

Analyse de la production électrique de la France

Données RTE

Septembre 2010 – Mai 2011

Hubert Flocard

CSNSM/IN2P3/CNRS



Plan de la présentation

- 1) Conclusion
- 2) Introduction. Les données RTE.
- 3) France*, consommation et productions électriques, période Septembre 2010 -- Mai 2011.
- 4) France*, production éolienne d'électricité, période Septembre 2010 – Mai 2011
- 5) Un exercice d'anticipation sur la base des décisions du « Grenelle ».
- 6) Eléments de perspective.

* Il s'agit de la France continentale (hors Corse et DOM-TOM)

Conclusion

**Si vous avez une idée préformée
sur le système électrique français,
la probabilité est très grande
pour qu'elle soit correcte.**

**La caractère finalement très attendu des résultats présentés dans cet exposé
(construit à partir de données récentes fournies par RTE)
devrait en toute logique vous conforter dans votre opinion.**

Introduction

Les données RTE.

Introduction Les données RTE (historique)

Depuis des années – RTE – « Réalisations Données de production »

Données de réalisation du 01/01/2009

Heures	Nucléaire	Charbon + Ga: Fioul + Pointe	Hydraulique	Autres	Total	
00:00	59549	2012	275	4874	0	66710
01:00	59566	1785	279	5539	0	67169
02:00	59392	1765	176	4951	0	66284
03:00	59137	1769	17	4543	0	65466

Données de réalisation du 21/01/2009

Heures	Nucléaire	Charbon + Ga: Fioul + Pointe	Hydraulique	Autres	Total
00:00	59213	5186	137	5813 *	70349
01:00	58990	4323	19	5329 *	68661
02:00	58787	3852	0	4959 *	67598
03:00	58984	3833	0	4946 *	67763

Question à RTE le 1^{er} janvier 2009:
Pourquoi avec plus de 2 GW d'éolien installés en France, « Autres » vaut-il **toujours zéro** ?

Pas de réponse
De RTE, mais ...
Le 21 Janvier,
Les zéros
deviennent des **astérisques!**

Jusqu'à Mars 2006 – ADEME – « données horaires de production éolienne »

Alors que la limite initiale à 1500MW installés pour le rachat obligatoire de la production électrique éolienne supprimée, **les données disparaissent du site de l'ADEME**

La partie du Grenelle de l'Environnement sur les énergies renouvelables s'est donc tenue sans que le public et la plupart des partenaires de la discussion ne disposent d'informations chiffrées analysables sur ces productions en France.

Introduction Les données RTE (aujourd'hui)

A partir du premier juillet 2010 – mise en place du site RTE eCO2mix

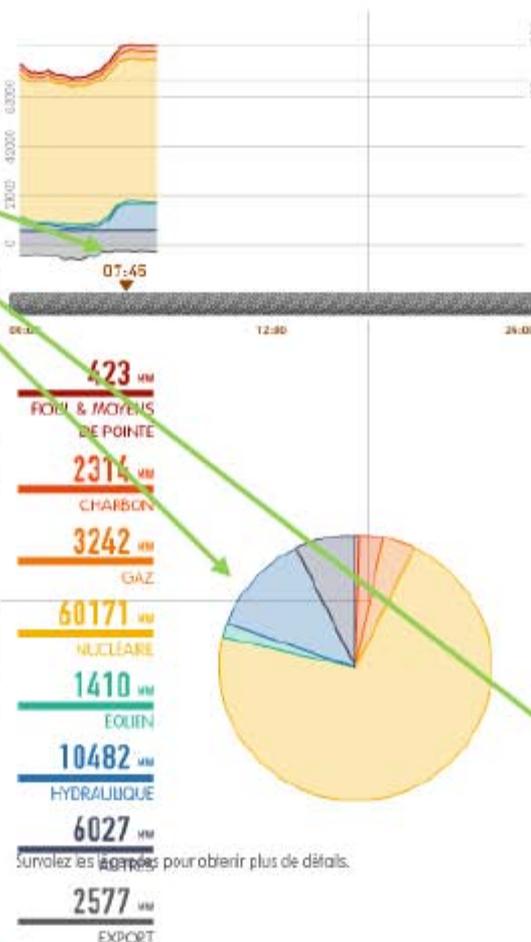
www.rte-france.com/fr/developpement-durable/maitriser-sa-consommation-electrique
/eco2mix-consommation-production-et-contenu-co2-de-l-electricite-francaise#mixEnergetique

Consommation d'électricité

Production d'électricité détaillée par filières

Emissions de CO₂

En déplaçant le curseur sur le graphe, on cible un ¼



Choix RTE pour les Émissions CO₂ :

Charbon : 0,96t/MWh

Gaz : 0,36t/MWh

Fioul : 0,80t/MWh

Emissions de CO₂

RTE fournit en continu une estimation des émissions de CO₂ générées par la production d'électricité. Les émissions sont variables en fonction des moyens de production utilisés en France et de leurs émissions moyennes de CO₂ estimées par RTE. Les reports d'électricité ne sont pas pris en compte dans ce calcul. Les résultats sont affichés en tonnes par heure.



Introduction Les données RTE (aujourd'hui)

Remarquable information : consommation, productions diverses et solde import-export électriques fournis avec **une granularité temporelle très fine (1/4h)**

Journée du 01/05/2011

Heures	Consommatio	PrévisionJ-1	Fioul + pointe	Charbon	Gaz	Nucléaire	Eolien	Hydraulique	Autres	Solde	Co2	PrévisionJ
00:00	46229	45800	0	0	248	45791	1531	4537	2276	-8154	999	46200
00:15	45451	44900	0	0	237	45895	1528	3788	2198	-8196	963	45150
00:30	44224	44000	0	0	206	45663	1460	3295	2200	-8600	953	44100
00:45	42634	42900	0	0	254	44671	1439	2618	2199	-8547	970	42900
01:00	41802	41800	0	0	255	43671	1416	2582	2203	-8325	972	41700
01:15	42062	42000	0	0	237	43936	1386	2101	2208	-7806	967	42000
01:30	41385	42200	0	0	248	43261	1353	2098	2211	-7786	972	42300
01:45	41464	41950	0	0	252	43937	1364	1511	2210	-7810	974	42000

Quelques regrets toutefois :

- La « mémoire » du site ne dépasse pas 31 jours.
- Il y a quelques « trous » (toujours moins qu'une heure et de plus en plus rarement)
- Il y a quelques incohérences (turbinage ? Charbon ?)
- Il y a quelques désaccords avec d'autres publications de RTE.
- Aucune information spécifique sur le solaire, la biomasse, l'énergie marémotrice, ...
- Aucune information sur la distribution géographique des productions-consommation

Mais il ne faut pas faire la fine bouche!

Par rapport au peu d'information fournie dans le passé, il est remarquable que RTE ait accepté de mettre une base de données aussi détaillée à la disposition du public français

(même si cela n'arrive que des années après, l'Espagne, L'Allemagne et le Danemark)

France
Consommation et Productions Electriques
Période Septembre 2010 – Mai 2011

L'électricité de la France (Septembre 2010-Mai 2011) (I)

Des informations sur 26208 quarts d'heure concernant

- 1) la consommation électrique
- 2) les productions
 - 2.A) fossiles
 - 2.A.1) charbon
 - 2.A.2) gaz
 - 2.A.3) fioul + pointe
 - 2.B) nucléaire
 - 2.C) hydraulique*
 - 2.D) éolien
 - 2.E) « autres »**
- 3) le solde « Import – Export »
- 4) la production de « CO2 électrique »

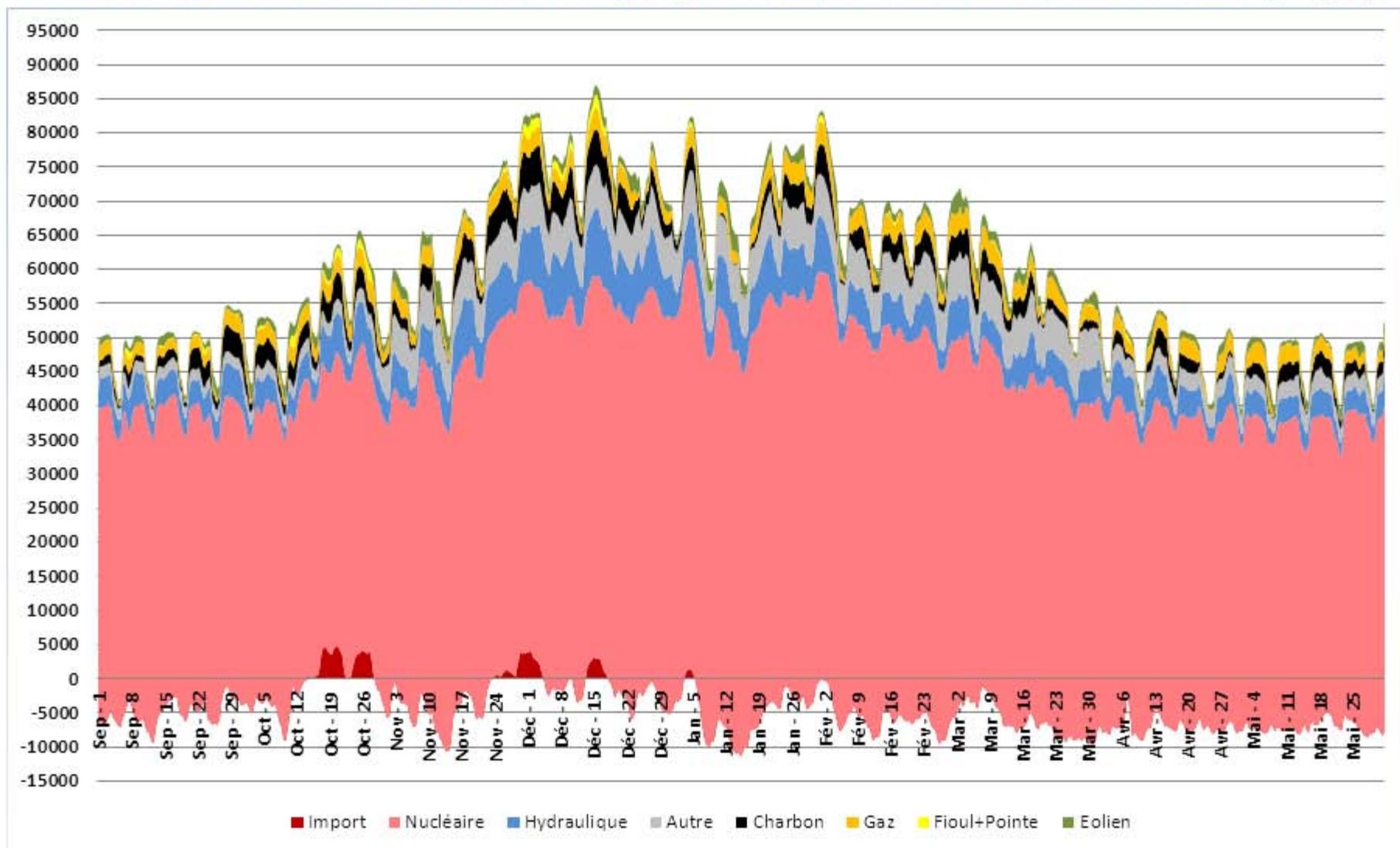
*La rubrique « hydraulique » ne concerne que l'hydraulique de barrage (et les STEPs ?)

