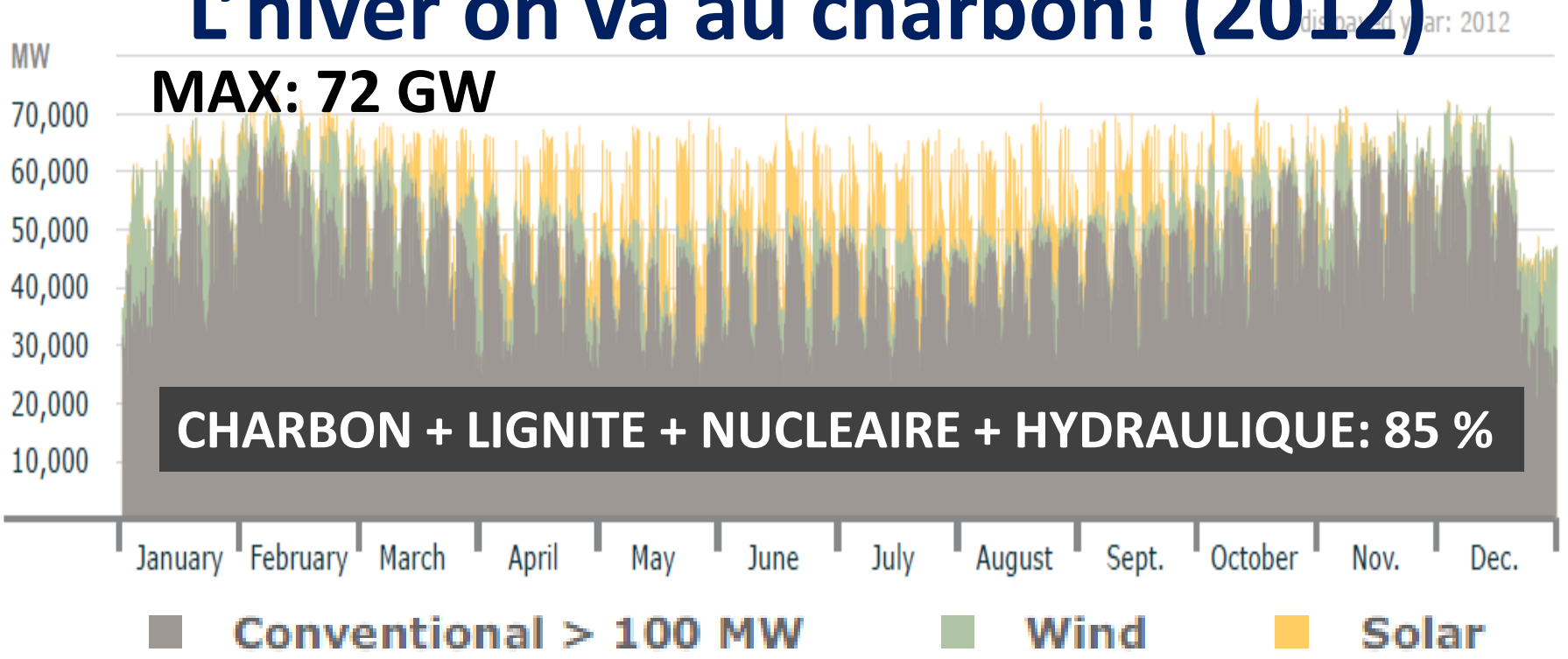
(Source: Max Planck Institute , sept. 2012 IPP 18/1)

COMMENT UNE REGLE TECHNIQUE VOTEE A LA SAUVETTE PEUT IMPACTER LE SECTEUR ENERGETIQUE A CONTRESENS



Et comment se décident 50% de nucléaire et l'arrêt de Fessenheim!

Production d'électricité en Allemagne
L'hiver on va au charbon! (2012)



Peter Altmaier, ministre allemand environnement

La transition vers les énergies renouvelables pourraient coûter 1000 G€ d'ici fin 2030".

Coût de la transition énergétique (40.000 €/famille)
(Union française de l'électricité)

- **Au total 422 milliards € d'investissements d'ici 2025/2030**
  - **262 milliards € dans la production (éolien, solaire et gaz)**
  - **50 milliards € dans le réseau de transport HT**
  - **50 milliards € dans les réseaux de distribution.**
- **170 milliards € à investir dans l'efficacité énergétique**
- **L'impact sur le coût de l'électricité est évalué entre 60 et 80 €/MWh**
- **Et 30 réacteurs arrêtés d'ici 2030 avec impact considérable sur les comptes d'EDF selon l'ADEME)**

Electricité: prix mensuel moyen de production en France

	Prix moyen Mensuel (€ par MWh)
2011	51,8
PREVISION 2020*	82

COMBUSTIBLE (€/MWh)

- NUCLEAIRE: 6
- CHARBON: 23
- GAZ: 45

PRIX D'ACHAT OBLIGÉ

- Eolien 88
- Eolien marin 230
- Solaire de 160 à 300

*Source: CRE

Exemples d'opération rentables ou assez proches rentabilité qu'il vaudrait mieux encourager (voir étude UFE*)

- **Isolation toitures (immeubles) toutes énergies**
- **Chauffage au fuel:**
  - **Chaudières gaz à condensation: Rentable**
  - **PAC Air/Air: rentable**
- **Chauffage par convecteurs:**
  - **PAC air/air: raisonnablement rentable**
- **Chauffage au gaz :**
  - **Isolation extérieures: rentable**
  - **Chaudières gaz à condensation (si renouvellement)**

***: Union Française de l'électricité**

L'électricité : un miracle permanent !

Proposition 1

On se sait pas, ou plutôt on sait mal, stocker l'électricité.

Proposition 2

On ne sait que mal transporter l'électricité à grande distance.

Théorème de l'usage social de l'énergie électrique

Consommation (x,t) = Production (x,t)

Cette égalité conditionne la bonne gestion du système électrique.

Celui-ci se tient toujours prêt à réagir INSTANTANEMENT à votre décision ALEATOIRE de démarrer,d'arrêter machine à laver, lampes …

Observation 1

Entre l'été et l'hiver la consommation varie d'un facteur deux à trois.

Observation 2

Les fluctuations journalières de la consommation sont constantes.

Conséquences 1 du « théorème »

Il faut à tout instant contrôler la production et/ou la consommation.

Conséquence 2 du théorème

Les surcapacités de production sont nécessaires.

Q:D'où provient l'électricité ? R:De la prise, bien sûr ! C'est un peu plus compliqué que cela !

1) Source d'électricité « dispatchable »

fossile (charbon, gaz, fioul) nucléaire, barrages réservoir, tout dispositif de stockage.

2) Source d'électricité « en principe » dispatchable

biomasse, déchets, hydraulique fil de l'eau.

3) Source d'électricité « fatale » régulière

hydraulique fil de l'eau (bis), marées, …

Dans l'égalité C(x,t)=P(x,t) ,
ces trois sources n'introduisent presque pas de terme aléatoire.
Seule la première source peut permettre de contrôler l'égalité.

4) Source d'électricité fatale intermittente :

éolien, solaire photovoltaïque, vagues ...

Ces sources intermittentes sont celles de notre avenir électrique selon nos gouvernements et la plupart des ONG (jusqu'à 100%).
Dans l'égalité C(x,t)= P(x,t),
elles introduisent un nouveau terme aléatoire à P(x,t) rendant plus difficile d'assurer l'égalité.

Organisation du système électrique Français

L'organisation passéiste simpliste des ingénieurs

EDF

- **Production**
- **Transport**
- **Distribution**

Organisme national

(pas de concurrence)

Consommateurs

Un présent et futur dynamiques organisés par les politiques

s'appuyant sur les principes de l'économie de marché :

- **Plus il y a de concurrence, "meilleur" c'est.**
- **Il faut déréguler autant que possible.**

Institution de contrôle
CRE
vérifie
"l'impartialité" de RTE

Production distribuée
+
Energies renouvelables
Subventionné – achat et injection forcés
(Eolien – Solaire PV + …)

L'autoconsommation des ENR est en France quasi inexistante !

Niveau grande **production**
(concurrence)
EDF
GDF, E.ON, Direct Energie, …

Niveau **transport**
V> 63 kV
(monopole)
RTE responsable de l'équilipre C(t)=P(t)

Niveau **distribution**
(concurrence)
ERDF 95%, ELD 5%

Consommateurs

Egalité C=P ; le passé récent, le présent, le futur proche

Coté C(x,t)

Croissance 1% par an ; plus pour la pointe hivernale ; consommation nuc. baisse de 2 GW

Coté P(x,t)

Dispatchable : rien depuis 2000 ; 2016 Flamanville + 1,6 GW ; Fessenheim -1,8 GW

Fatale intermittente : de 2000 à 2012: éolien + 7,2 GW; solaire +4 GW

Grenelle pour 2020 éolien + 17,8 GW solaire +1,4 GW ; Gvt actuel veut plus.

En 2012

Production des dispatchables	**91,42 %**
Production des « en principe » dispatchables et fatales prévisibles :	**5,90 %**
Production des fatales intermittentes : solaire (?) éolien	**2,68 %**
Export	**8,49 %**

En 2012

Les 63 GW de nucléaire ont produit 76,38 %,

Les 4 GW de solaire ont produit moins de 0,5 % [0,5 x(63/4) = 7,88 %]

Les 7,2 GW d'éolien ont produit 2,68 % [2,68 x(63/7,2) = 23,45 %]

Dans notre système électrique actuel, les dispatchables doivent ajuster voire arrêter leur production bon marché et dans P(x,t) donnent la priorité aux fatales intermittentes plus chères.

Il y a « puissance » et « puissance » !

Pi = P installée puissance nominale (maximale) de l'installation,

Pm = P moyenne (sur une période donnée : jour, mois, année). Pm<Pi,

Pg(X) = Puissance garantie à X % du temps (X= 90, 95, 99).

Celle sur laquelle on peut compter sauf peut-être pour (1-X) % du temps pour lequel il devra trouver des moyens de compensation. Si X>50, Pg(X)<Pm

Référence : garantie contractuelle de livraison de RTE en moyenne : X =99,97
défaut de livraison de courant inférieur à 3h par an (France continentale).

Solaire en France : Pg(X)=0, quelque soit Pi, dès que X dépasse 60.

Rien n'est produit la nuit alors que même en été, la nuit, la consommation n'est pas nulle.

Eolien en France : Pg(95) est inférieur ou égal à 0,1 x Pi et ~ 0,4 x Pm

Déc. 2012, Pg(95)=0,11xPi ; Nov.2012, Pg(95) =0,06xPi ; Oct.2012, Pg(95)= 0,07 xPi

Conclusion pour la France

Pour un besoin de consommation de 1000 MW et une production garantie à 95 % on peut construire

1) des centrales dispatchables pour 1000 MW,

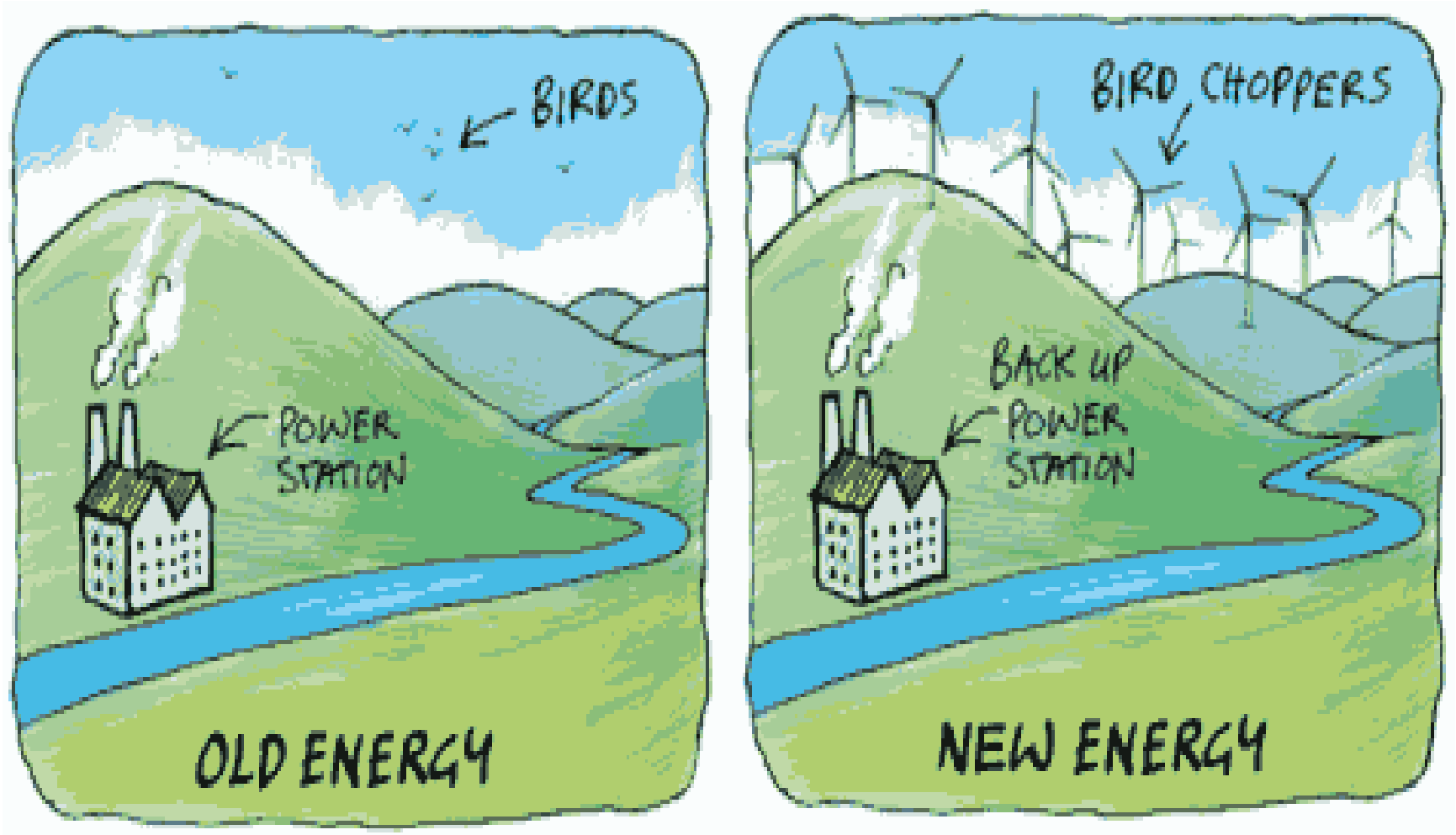
2) 1000 MW d'éolien et 900 MW de centrales dispatchables,

3) 10 000 MW d'éolien.