**La contribution des barrages « au fil de l'eau » est comptabilisée dans « autres »

Consommation électrique de 9 mois : 392 TWh

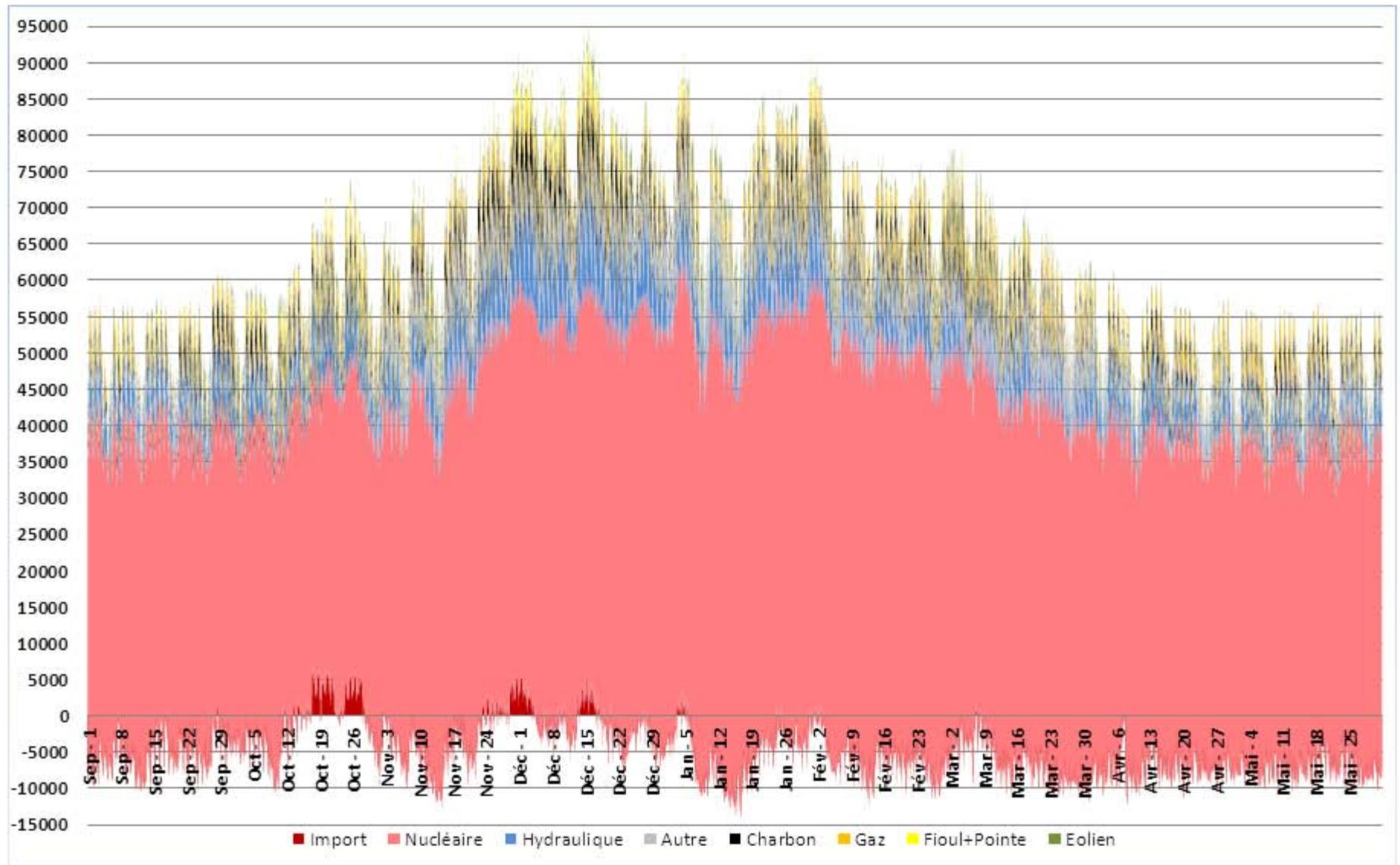
Charbon %	Gaz %	Fioul + Pointe %	Nucléaire %	Hydraulique %	Eolien %	« Autres » %	Consommation %	Import-Export %	Production %
3,59	3,46	0,30	83,0	8,23	2,02	6,97	100	-7,58	107,57
3,34	3,22	0,28	77,16	7,65	1,88	6,48	92,96	-7,04	100

L'électricité de la France (Septembre 2010-Mai 2011) (II)



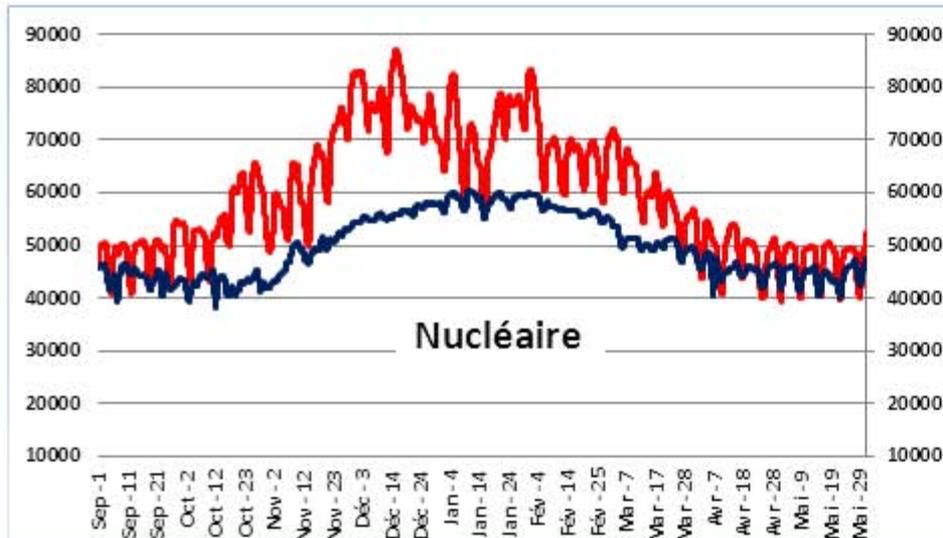
Ordonnée MW; Moyenne « glissante sur 96 quarts d'heure » (=1 jour)

L'électricité de la France (Septembre 2010-Mai 2011) (III)

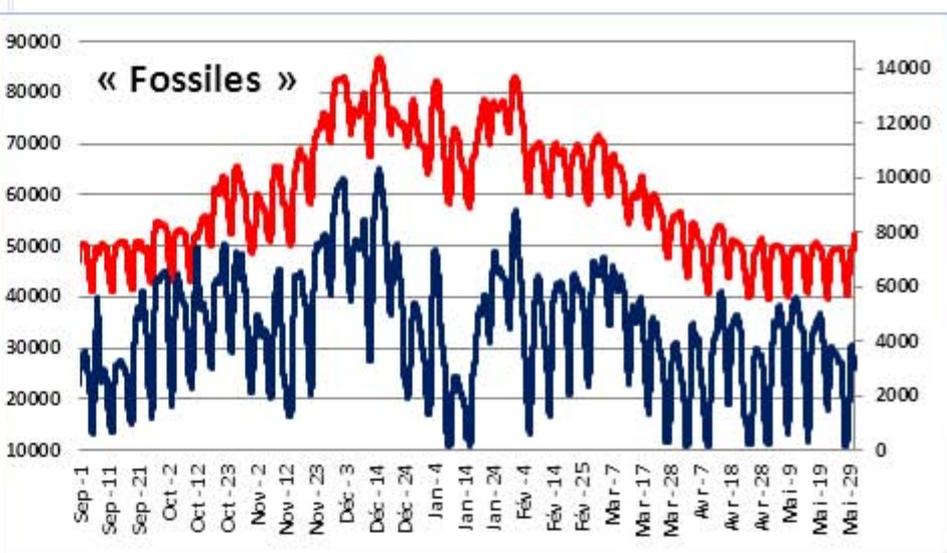
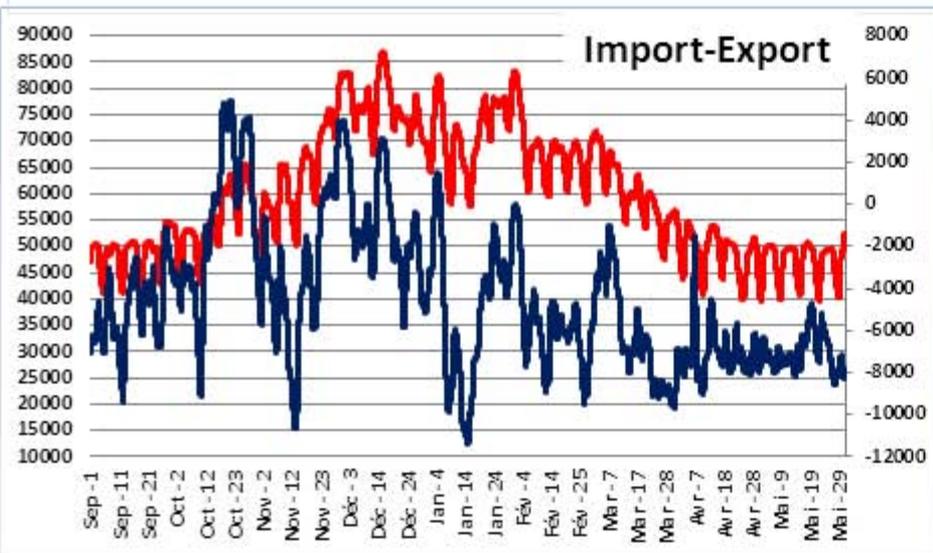
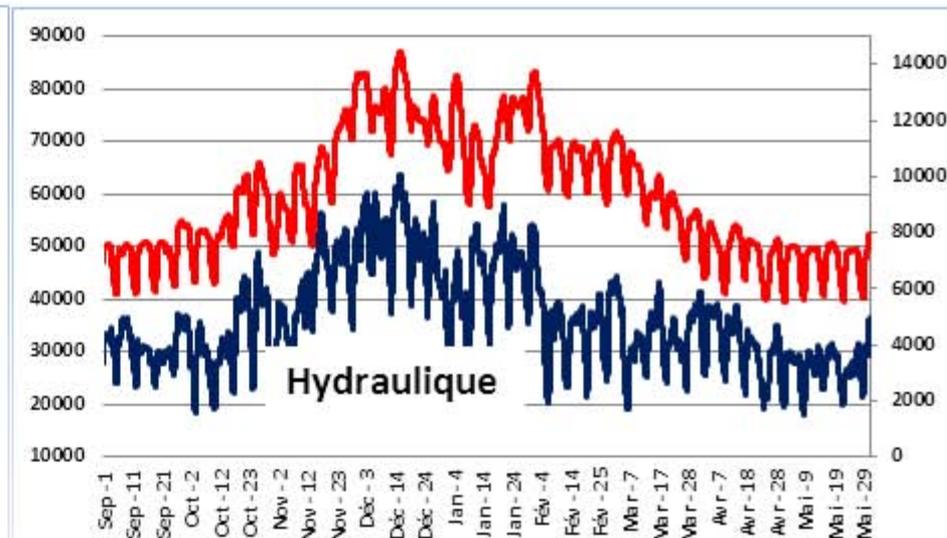


L'électricité de la France (Septembre 2010-Mai 2011) (IV)

Les productions « dispatchables »



Courbes lissées sur un jour

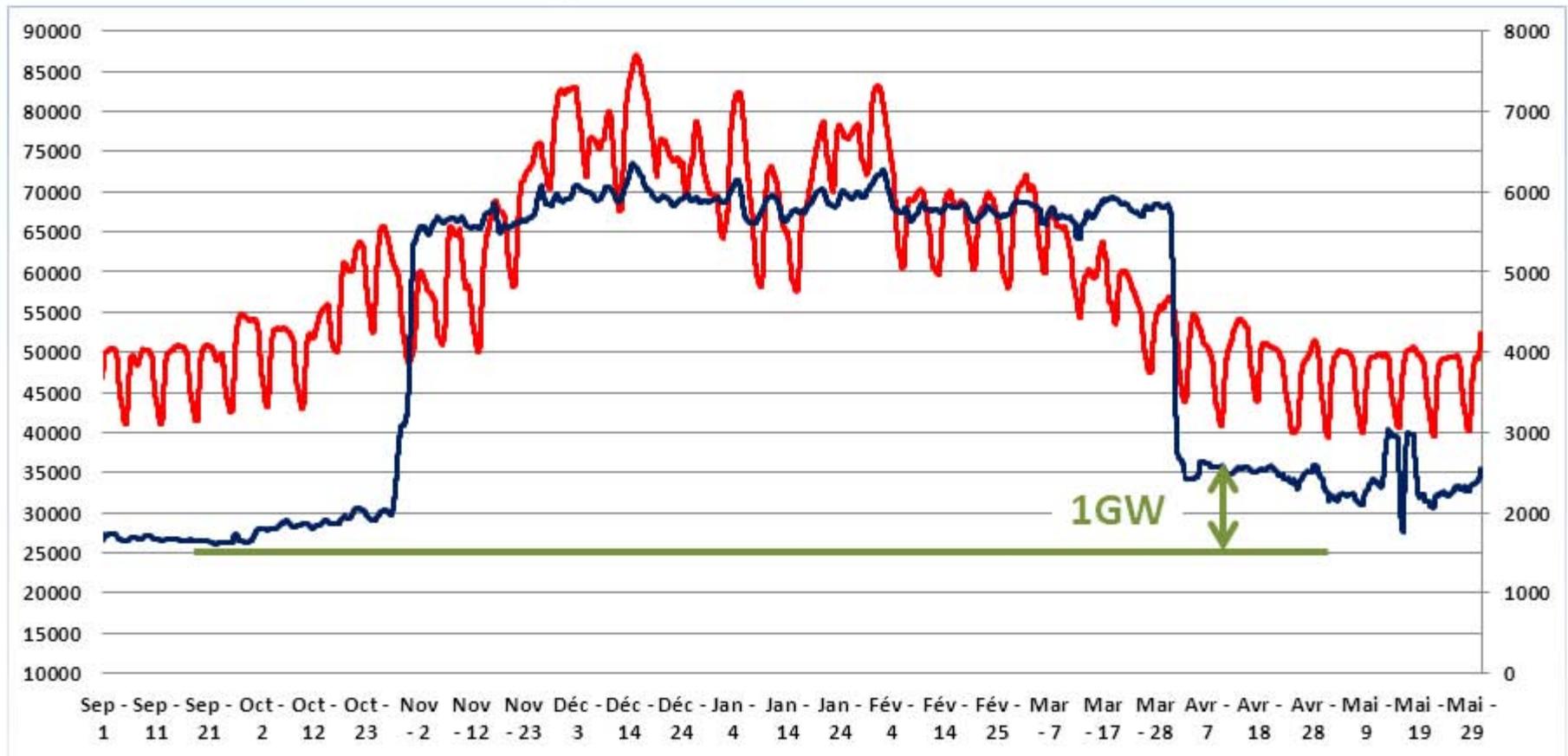


Courbe rouge échelle de gauche : Consommation; Courbe bleue échelle de droite Energie dispatchable

L'électricité de la France (Septembre 2010-Mai 2011) (V)

Dans le système français, il y a « deux » énergies fatales, l'éolien et « autres »
« autres » inclut, les barrages sur fleuves, le petit hydraulique, le barrage de la Rance, le solaire, les déchets, l'électricité biomasse*,

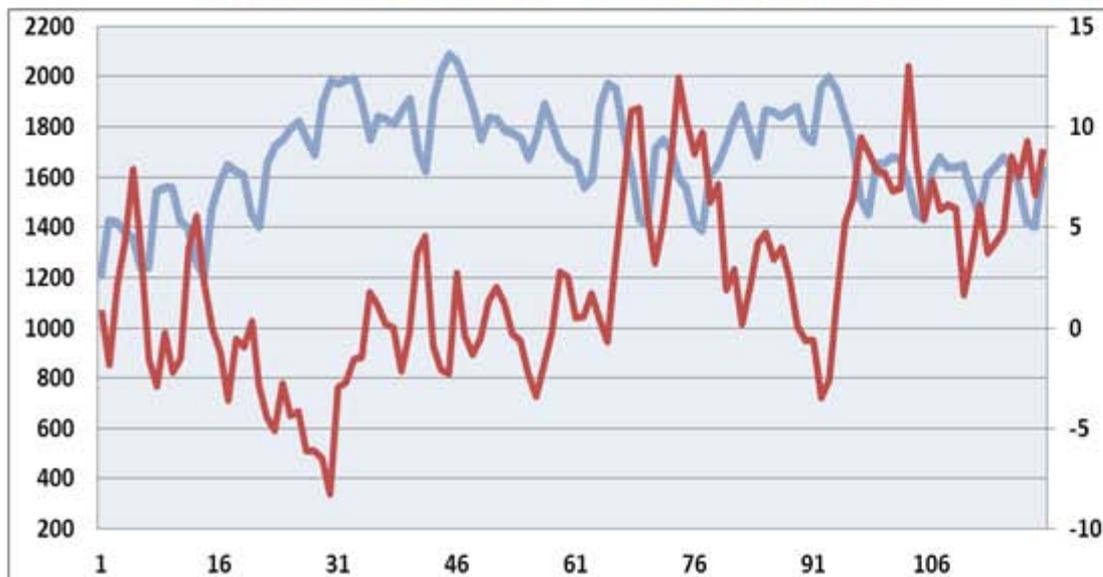
et les turbines à cogénération (subventionnées du 1Nov au 31 Mars)



* Au 1^{er} janvier 2011 d'après ERDF petit hydraulique 1,3GW,
biogas-biofioul 196MW, Déchets 442MW, solaire 808MW