Dans les deux derniers cas, il faut aussi prévoir aussi des centrales dispatchables pour gérer les 5%.

Energie fatales intermittentes

Une vue humoristique de la production électrique éolienne



Toutefois, ce dessin néglige un point très important : plutôt que d'évoquer en premier l'atteinte aux paysages et à l'avifaune, il aurait dû d'abord mentionner la nécessité de mettre en place une nouvelle – et onéreuse- politique de renforcement des réseaux :

Nouvelles lignes HT, gestion de la BT pour le solaire, contrôle de la fréquence.

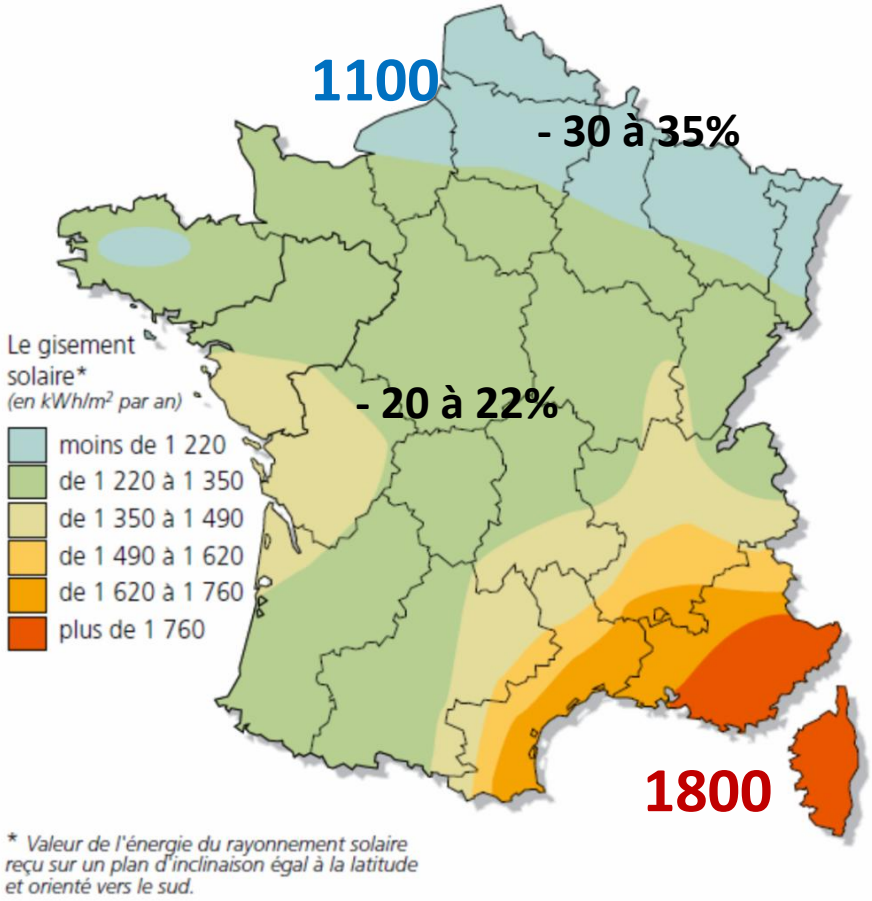
Solaire – Données globales

- Pi ~ 4 GW (continental France) 30/09/12 **Croissance forte (> 1 GW pa an).**
- **Même sans incitation nouvelle du gouvernement, les objectifs du Grenelle seront dépassés .**

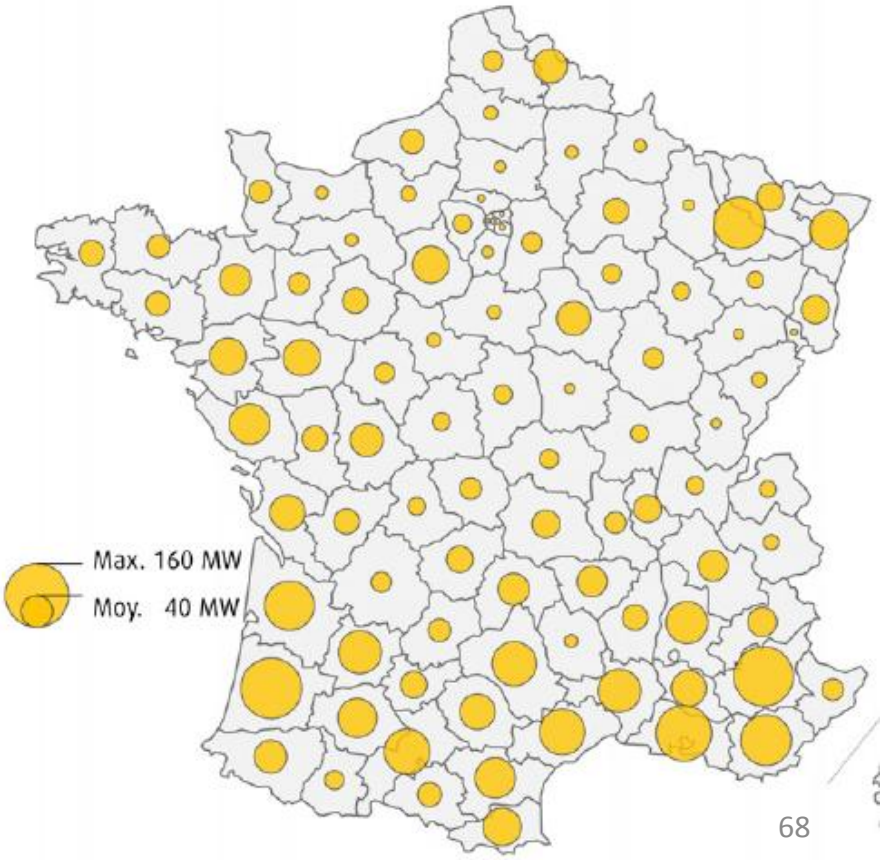
L'implantation ne souffre pas d'effet NIMBY et suit plus ou moins bien la carte de gisement.

Toutefois, les terres peu fertiles sont aussi « exploitées » : Landes, Pays de Loire, Lorraine.

Gisement solaire (unité kWh/m2/an)**



implantation solaire 30/09/2012

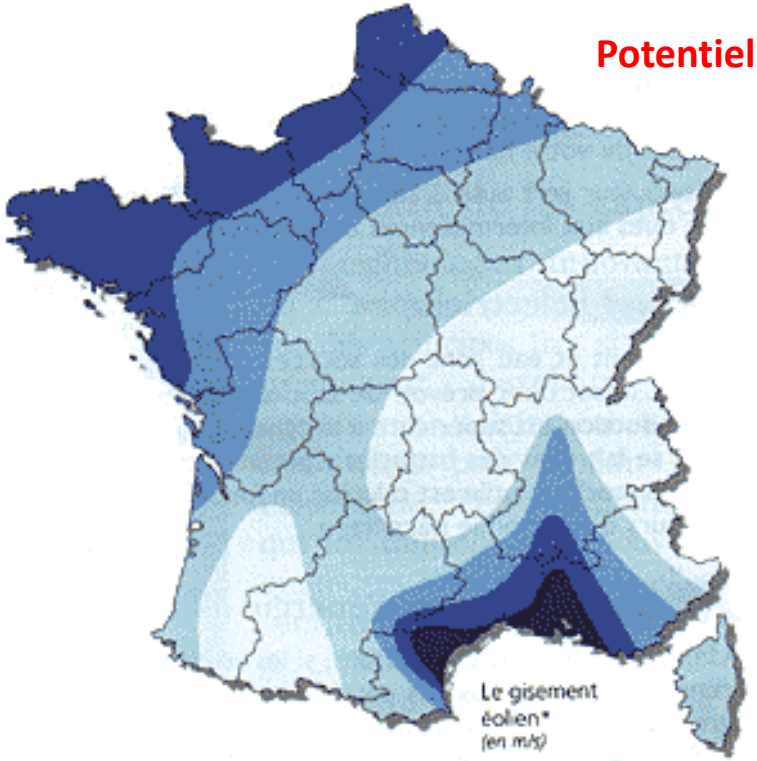


Eolien – Données globales

- Pi ~ 7,2 GW (France continentale) 31 Janvier 2013. croissance mais ralentie (0,75 GW 2012) :

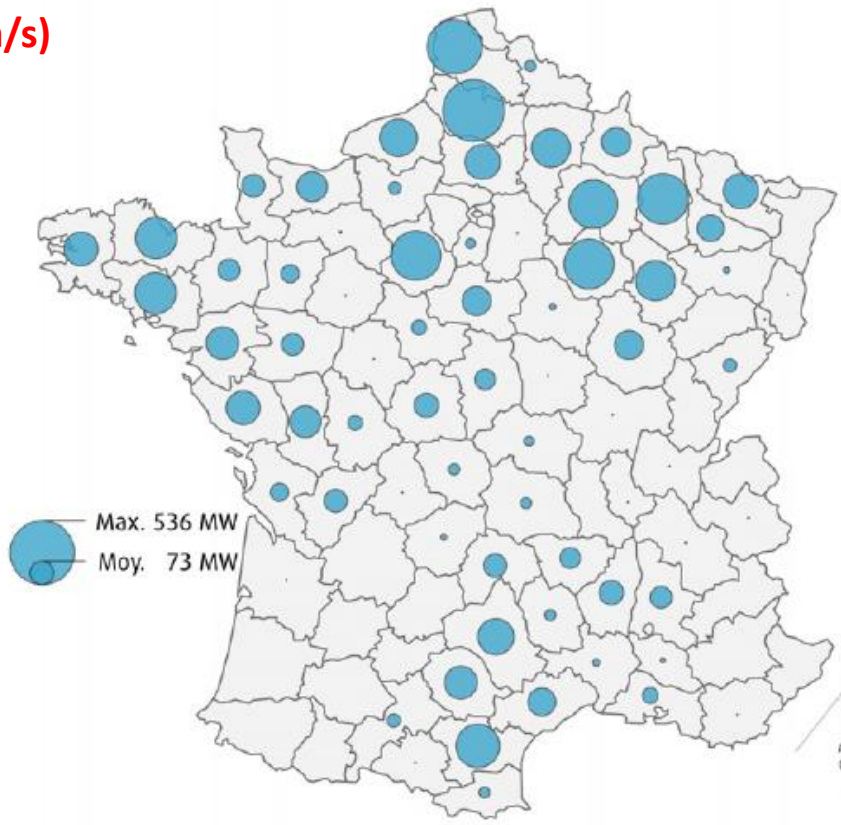
L'implantation géographique n'est pas vraiment en relation avec le potentiel de vent, mais plutôt avec un effet NIMBY faible et des considérations économiques locales grandes propriétés agricoles (Beauce, Picardie) ou région pauvre (Champagne Ardennes).

Potentiel vent (vitesse m/s)



Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes**, collines	
<3,5	<4,5	<5,0	<5,5	<7,0	Zone 1
3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5	Zone 2
4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10,0	Zone 3
5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10,0 - 11,5	Zone 4
>6,0	>7,5	>8,5	>9,0	>11,5	Zone 5

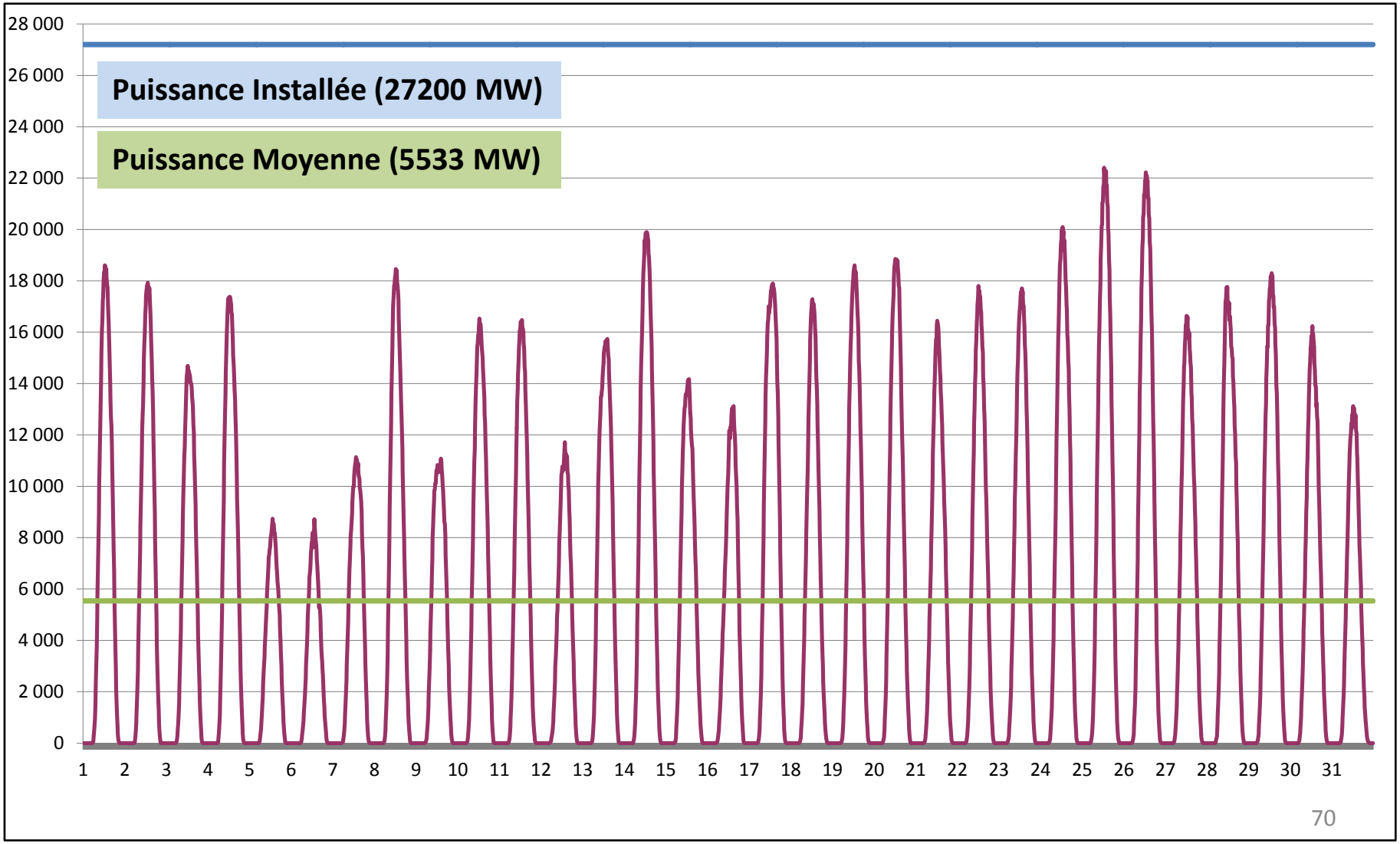
* Vitesse du vent à 50 mètres au-dessus du sol en fonction de la topographie
** Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique



implantation éolienne 30/09/2012

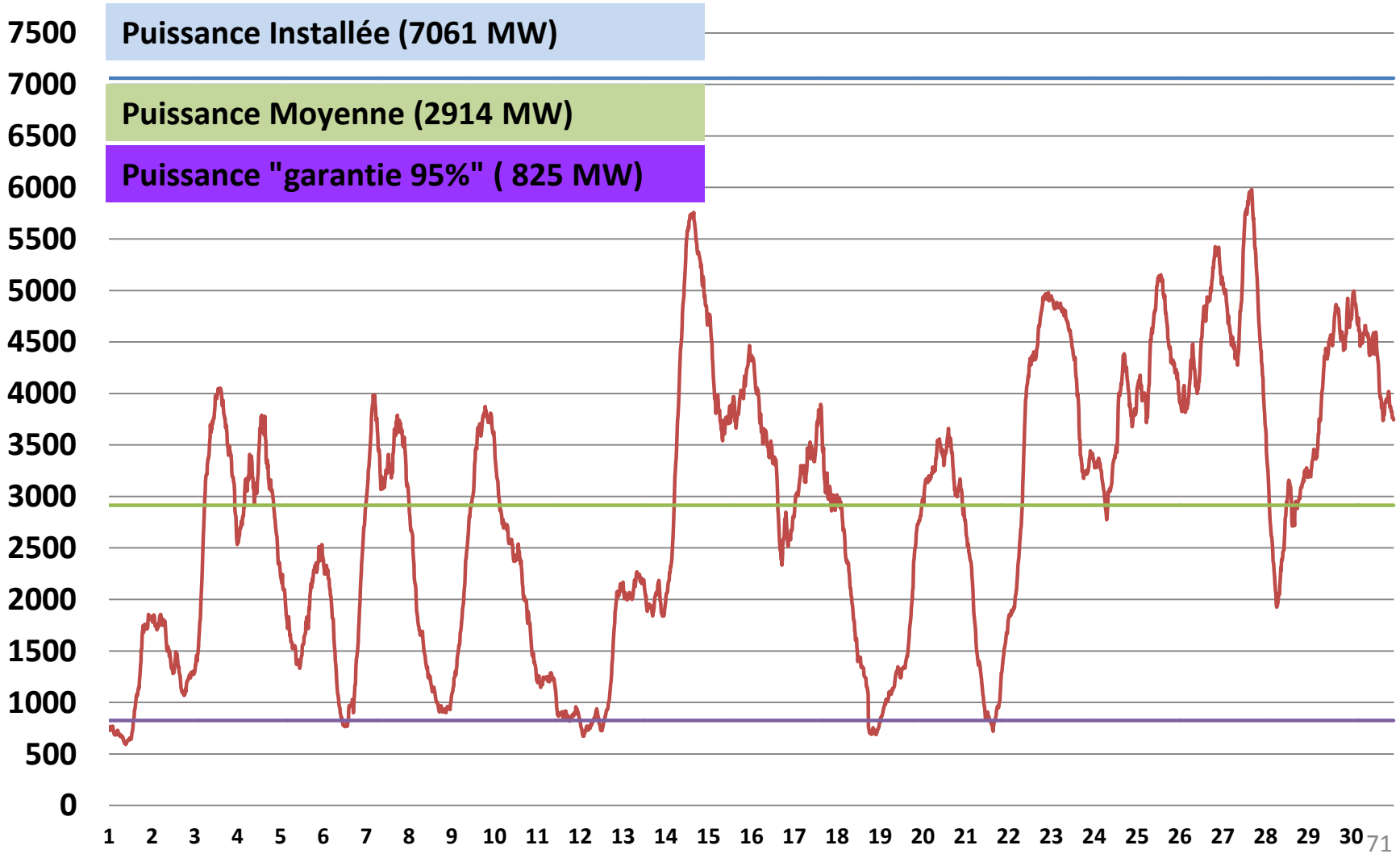
Solaire (D) – Le mois des records : Mai 2012

Sur ce mois l'efficacité du parc solaire allemand a été de 20 %.
Pendant ¼ h l'efficacité à son pic atteint 80 % .
L'efficacité la plus basse au pic de midi solaire a été de 30 %, la veille elle était de 65 %.



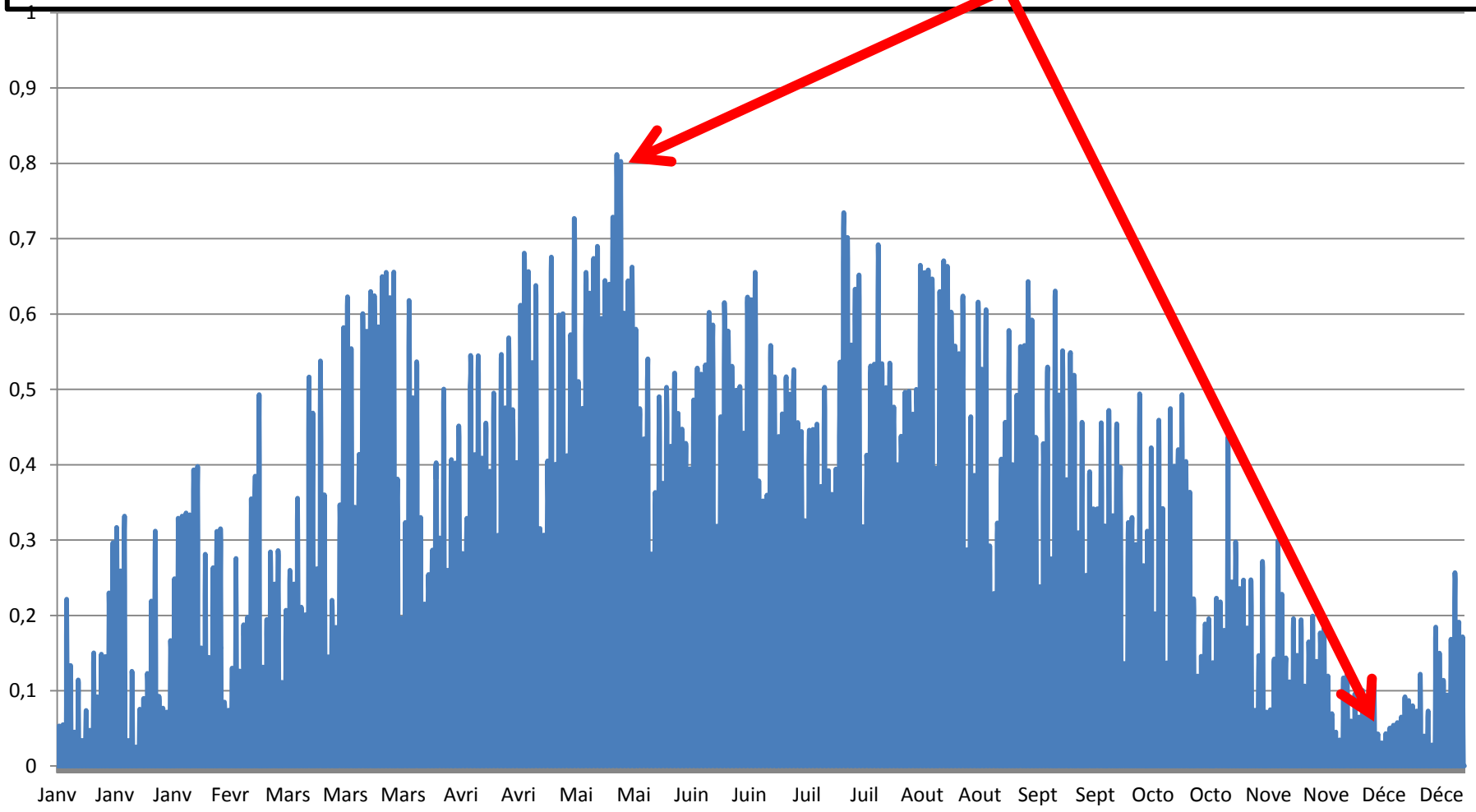
Eolien (F) – Le mois des records : Décembre 2012

Sur ce mois l'efficacité du parc éolien français a été de 41 %.
Pendant 1/4h l'efficacité a atteint 86 % et sur les deux jours les plus productifs 67 %.
Le minimum d'efficacité a été 8,3 % et sur les deux jours les moins productifs 15 %.



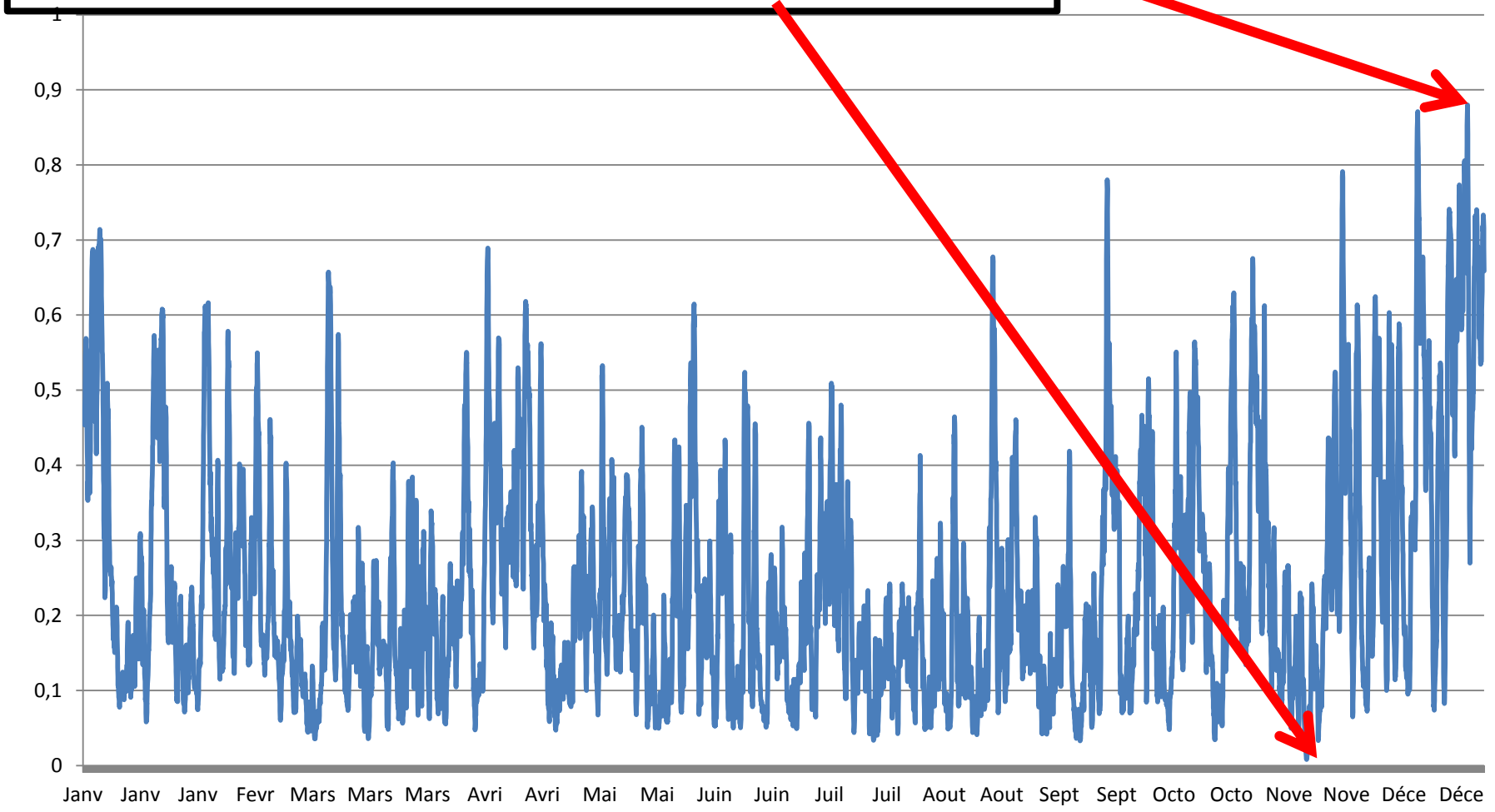
Solaire (Allemagne) – L'année 2012

L'efficacité moyenne sur l'année a été de **11 %.**
L'efficacité moyenne journalière a varié de 0,5 % à 29 %.
L'efficacité au pic journalier (midi heure solaire) a varié de **2,5 %** à **81 %.**
Sans surprise, le solaire est très peu efficace en hiver (mois de fort besoin électrique)