Consommation française en période froide

Novembre – Décembre – Janvier - Février



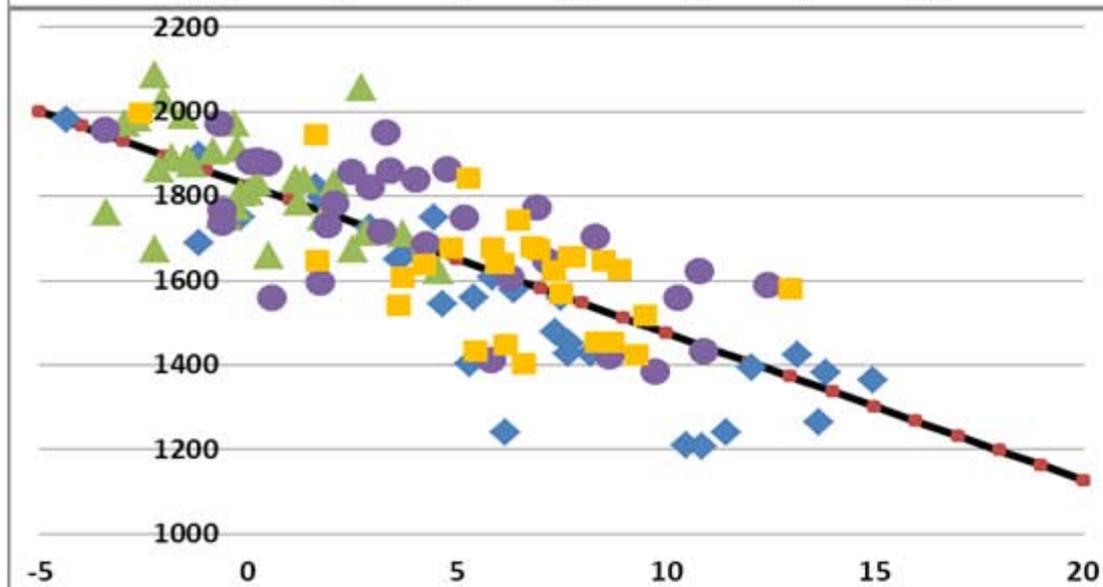
Energie électrique journalière
Consommée (GWh)

Courbe bleue échelle gauche

Température moyenne à
Toussus le Noble (°C)

Courbe marron échelle droite

Abcisses : jours comptés à partir
Du 1^{er} Novembre (quinzaines)



Ordonnée : Energie électrique
journalière consommée (GWh)

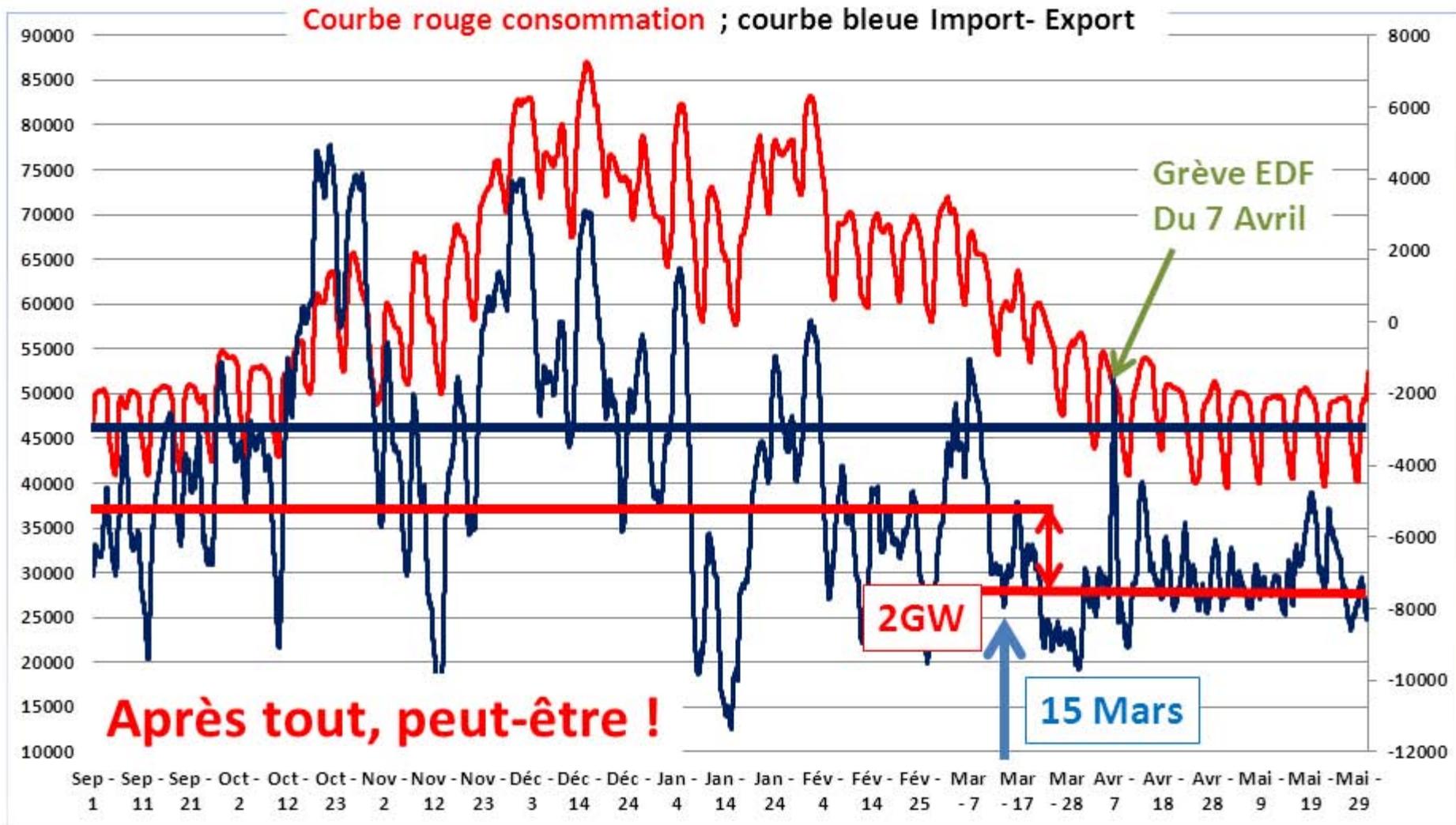
Abcisse : Température moyenne
à Toussus le Noble (°C)

Points bleus (Novembre) verts (Décembre)
violets (Janvier) jaunes (Février)

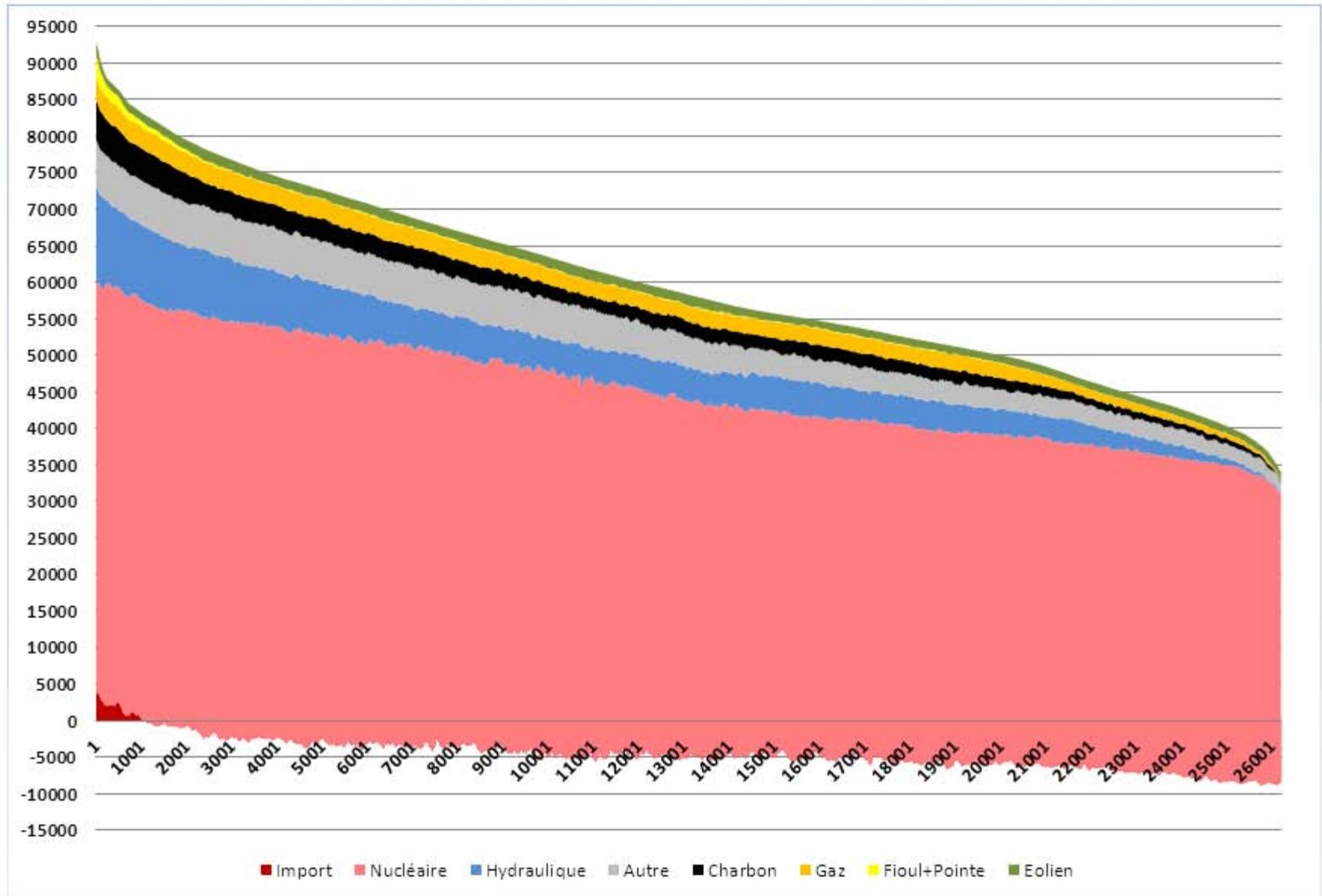
Régression linéaire (négative)
- 35GWh (~ - 1.5GW) par °C

Un « effet Merkel » est-il visible en France ?