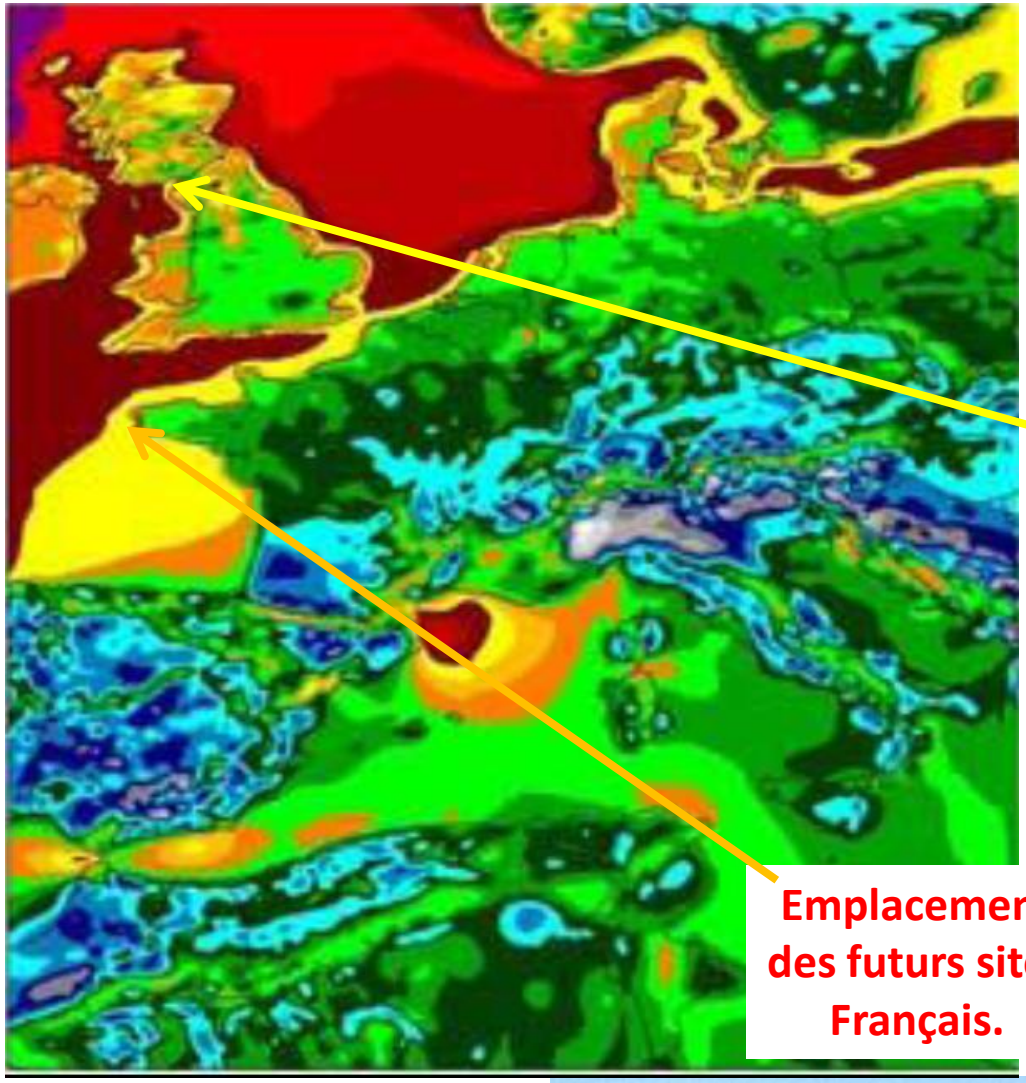


Eolien (France) – L'année 2012

L'efficacité moyenne sur l'année a été de **24 %** (22 % en 2011).
L'efficacité moyenne journalière a varié de 2,7 % à 79 %.
L'efficacité maximum journalière a varié de 8,8 % à **86 %.**
L'efficacité minimum journalière a varié de **0,8 %** à 58 %.



«En mer, le vent serait plus régulier ?» (données Robin Rigg)



Emplacement des futurs sites Français.

Carte d'Europe des vitesses de vent à 80 m de hauteur. (Vestas)

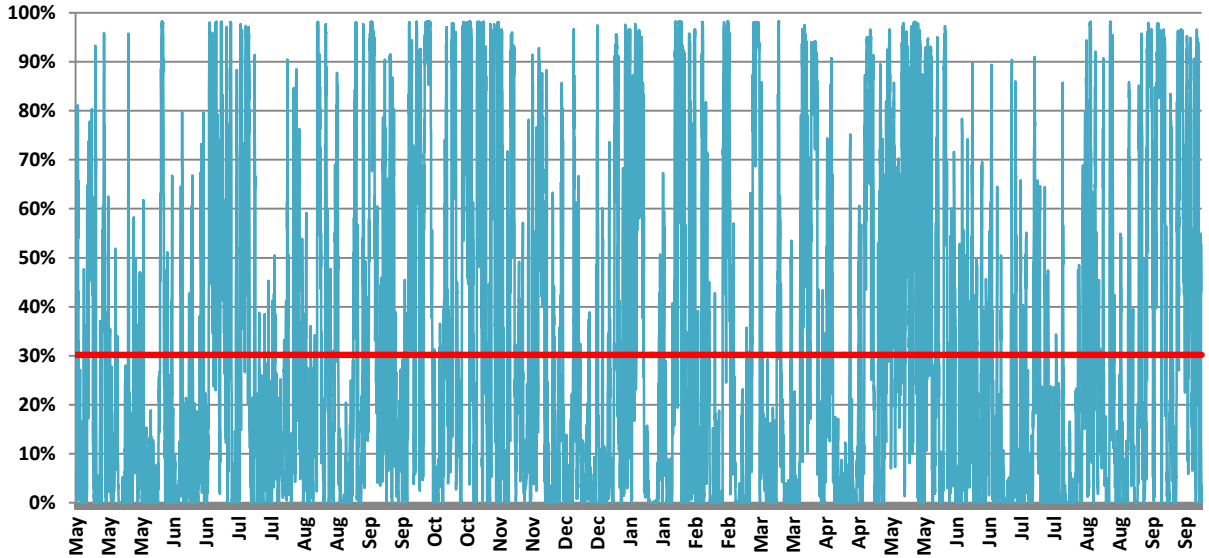
Le parc offshore Robin Rigg

180 MWc; turbines Vestas 3MWc
Opérateur E.ON Renewables
Mise en service Avril 2010.
Analyse de 17 mois de production.

Emplacement de Robin Rigg

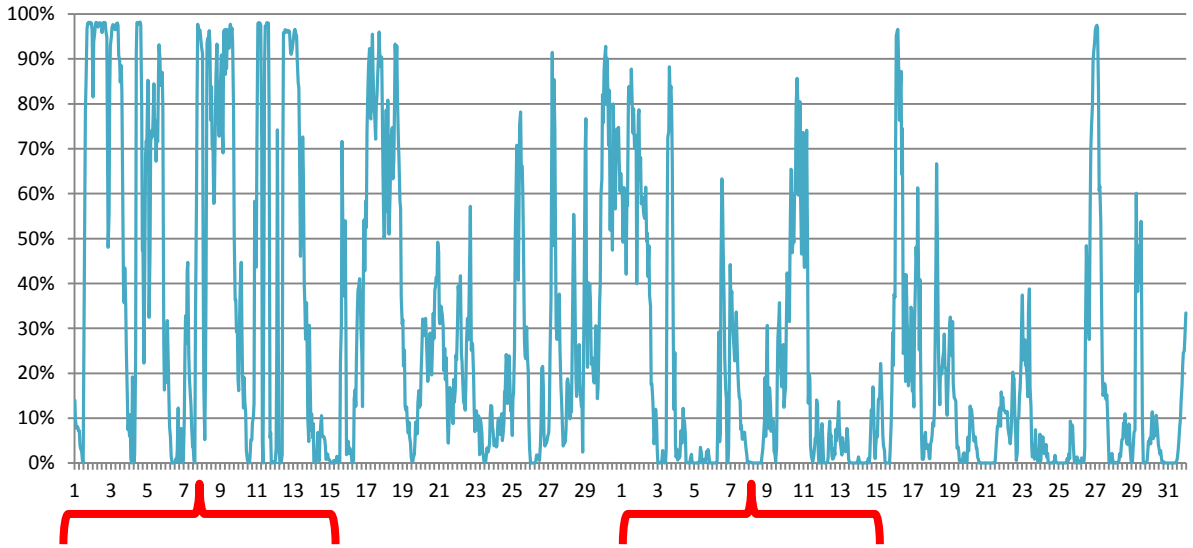
Vue d'ensemble du parc Robin Rigg

«En mer, le vent serait plus régulier ?» (Efficacité Robin Rigg)



Données horaires 17 mois
Mai 2010-Sept 2011.
Efficacité moyenne 30 %.

A cause de sa compacité géographique, le parc de 180 MW se comporte presque comme une seule éolienne de 180 MW.



La France prévoit des parcs offshore jusqu'à 750 MW.

Agrandissement Novembre Décembre 2010

1ère moitié Novembre Record de production éolienne France.

1ère Moitié Décembre. Vague de froid exceptionnelle sur l'Europe ; cœur de la vague de froid 13/12/2010 Record de consommation en France battu : 97 GW.

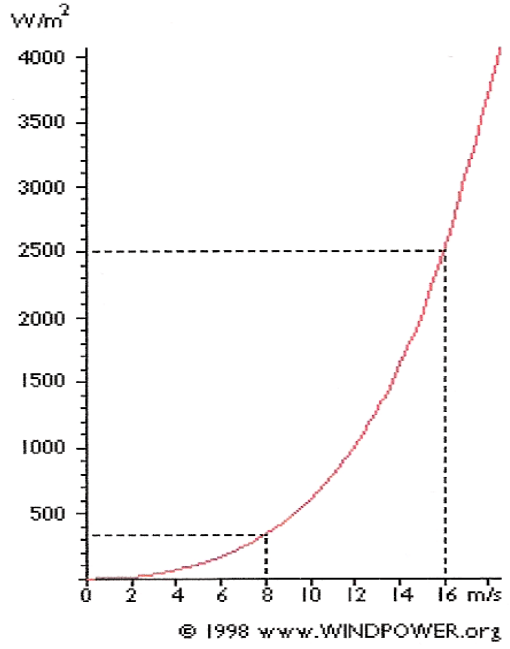
Fortes fluctuations de production; pourquoi ?

Solaire :

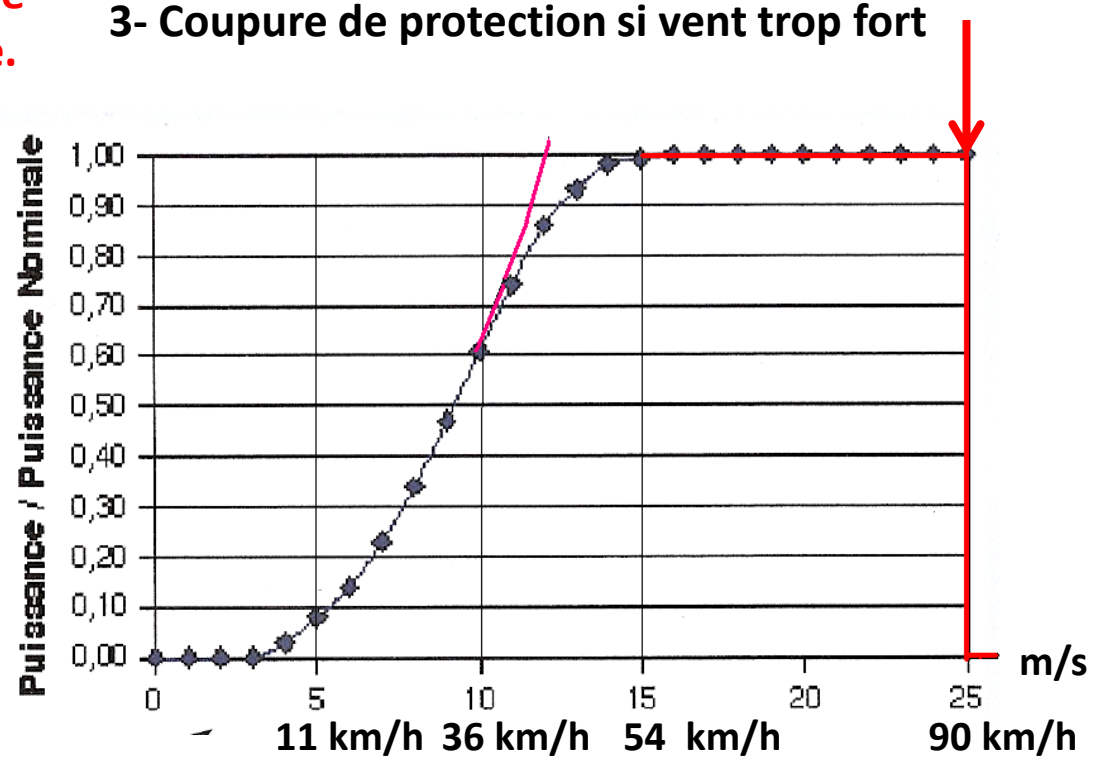
Durée et potentiel astronomique d'ensoleillement faibles en hiver, forts en été ;
Nébulosité (aléatoire) mais plus forte en hiver, plus faible en été.
Les effets ne se compensent pas mais s'ajoutent.

Eolien :

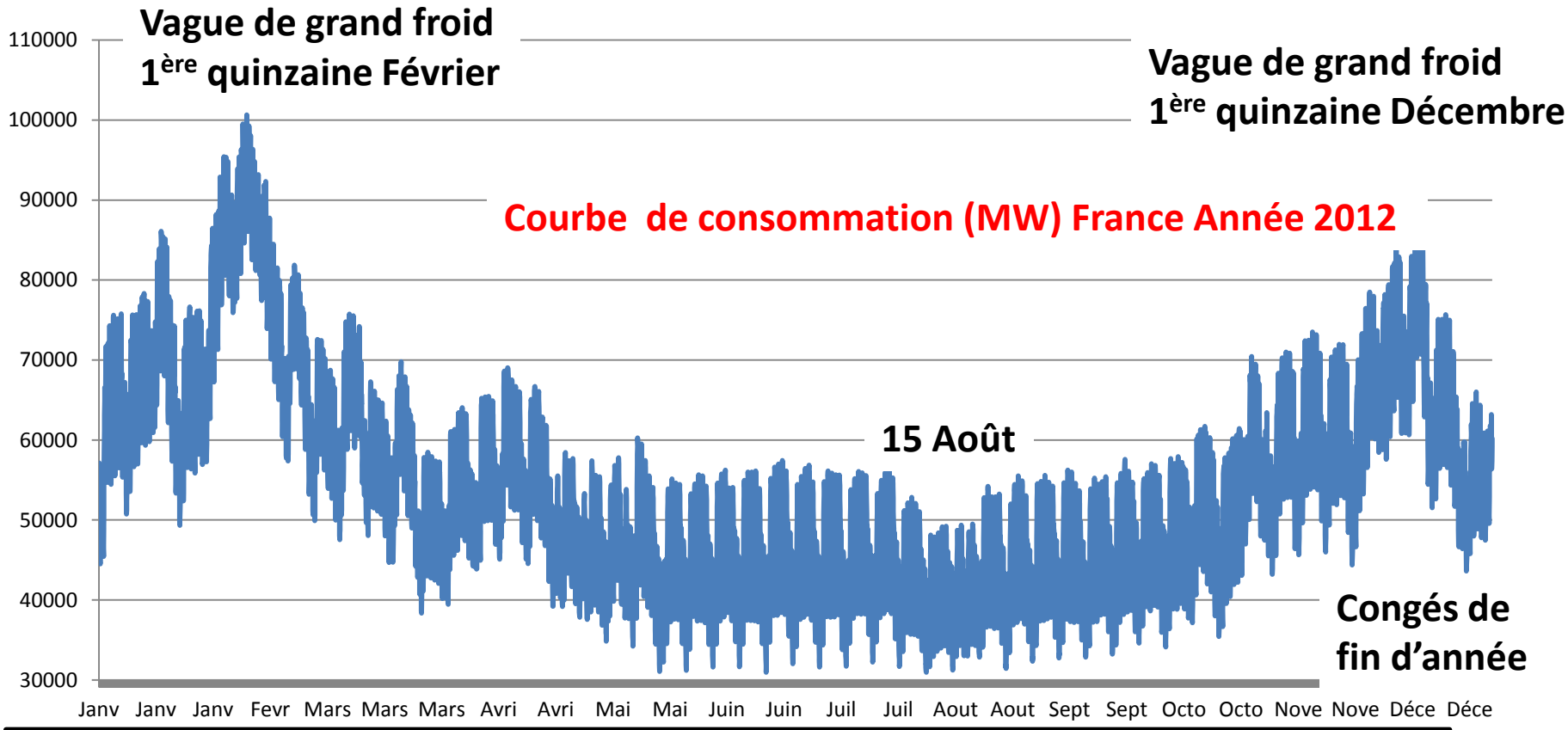
Variation du potentiel énergétique de l'air en mouvement comme le cube de de sa vitesse (v3) : huit fois plus de potentiel si la vitesse du vent double.**



Profil de production d'une éolienne « typique »
1- Croissance rapide (proche de v3)**
2- Plateau à la puissance nominale
3- Coupure de protection si vent trop fort



Corrélation des productions fatales intermittentes avec le besoin électrique

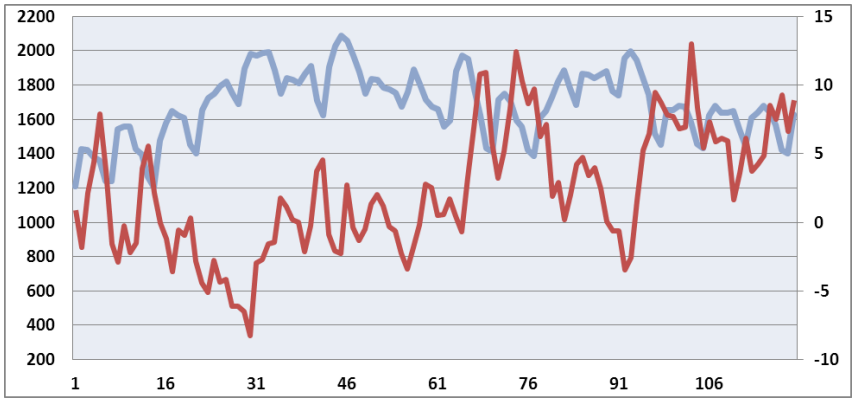


Rythme saisonnier : Max hiver/Min été = ~3.
Rythme hebdomadaire (jours ouvrés, jours de weekend) variation typique 10 GW.
Rythme journalier (jour-nuit) variation typique 18-20 GW.
Fluctuations météorologiques surimposées (vagues de froid en particulier).

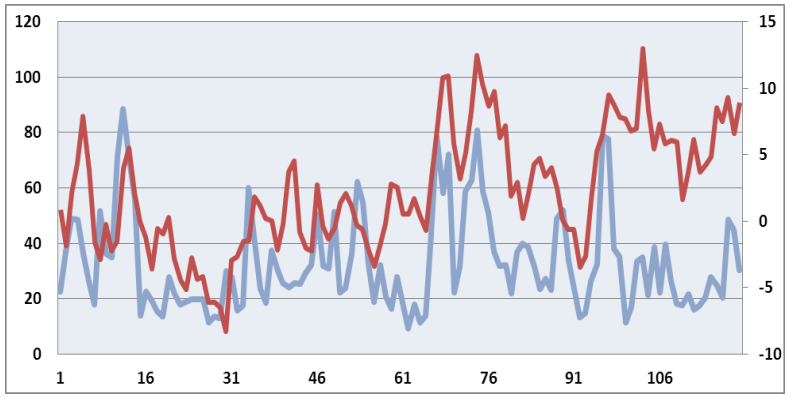
La corrélation du solaire avec les besoins du pays est très mauvaise.

Corrélation de l'éolien avec les besoins de la société ?
Analyse de Nov-Dec 2010 Jan-Fév 2011

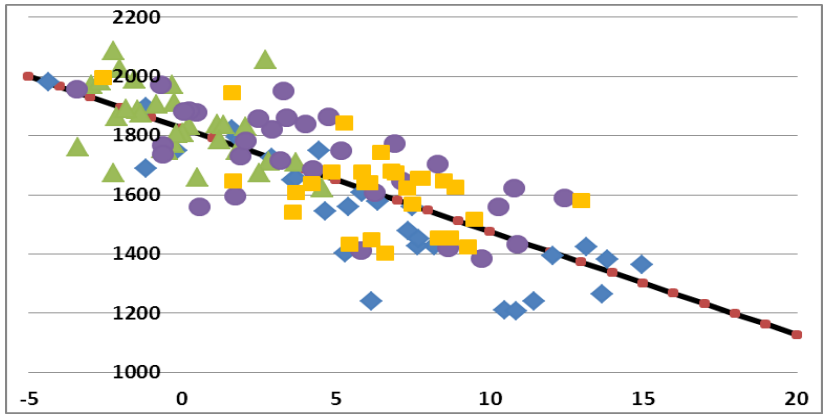
Température : brun échelle droite °C.



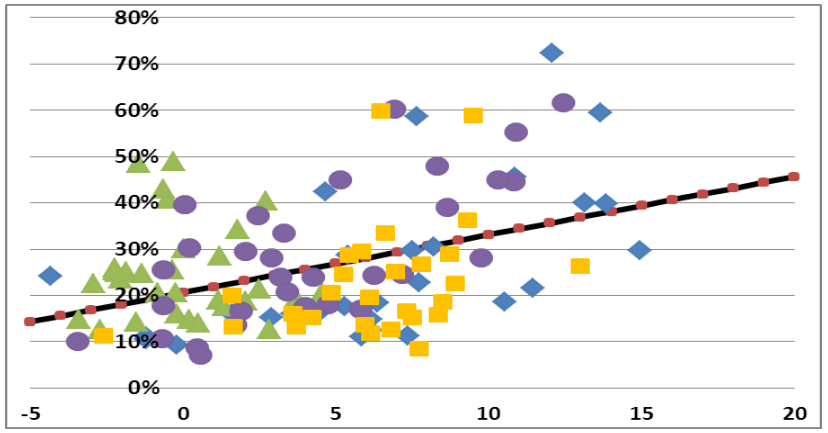
Consommation électrique :
bleue échelle gauche GWh.



Production éolienne :
bleue échelle gauche GWh.



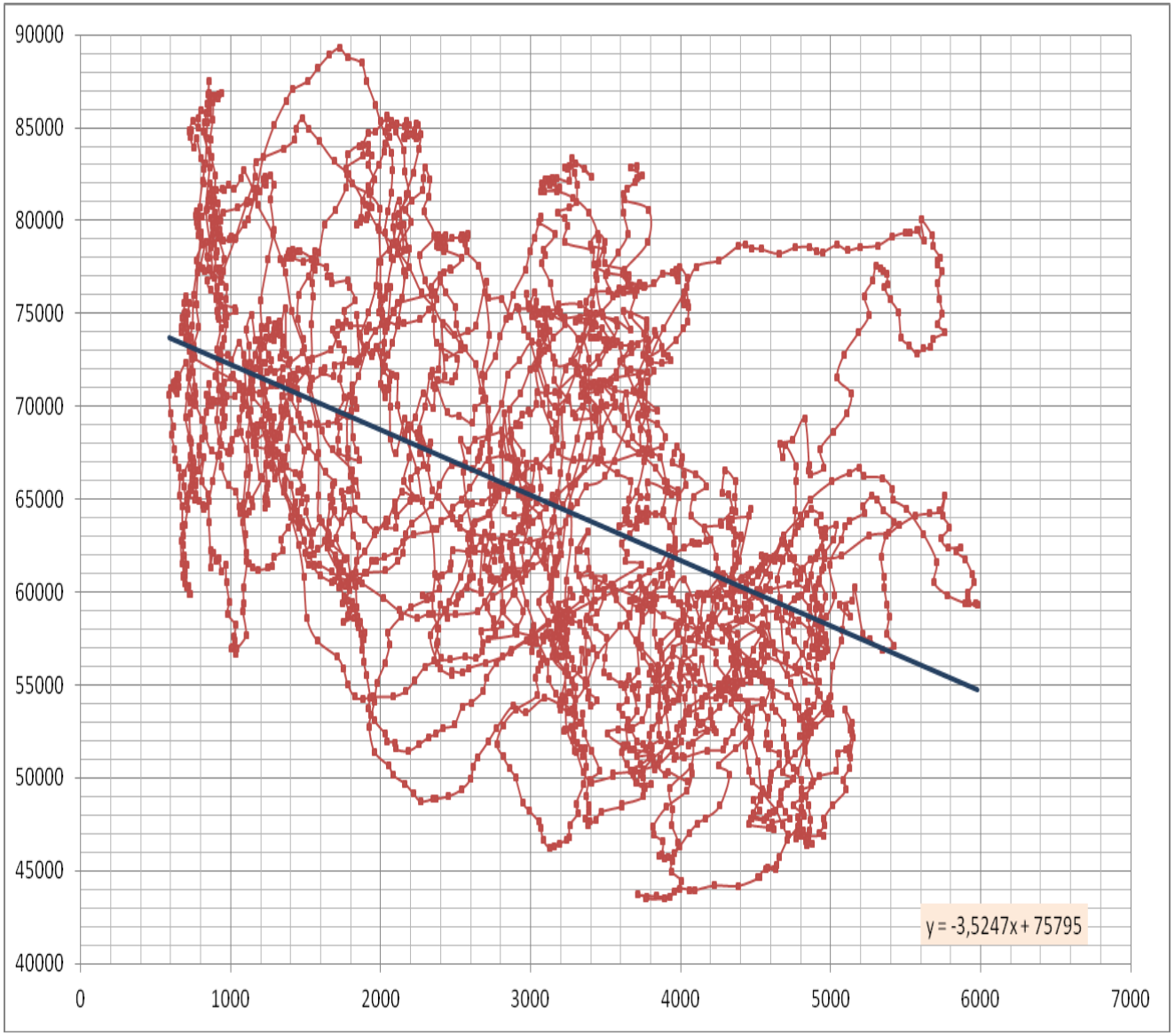
Corrélation Consommation (ordonnée)
Température (abscisse °C).



Corrélation Production éolienne (ordonnée)
Température (abscisse °C).

Corrélation de l'éolien avec les besoins de la société ?

Analyse d'un mois venté : Décembre 2012



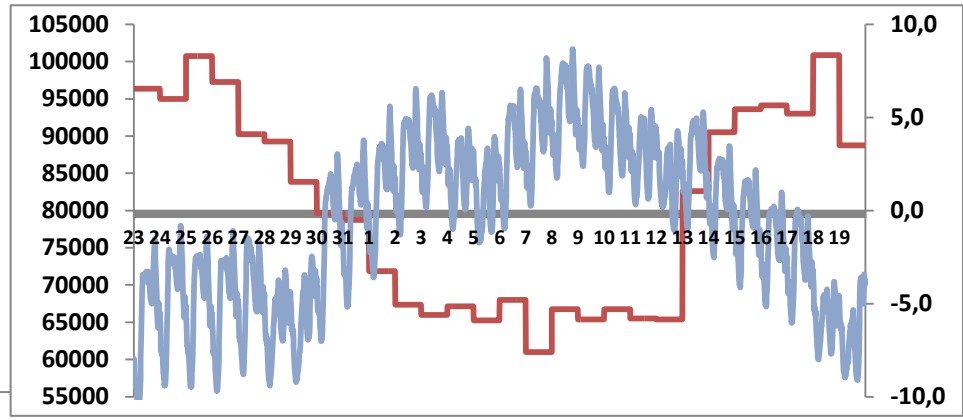
Ordonnée :
P Consommée (MW).
Abscisse :
P Eolien (MW).

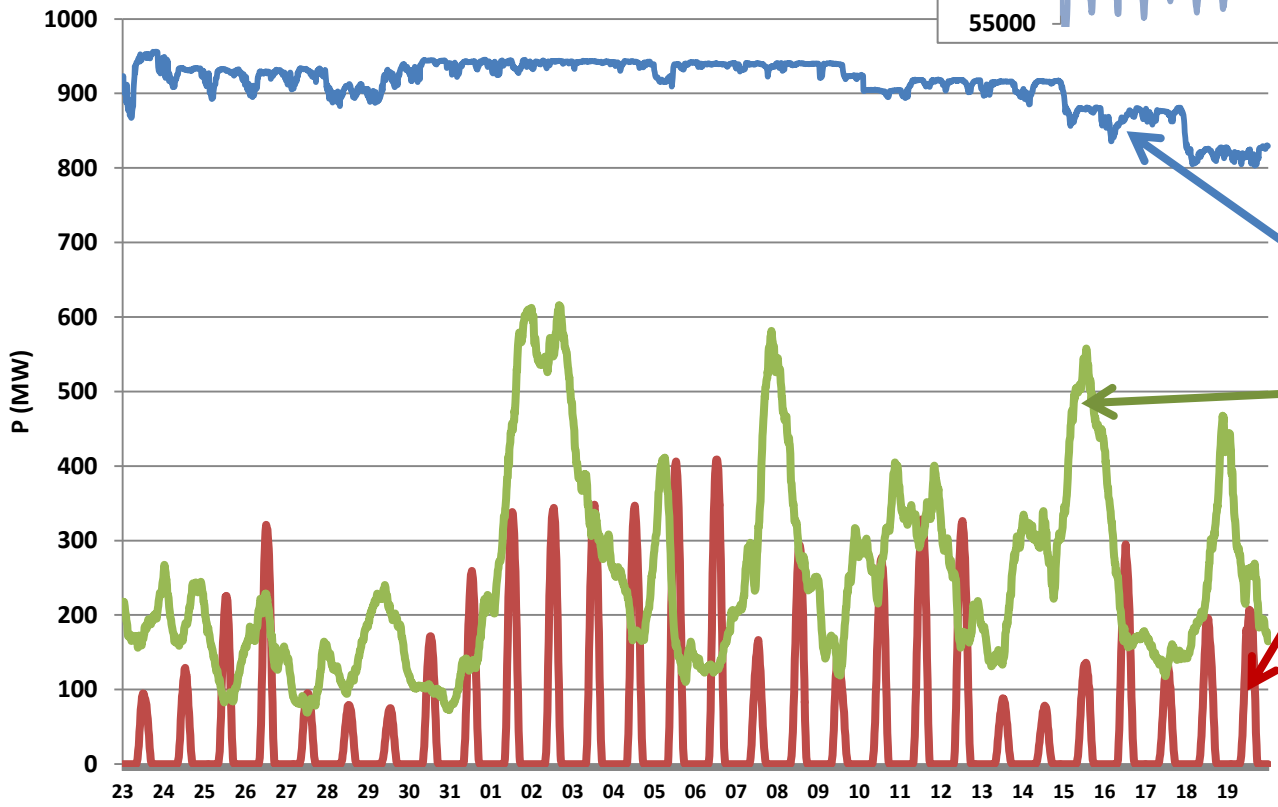
Régression linéaire :

P Consommée diminue de 3 MW quand P Eolien augmente de 1MW.