Suite au dommage infligé par le tsunami à la centrale japonaise de Fukushima, à la mi-mars 2011, la Chancelière Merkel arrête 7-8 réacteurs nucléaires en Allemagne



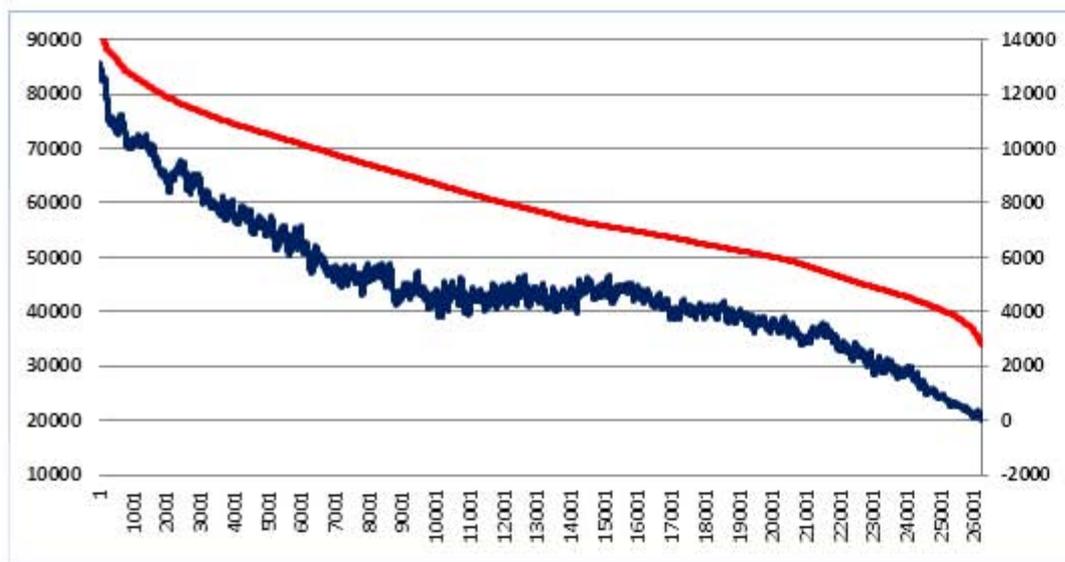
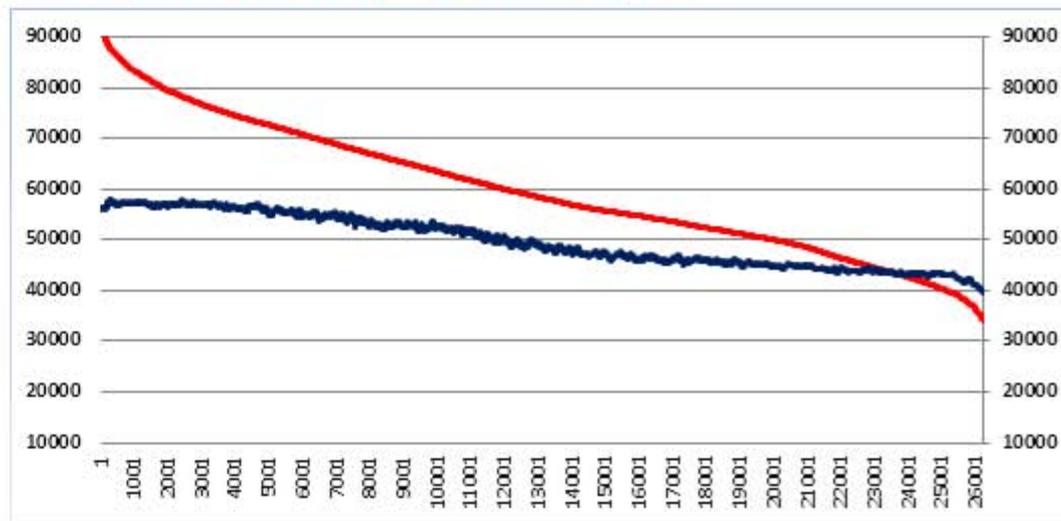
Monotone de consommation - productions



Monotone de consommation Productions nucléaire et hydraulique

Nucléaire

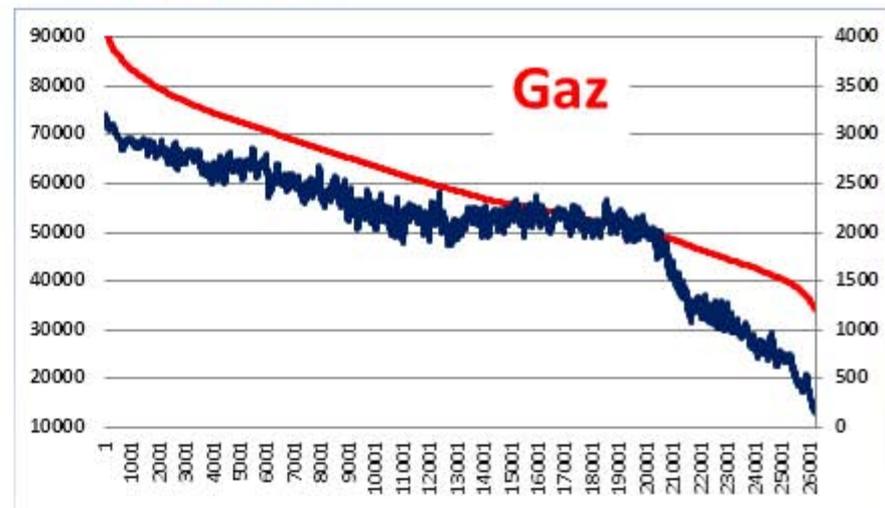
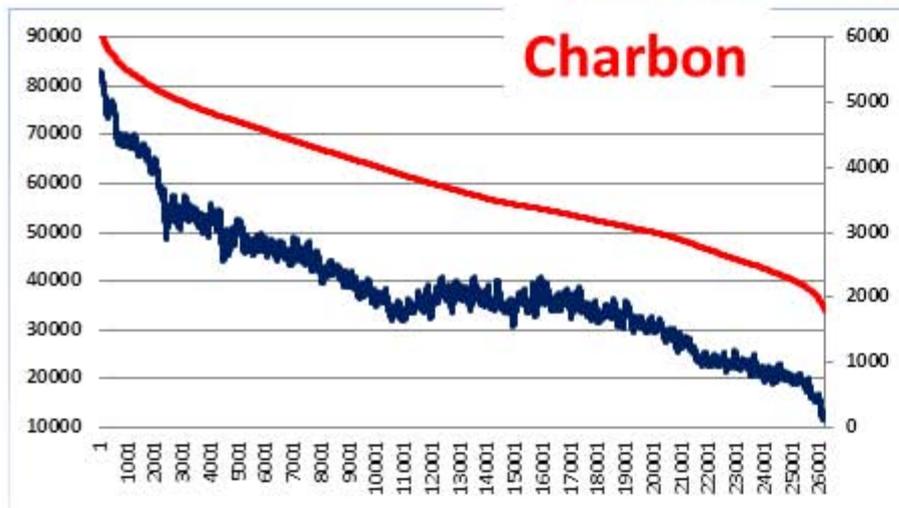
Monotone de consommation
Courbe rouge échelle gauche
Production nucléaire
Courbe bleue échelle droite
Échelles identiques



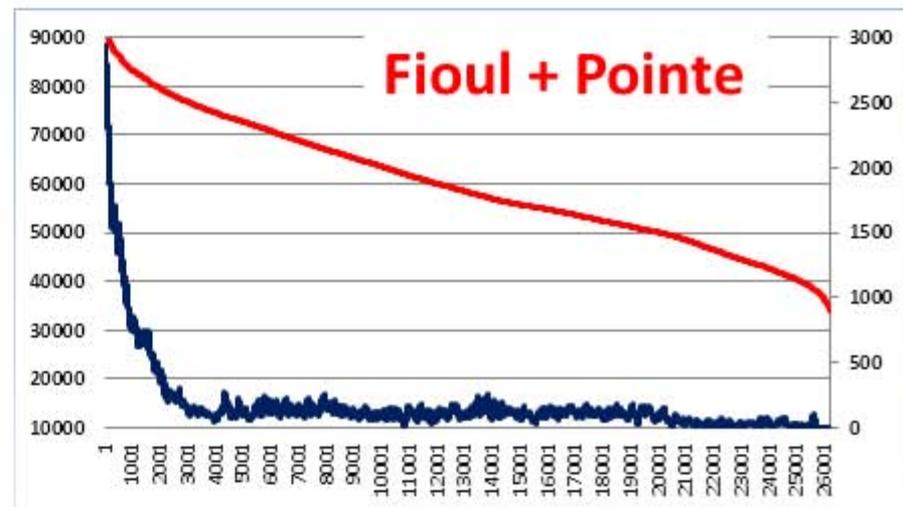
Hydraulique

Monotone de consommation
Courbe rouge échelle gauche
Production hydraulique
Courbe bleue échelle droite
Échelles différentes

Monotone de consommation Productions « fossiles »



Monotone de consommation
 Courbe rouge échelle gauche
 Production « fossiles »
 Courbe bleue échelle droite
 Échelles différentes

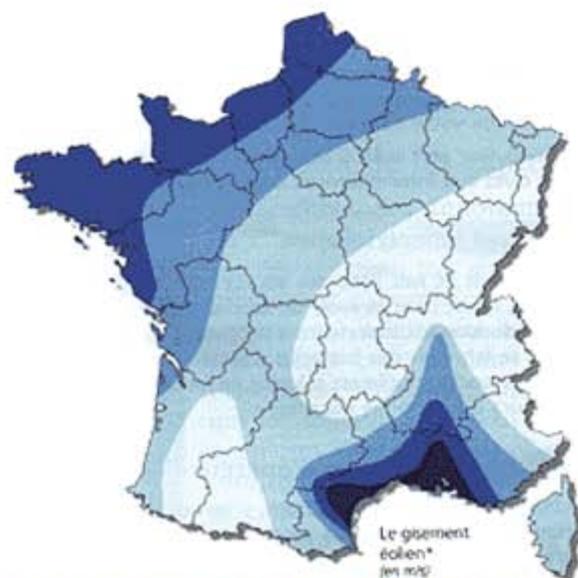


France
Production Eolienne
Période Septembre 2010 – Mai 2011

Eolien – données générales

- Une puissance installée de 5,8 GW (France continentale) 1^{er} Juin 2011
- Une croissance annuelle typique de 1GW par an : 4,95GW au 1^{er} Septembre 2010.
- Une implantation géographique pour laquelle les considérations énergétiques ne sont pas nécessairement prédominantes.