Corrélation des ENR avec les besoins de la société ?
Analyse d'une vague de froid extrême 23/01 -19/02 2012

Température : Brun, échelle de droite °C.
Consommation : Bleu, échelle gauche MW.





Ce qu'ont produit en MW
1000MW
de puissance installée.

Nucléaire (F)
Eolien (F)
Solaire (D)

Compensation géographique des productions

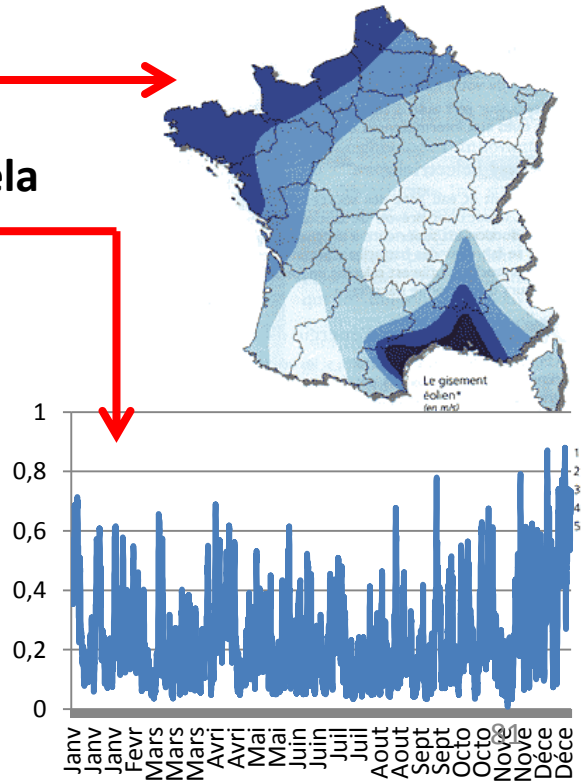
Solaire

Les longueurs des jours sont quasi identiques sur toute l'Europe
Les pics de productions sont quasiment en phase
L'échelle spatiale des phénomènes météorologiques est de l'ordre de 1000km
Il n'y aura pas compensation transfrontalière des productions solaires

Eolien

Au plan national

Selon l'ADEME, nos « trois régimes de vent » nationaux aident notre pays à « lisser » sa production éolienne. Cela donne cette figure (figure déjà montrée en plus étiré)



Au plan international

Puisqu'au niveau national il n'y a pas compensation, les promoteurs de l'éolien arguent qu'elle aura lieu d'un pays à l'autre. Ils poussent donc à la mise en place d'un super-réseau de lignes HT : « la plaque de cuivre ». Ils bénéficient pour cela du fort soutien de l'Europe dans le contexte idéologique du « marché unique » et avec le fort soutien de l'Allemagne, on verra pourquoi.

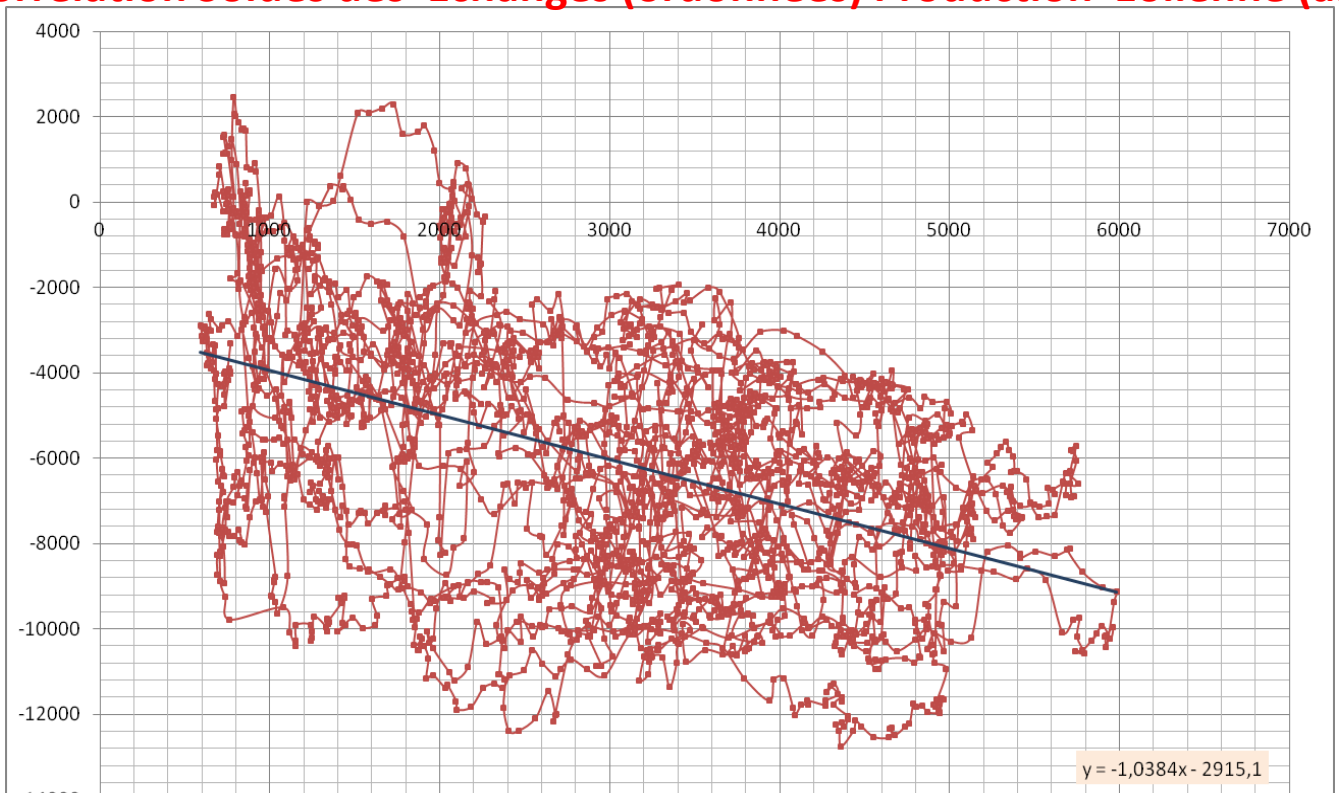
L'impact sur les réseaux; difficultés de gestion

Surplus d'hiver ; premiers signes concernant la France ?

Rappel concernant le mois de décembre 2012

Production éolienne exceptionnellement forte quand le pays n'en a pas besoin :
Températures plutôt douces plus baisse d'activité liée aux congés de fin d'année.

Corrélation Soldes des Échanges (ordonnées) Production Éolienne (abscisse)



Régression linéaire : chaque MW d'éolien en plus correspond à un MW exporté de plus.

Mais que se passera-t-il quand tout le monde voudra exporter en même temps ?

L'impact sur les réseaux; difficultés de gestion

Surplus d'été ; premiers signes concernant la France

Mise en route de production intermittente : risque d'engorgement estival

Il faut des moyens dispatchables à arrêter; une notion nouvelle : les « Réserves à la BAISSE »

Une histoire vraie : Une semaine de Juin 2011

Mardi . Prévision d'afflux de courant « éolien » français et allemand sur le weekend suivant
Prix estimé du courant weekend 25€/MWh (par comparaison Arenh 42€/MWh).
EDF : décision d'arrêt de toutes les centrales gaz, charbon et de Civaux 2 (38€/Mwh)

Vendredi . Prix estimé baisse (20€/Mwh) Dampierre 2 et Tricastin 2 ne peuvent faire du suivi de charge. Le pompage est saturé. On ne peut arrêter Cattenom 1 (22,6€) et Chooz 2 (18,3€) pour raisons techniques , on prévoit donc l'arrêt de Nogent 1 (15,2€).

Samedi. Effet de seuil atteint, le prix base estimé passe entre 15 et 6 €/MWh. L'Allemagne se met à exporter massivement vers la France alors que la consommation de notre pays passe sous les 32,5 GW. Les arrêts de Nogent 1, Bugey 3 et Paluel 1 sont décidés.
Mais Paluel 1 et Nogent 1 expriment des contraintes techniques; on arrête Gravelines 1

Dimanche : La production éolienne dépasse les prévisions . Les prix chutent encore avec des règlements à -103 et même -150€/MWh. Il n'y a plus de centrales dispatchables qu'on puisse arrêter. RTE est obligé de faire procéder à un déversement d'eau (sans turbinage donc avec perte d'énergie électrique) pour un total de 500 MW

CONCLUSION : pour pouvoir gérer une production ENR intermittente achetée de façon obligatoire à prix fort (89€/MWh effectif en France) et revendue à prix bas, voire négatifs, on a dû sacrifier une énergie renouvelable, bon marché et dispatchable (hydraulique)

Réserves de capacité

Impact sur les énergies dispatchables

- Puisqu'on ne peut pas pratiquement stocker l'énergie électrique des productions fatales intermittentes
- Puisqu'il n'est pas toujours possible de la transporter vers les lieux où elle pourrait être consommée (cas de l'Allemagne)
- Puisqu'il n'est pas – ou plutôt ne sera pas – toujours possible de l'exporter si tous les pays produisent du solaire et de l'éolien en même temps.

- Comme on ne peut pas toujours forcer la consommation du public
  - en fait, à la baisse, c'est possible:
    on crée un délestage local (par ex : Bretagne ou PACA)
    ou on attend un blackout (par ex : Inde 600M habitants affectés) -

Il faut compenser grâce aux autres moyens de production à la hausse comme à la baisse

Seules les énergies dispatchables peuvent alors servir de « béquilles ».

Réserves de capacité; Cas de l'Espagne

Un pays à grande pénétration ENR

Sous le gouvernement PSOE, forte croissance des ENR.

22,8 GW d'éolien en 900 parcs ;

Note : Répartition sans rapport clair avec le potentiel de vent (effet opportuniste engendré par les subventions ?).

Sur la période d'hiver 11/2010-02/2011

Centrales à gaz + éolien fournissent de façon quasi constante 40% des besoins. (sauf quand l'éolien s'effondre. Ex : le 26/12)

En moyenne : Eolien 18,9 % Centrales à gaz 23,5 %.

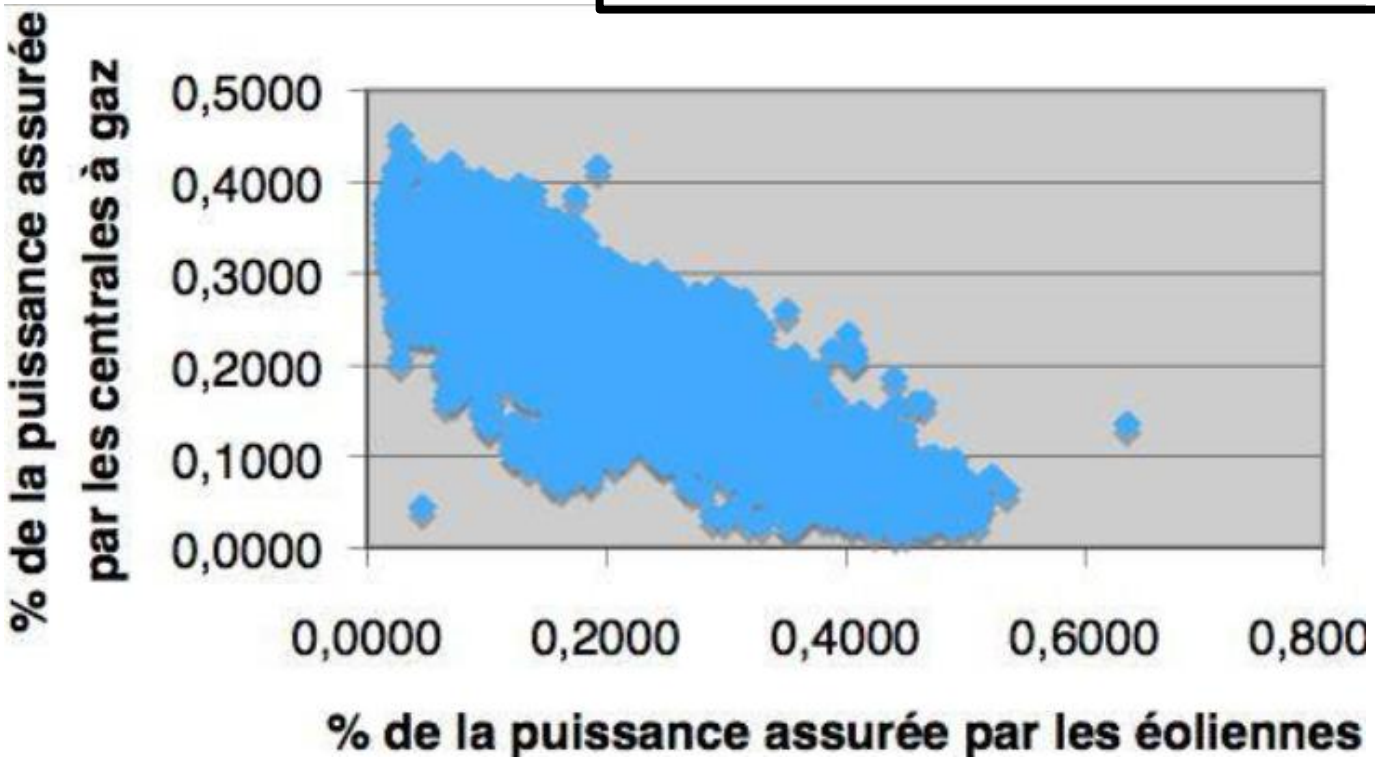


Diagramme de Corrélation

Ce sont les centrales à gaz qui apportent la compensation aux fluctuations de l'éolien.

Ce sont les réserves de capacité du pays.

Réserves de capacité; Grande pénétration d'ENR
Cas de l'Allemagne

Enerpresse 30 Janvier 2013

L'Allemagne a été **obligée, mardi, d'utiliser ses capacités électriques de réserve** … cet hiver, en réponse **à des prévisions de fortes rafales de vent susceptibles de déstabiliser son réseau** … [E]n cas de grands vents, la production des nombreuses éoliennes situées dans le nord du pays provoque **un afflux massif d'électricité dans le réseau, qui risque la saturation en raison du manque de lignes à haute tension.** Cet engorgement provoque alors une forme de bouchon d'autoroute … ,qui empêche l'énergie d'être acheminée vers le sud du pays, où se concentrent les besoins et où plusieurs réacteurs nucléaires ont été arrêtés suite à la décision du gouvernement d'abandonner cette énergie d'ici 2022.

Réserves de capacité; Grande pénétration d'ENR
Un modèle de production à problème

Une centrale utilisée en réserve de capacité ne fonctionne pas de façon optimale :

- **L'essentiel de ses coûts fixes demeure (amortissement, maintenance, personnel),**
- **Rendement inférieur à la performance nominale (mode « stop & go » ; « spinning »).**

Enerpresse 4 Février 2013

E.ON pourrait fermer partiellement sa centrale au gaz d'Irsching

... E.ON juge que **« la croissance … des énergies renouvelables … ont rendu … les centrales à gaz … très peu rentables à faire fonctionner. Il faut des compensations … pour maintenir cette capacité** ». … [L]'énergéticien envisage la fermeture partielle d'une des plus modernes de ses **installations au gaz, celle d'Irsching, de 561 MW à haut rendement (60 %), en Bavière**. [Selon] Johannes Teyseen, directeur général d'E.ON… : « **même nos turbines au gaz les plus récentes … sont confrontées à des difficultés économiques**. À l'avenir, il est probable qu'elles **fonctionnent bien moins de 2 000 heures par an et ne produiront pas suffisamment pour couvrir leurs coûts. » …**

Réserves de capacité; Erreur de prévision

Une prévision parfaite de l'intermittence permet la programmation

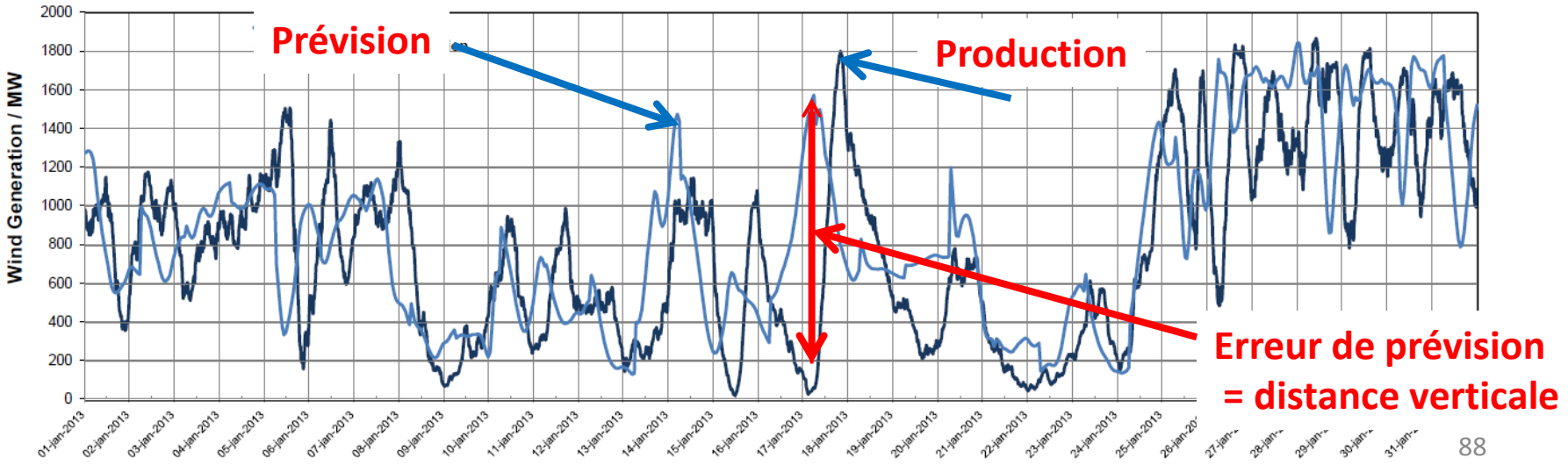
- **du fonctionnement des réserves de capacité (si elles existent),**
- **des moyens de stockage (s'ils existent),**
- **des flux physiques sur les lignes (si elles sont là),**
- **des flux commerciaux internationaux,**

pour permettre de satisfaire la relation

consommation (t) = production (t).

Un déficit de qualité de la prévision de l'intermittence demande une augmentation de la réserve de capacité en stand-by d'un jour à l'autre d'une quantité égale à l'incertitude de prévision.

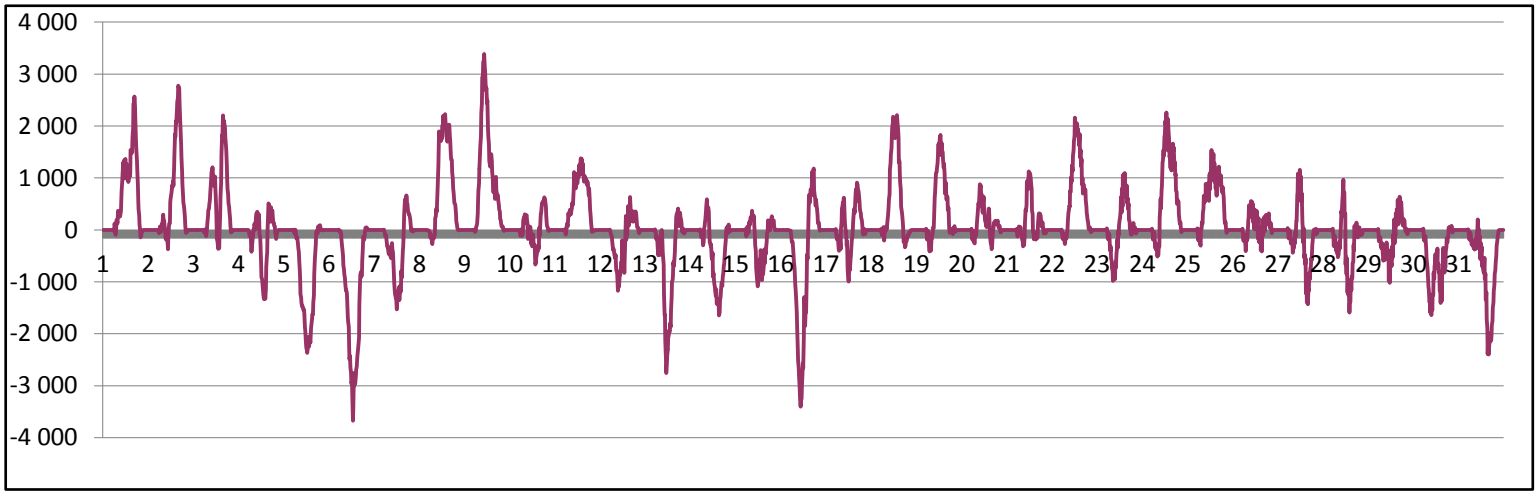
Une présentation usuelle mais BIAISEE de la capacité de prévision : Irlande Janvier 2013



Réserves de capacité; Erreur de prévision

Cas de l'Allemagne; prévision à 18h30 pour le lendemain

Solaire Mai 2012 : Production-Prévision (MW) (P installée ~27 GW).

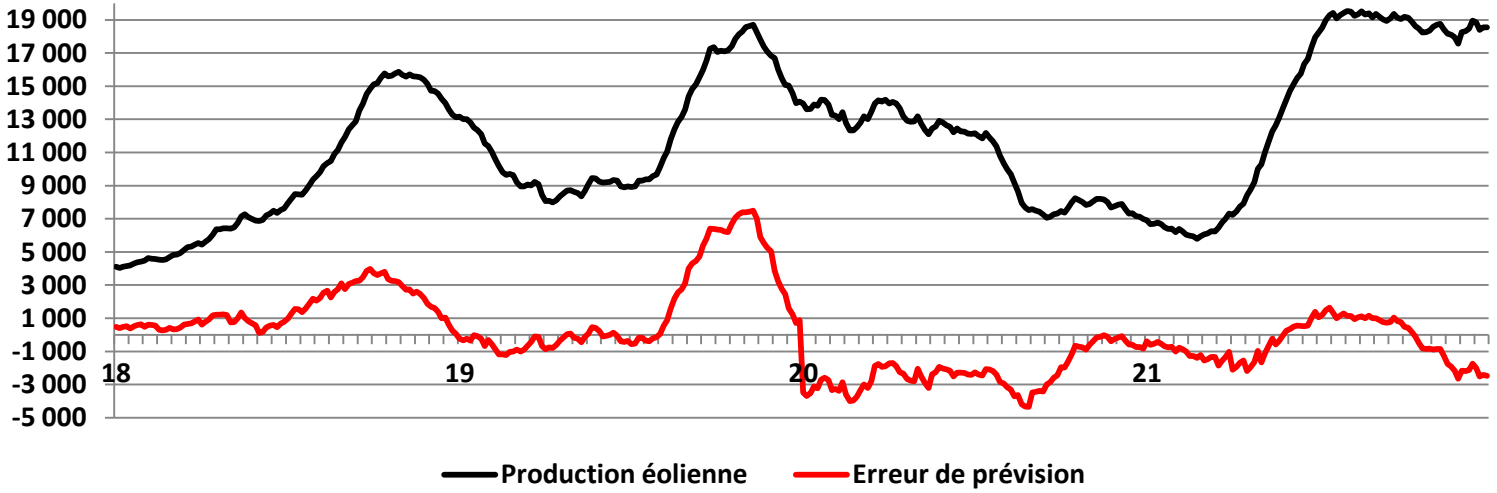


Erreur de Prévision

+/- 3000 MW

~ 10 %

Eolien 18-21 Janvier 2012 : Production-Prévision (MW) (P installée ~29 GW).



Erreur de Prévision

+ 7 GW; -4 GW

~ 15 %

Compensation du solaire par l'éolien et vice-versa ?

Le « foisonnement » dont il est souvent question pour compenser l'intermittence ne permet pas

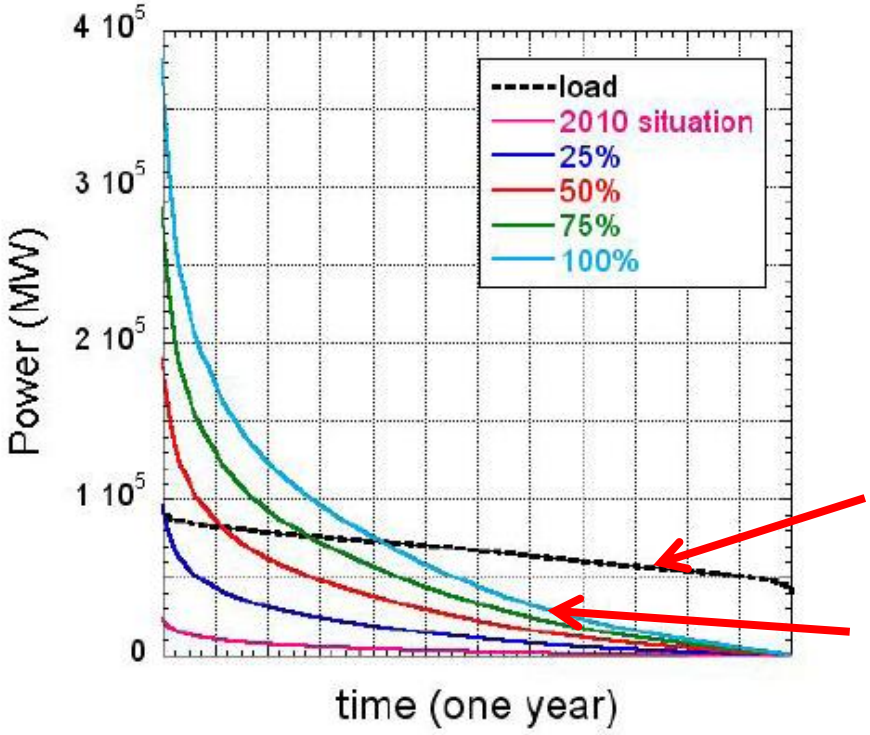
à l'éolien d'une région ou d'un pays de lisser l'éolien d'un autre pays ou région,

au solaire d'une région ou d'un pays de lisser le solaire d'un autre pays ou région,

mais le solaire est plus productif en été et l'éolien plus productif en hiver.

Des scénarios tentent d'utiliser ce fait Ils considèrent des productions en moyenne mensuelle (voire moyenne sur plusieurs années consécutives) de façon à effacer fluctuations journalières horaires ou mensuelles d'une année sur l'autre. (ex ADEME)

Analyse pour l'Allemagne à partir des données 2010 (Wagner)



Deux impossibilités fondamentales

1) Probabiliste

La somme de deux variables aléatoires est toujours une variable aléatoire.