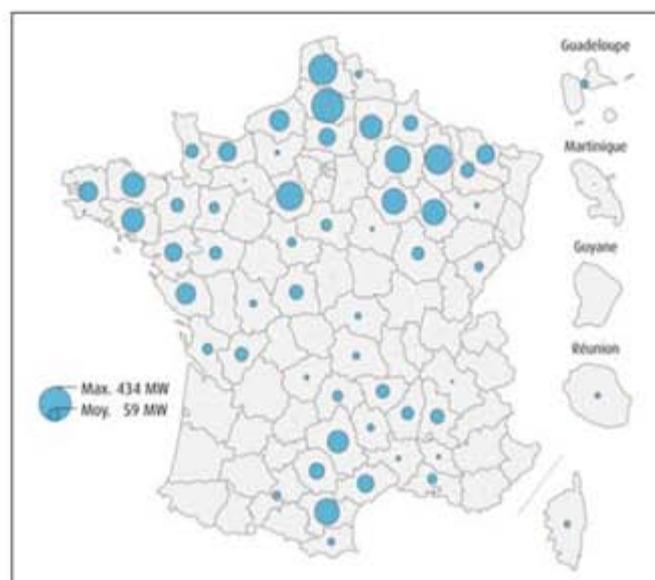
Gisement de vent (vitesses m/s)



Bocage dense, bois, banlieue	Risèe campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes**	Collines**	Zone
<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 31/03/2011



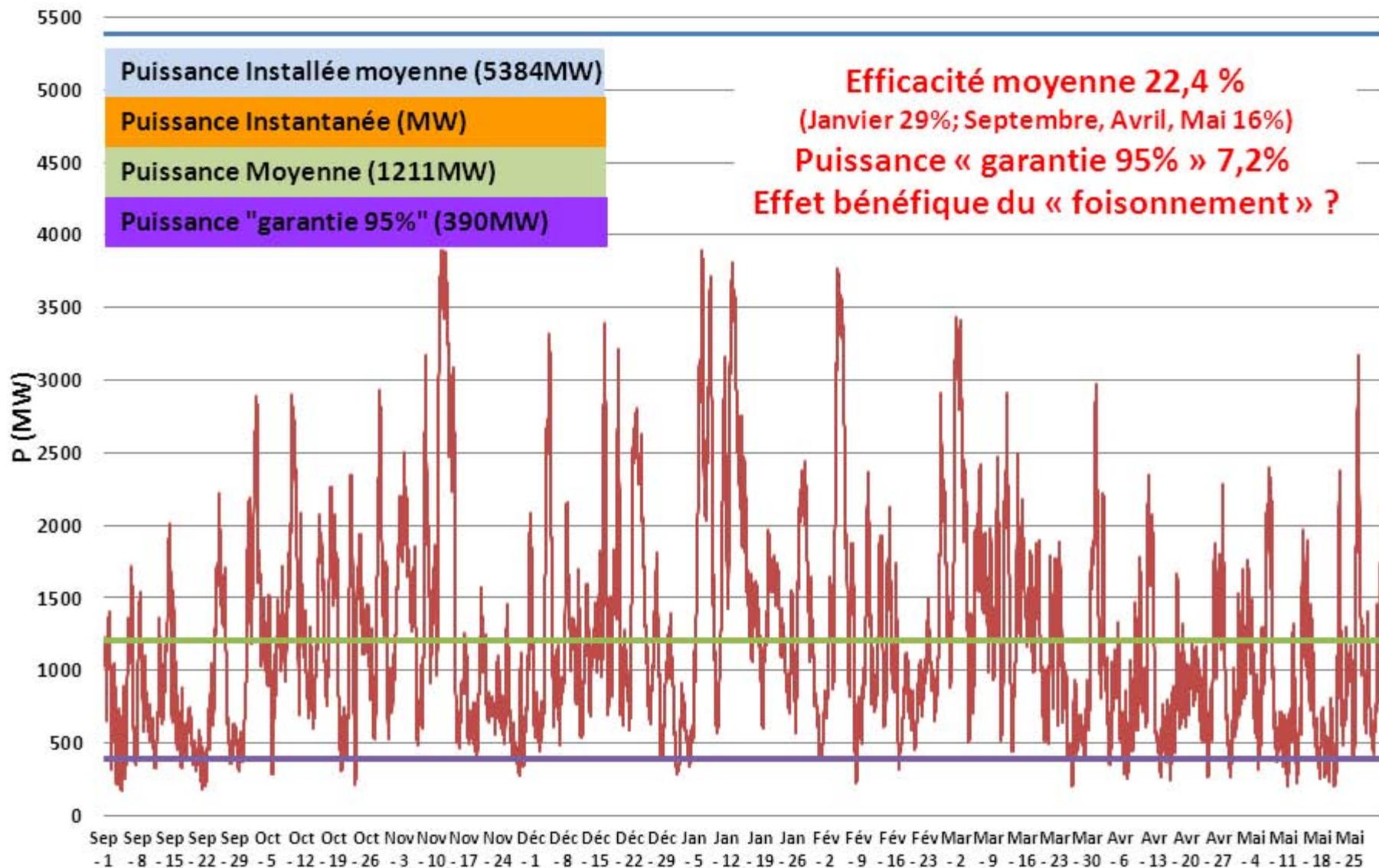
Source CGDR – ERDF-RTE

Les grandes régions éoliennes françaises au 31 Mars 2011

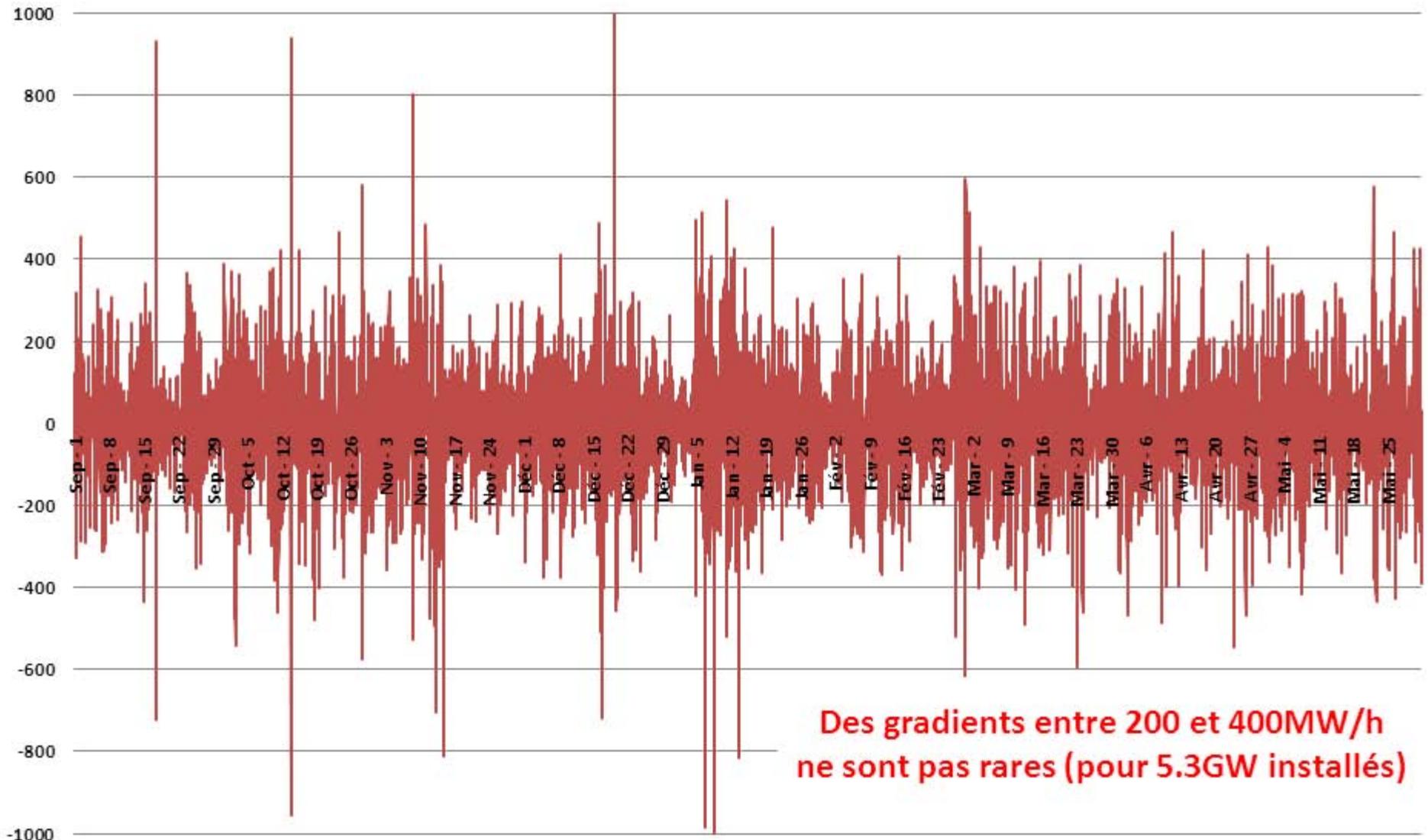
(source ADEME)

Champagne - Ardennes	744MW,
Picardie	709MW,
Bretagne	599MW,
Centre	566MW,
Lorraine	532 MW,
Languedoc – Roussillon	419MW,
Pays de Loire	392MW,
Nord - Pas de Calais	345MW,
Midi - Pyrénées	330MW,
...	
Basse Normandie	198MW,
Haute Normandie	180MW,
...	
PACA	45MW

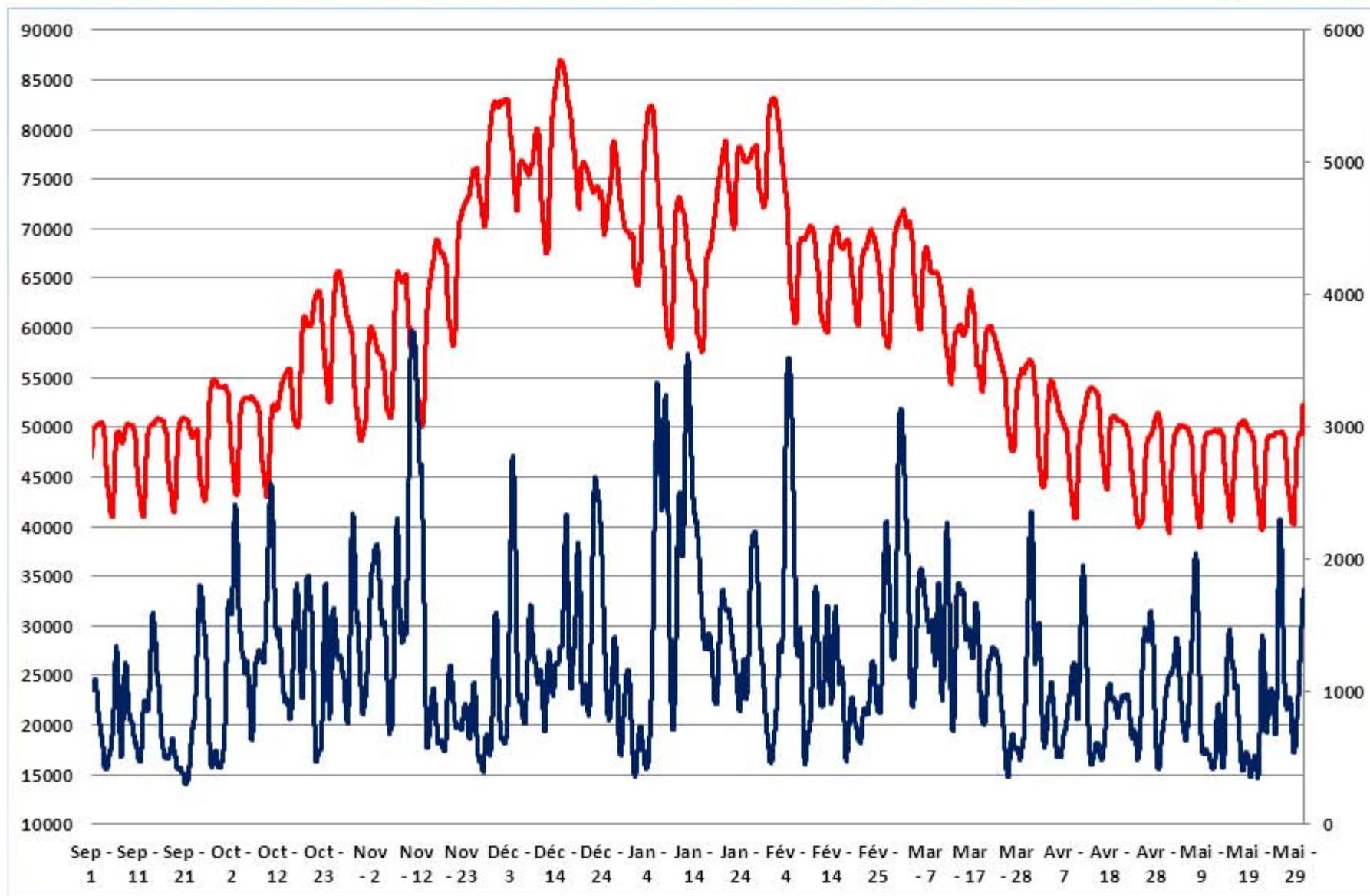
Eolien – Production (MW)



Eolien – Gradients de Puissance (MW/h)



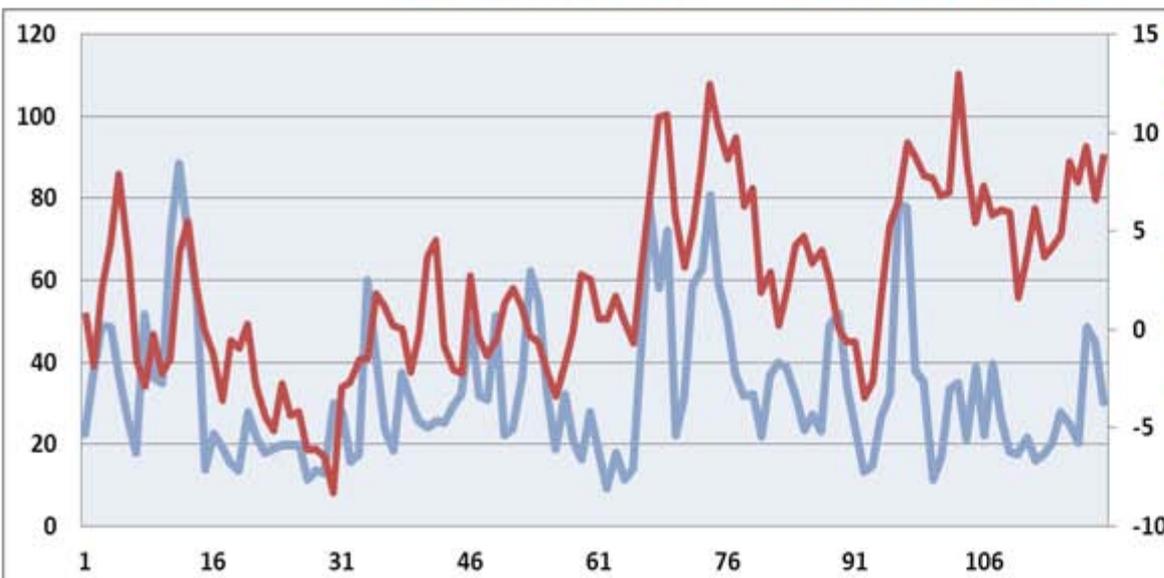
Consommation Electrique et Production Eolienne (MW)



Courbe rouge échelle de gauche : Consommation; Courbe bleue échelle de droite Puissance Eolienne

Production éolienne française en période froide

Novembre – Décembre – Janvier - Février



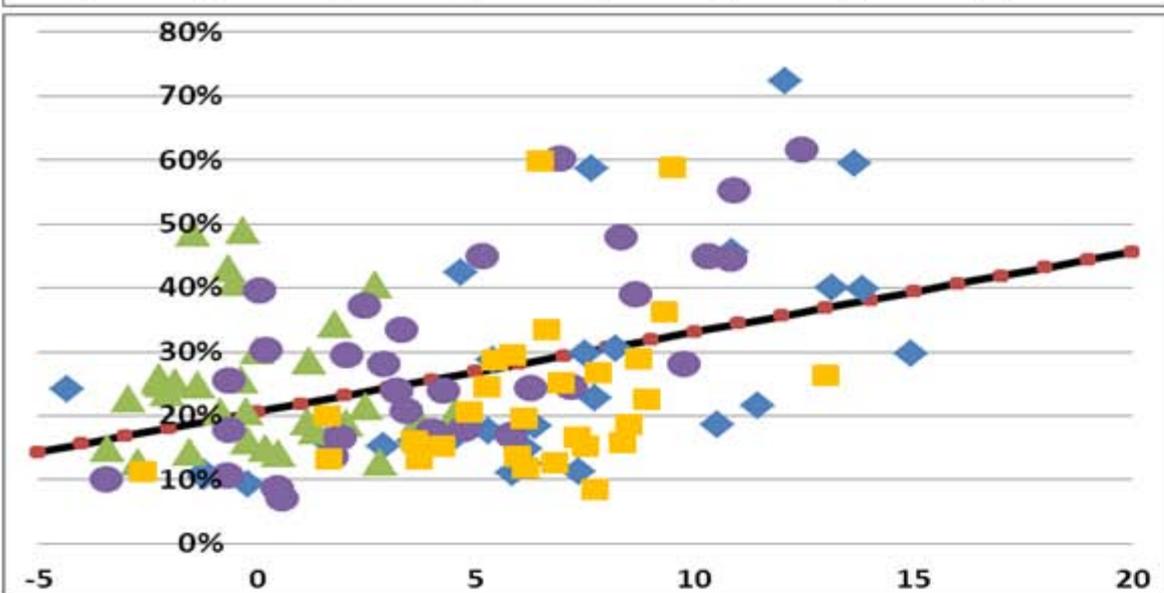
**Production électrique éolienne
Journalière (GWh)**

Courbe bleue échelle gauche

**Température moyenne à
Toussus le Noble (°C)**

Courbe marron échelle droite

Abcisses : jours comptés à partir
Du 1^{er} Novembre (quinzaines)