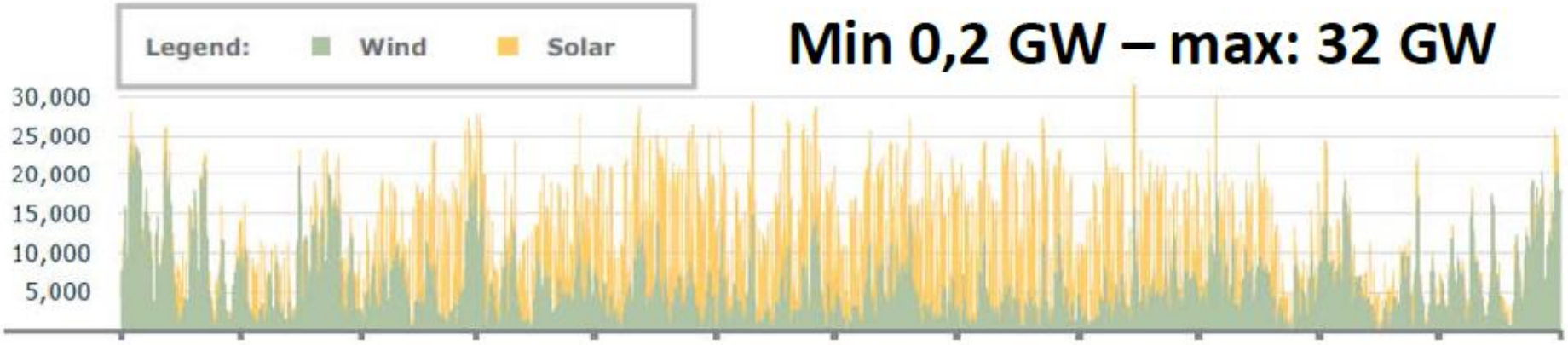
2) Géométrique

La concavité des monotones de la somme (Solaire+Eolien) et Consommation sont de signes opposés.

Monotone de consommation

Monotones Solaire + Eolien
Les % indiquent la contribution au mix électrique 2010 puis de 25 à 100%

Solaire et vent cumulés (Allemagne 2012)

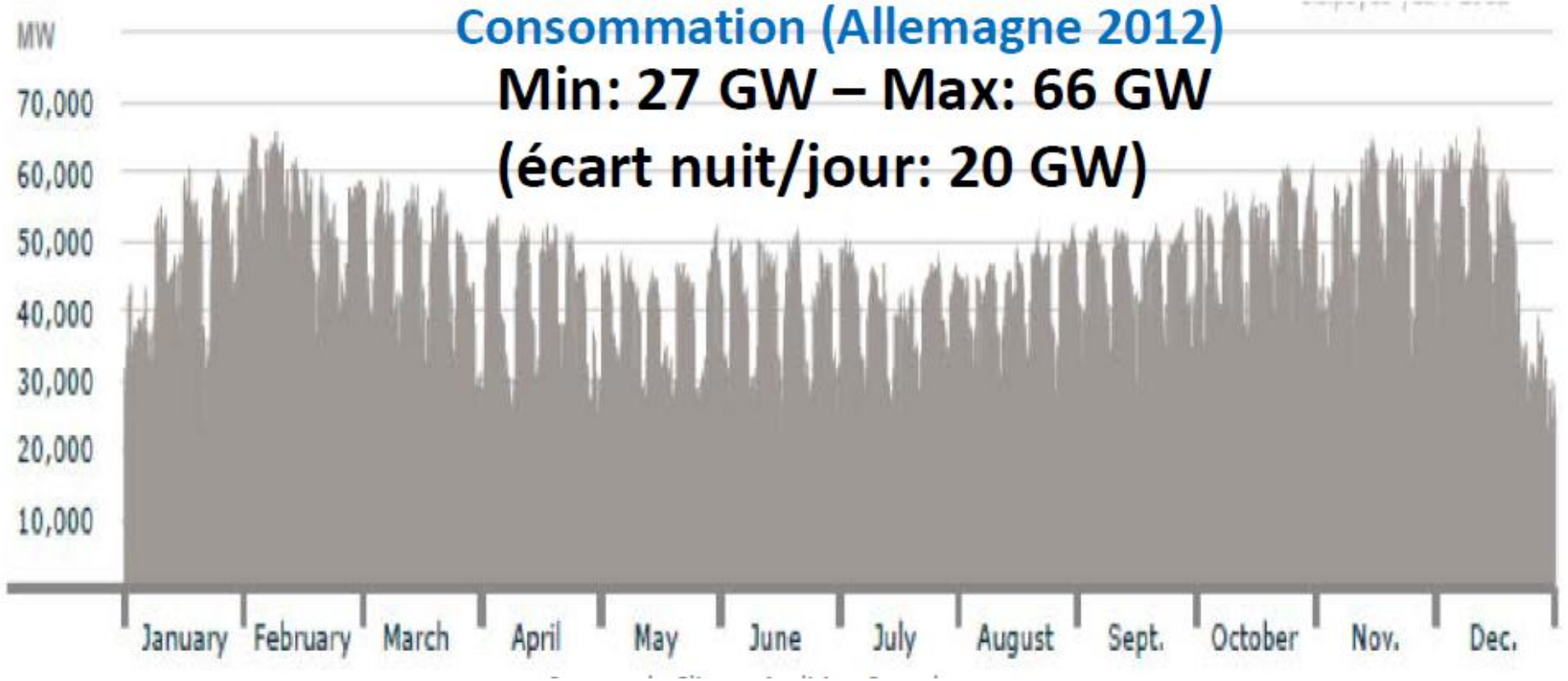


Min 0,2 GW – max: 32 GW

Consommation (Allemagne 2012)

Min: 27 GW – Max: 66 GW

(écart nuit/jour: 20 GW)



Analyse du scénario ADEME 2030

Les hypothèses pour l'électricité

Scénario émanant d'une agence nationale et qui pourrait donc porter le point de vue pour notre avenir énergétique d'un de ses ministères de tutelle : le
« Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie »

Scénario volontariste organisé autour de 3 tendances originales

1) Diminution de 21% de la consommation électrique (cf Negawatt)

Cela correspond à presque -25% par habitant (la population croît)
Réorganisation profonde du mode de vie en moins de 20 ans
Consommation = 83% de la production -> export 17%

2) Baisse forte du nucléaire

La puissance du parc passe en puissance de 63 GW à 32 GW.
Production de base (49 % production). Facteur de charge (6800h/an)

3) Fort accroissement des renouvelables électriques

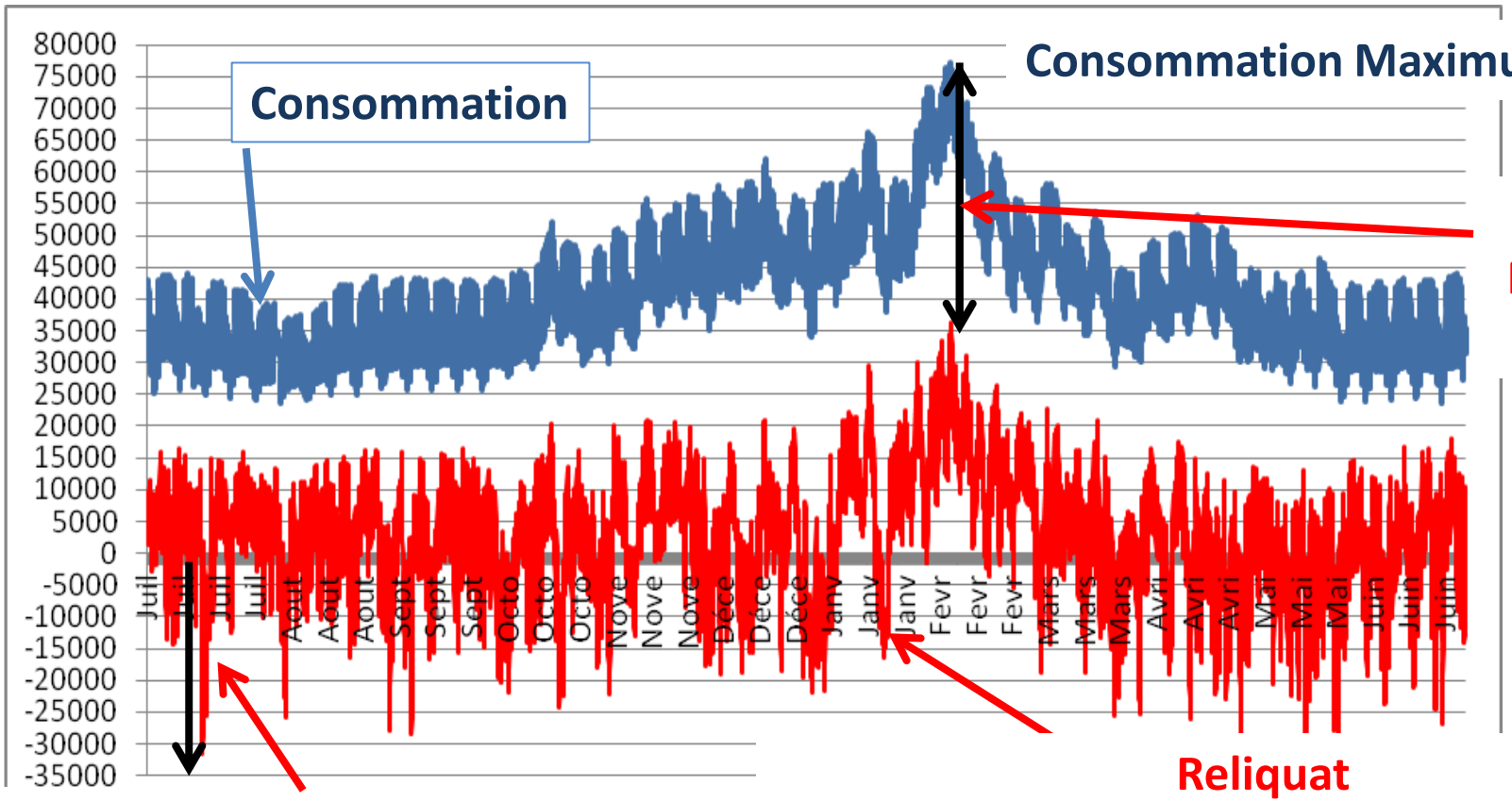
Solaire 33 GW (et 20% plus efficace que le solaire allemand 2012)
Eolien 46 GW (et 3% plus efficace que le parc français 2012)
Ces 79 GW assurent 29,6 % de la production

Nucléaire + Solaire + Eolien = 95 % de la consommation

Complément : hydraulique 15% production, Augmentation quasi nulle du stockage, Autres ENR et déchets 4,7 % ; Gaz et Fioul 1,7 % (3% ???)

Analyse temporelle des conséquences du scénario ADEME
Période : 1er Juillet 2011- 30 Juin 2012

Consommation réelle de la France 2012 réduite de 21%.
Eolien réel France 2012 : renormalisé de 7 à 46 GW et augmenté de 3 % d'efficacité.
Solaire réel Allemand 2012 : renormalisé à 33 GW et augmenté de 20 % d'efficacité.
Nucléaire passé en production de base annuelle: été 17GW, hiver 32 GW, moyenne 24,8 GW.



Analyse temporelle des conséquences du scénario ADEME

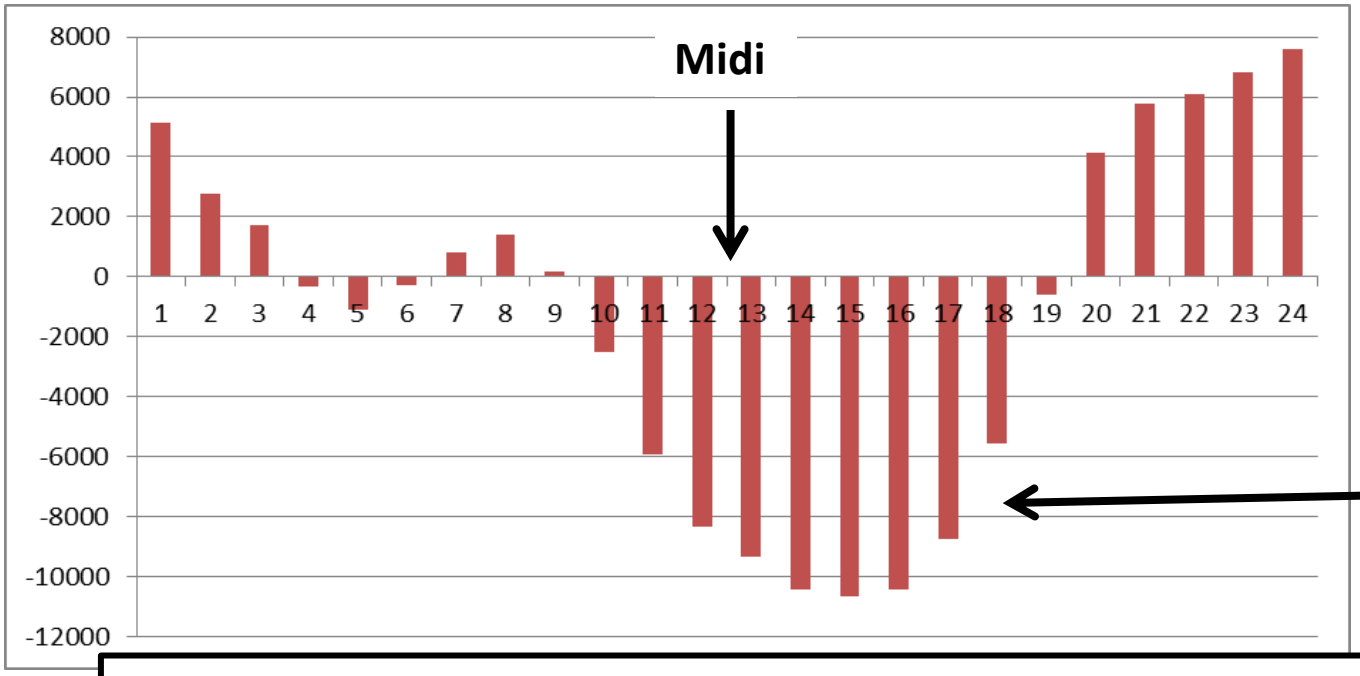
Récapitulatif global :

- Sur l'année le scénario « consomme » 369 TWh (puissance moyenne 42 GW).
- Avec 111 GW de nucléaire+éolien+solaire, le scénario produit 354 TWh.
- Mais avec cette seule production cumulée sur l'année heure par heure, manquent encore 45 TWh et il faut absolument exporter 29 TWh

EN PLUS des 75 TWh d'export prévus dès le départ dans le scénario ADEME 2030.

Structure horaire (de 1 à 24h) du Reliquat = Consommation- (Nucl+Eolien+Solaire)

Période : 1er Avril- 30 Juin 2012



Déficit de nuit
Il manque de la production .

Excès de jour
Il faut exporter la production excédentaire.

Dans le scénario ADEME 2030, il faut exporter aux mêmes heures que nos voisins allemands, italiens, espagnols, …