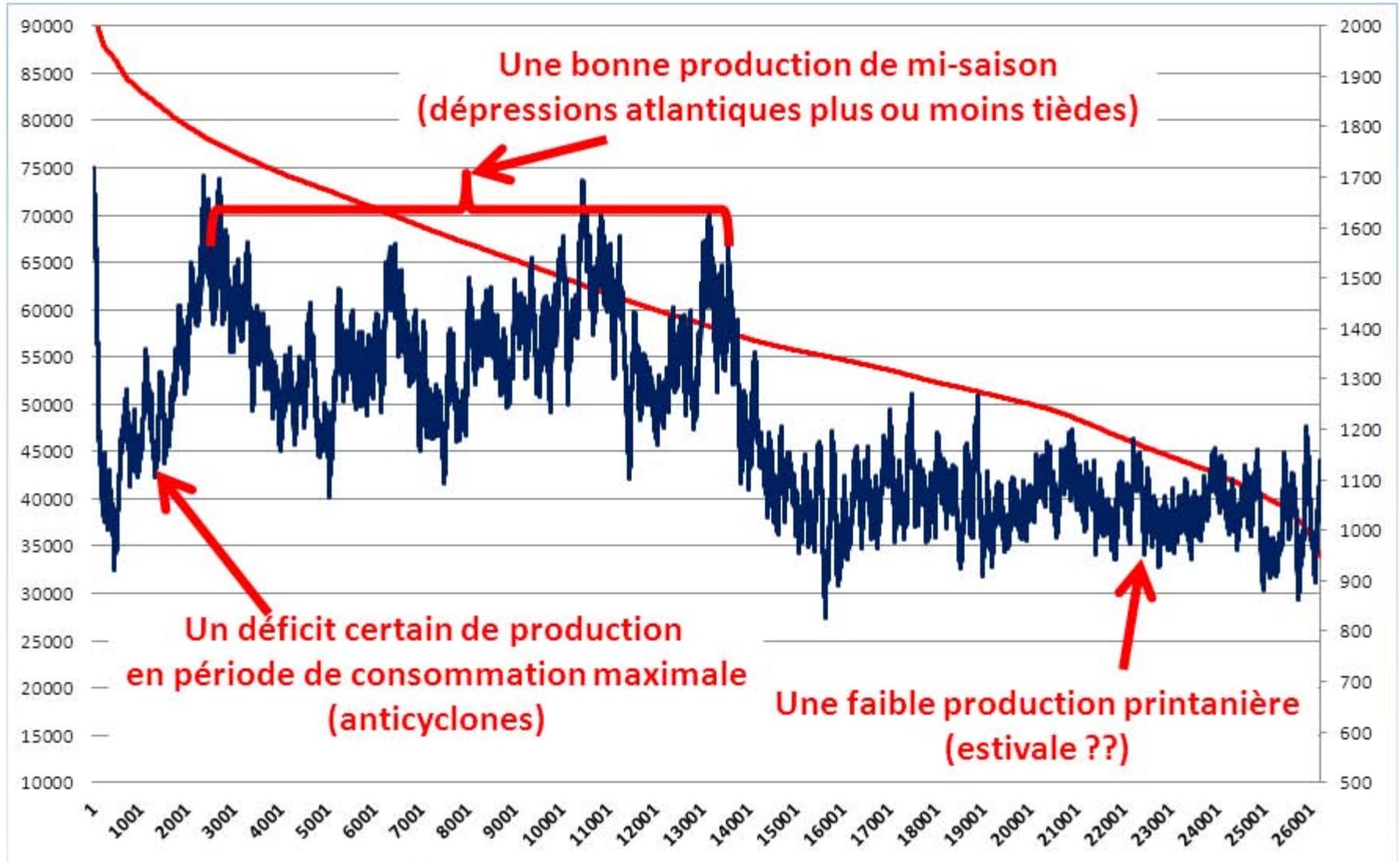
**Ordonnée : efficacité éolienne
journalière (%)**

**Abcisse : Température moyenne
à Toussus le Noble (°C)**

Points bleus (Novembre) verts (Décembre)
violets (Janvier) jaunes (Février)

**Régression linéaire (positive)
+ 1,3% par °C**

Monotone de Consommation Productions Eolienne (MW)

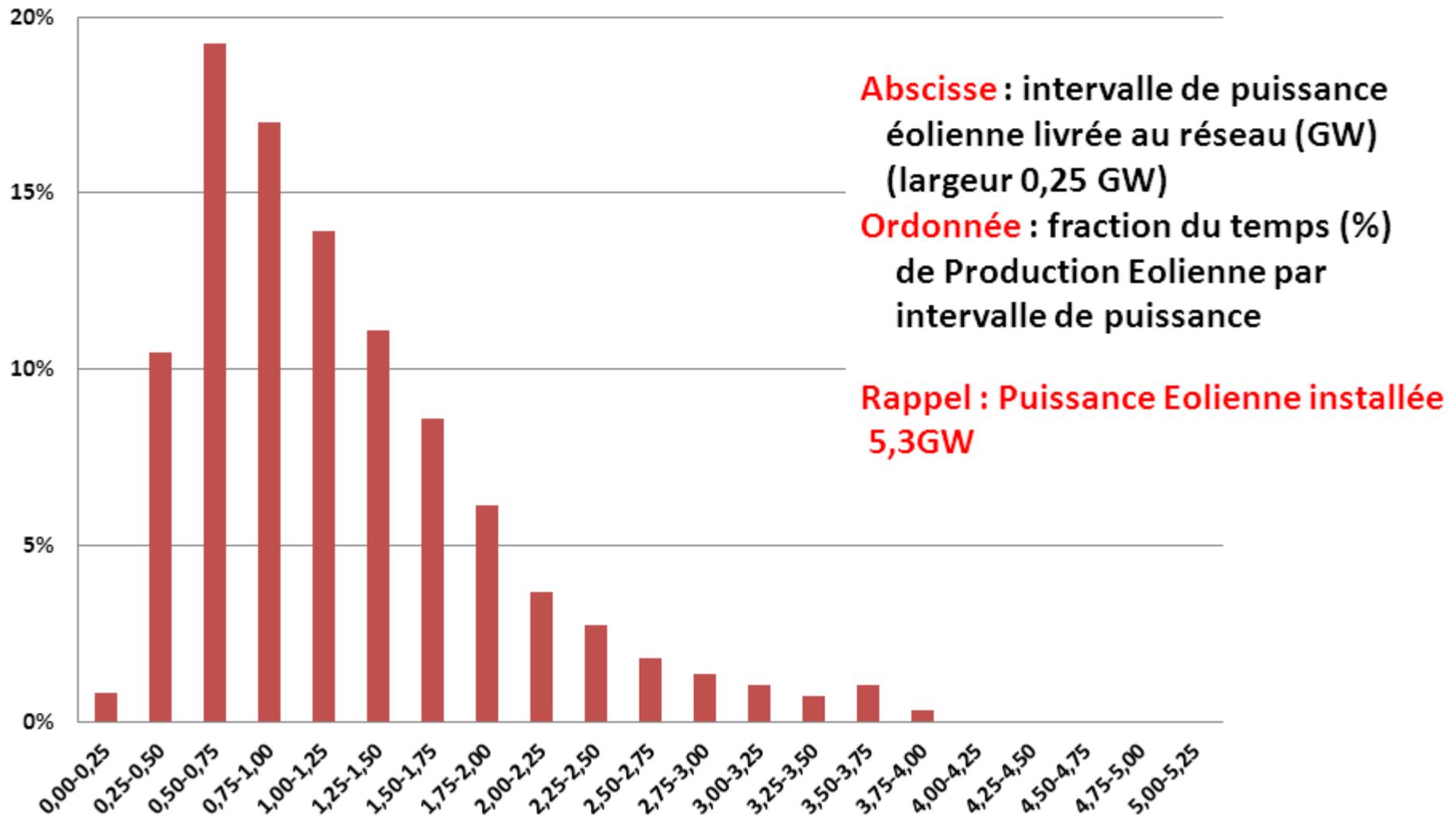


Monotone de consommation Courbe rouge échelle gauche

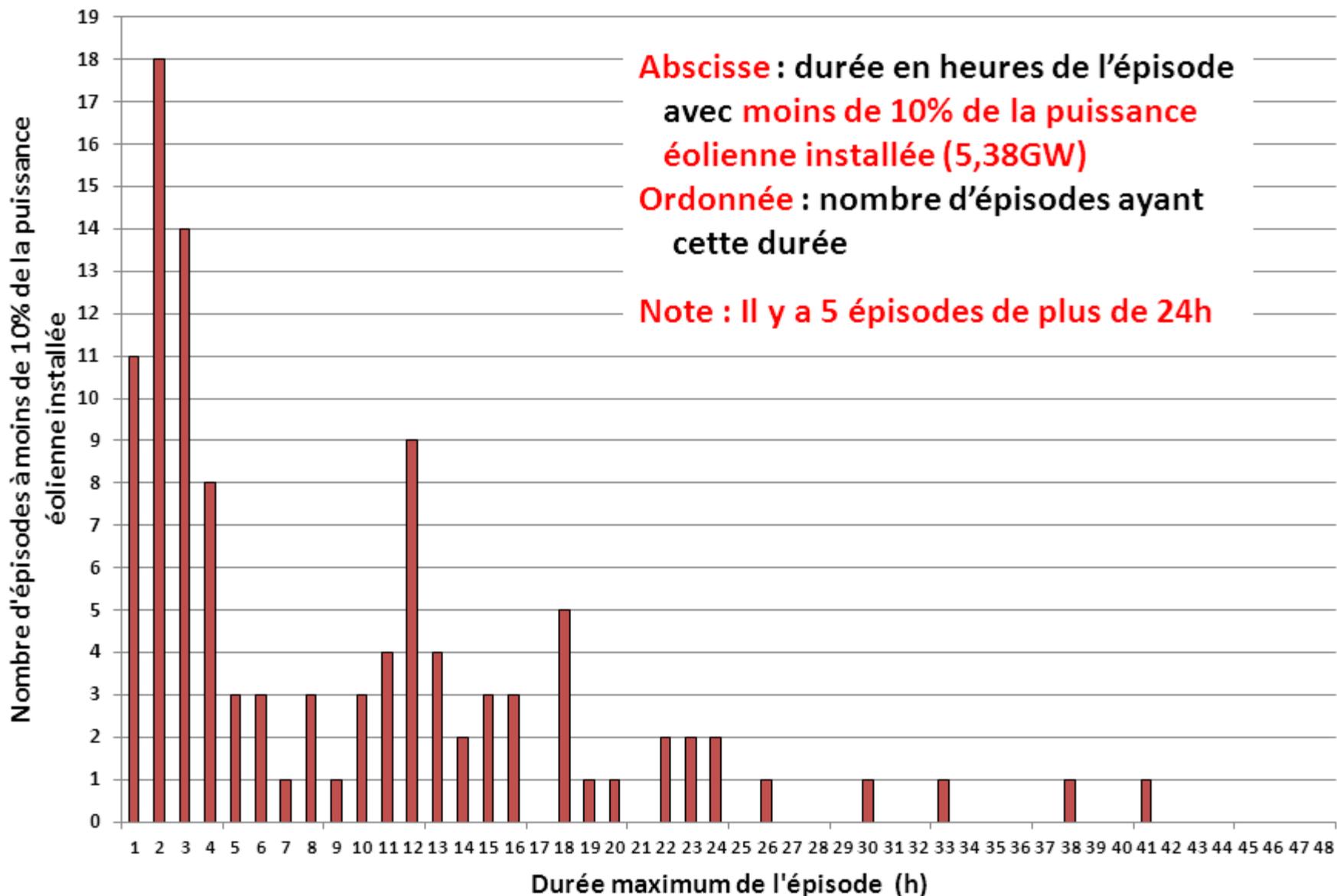
Production « fossiles » Courbe bleue échelle droite

Échelles différentes

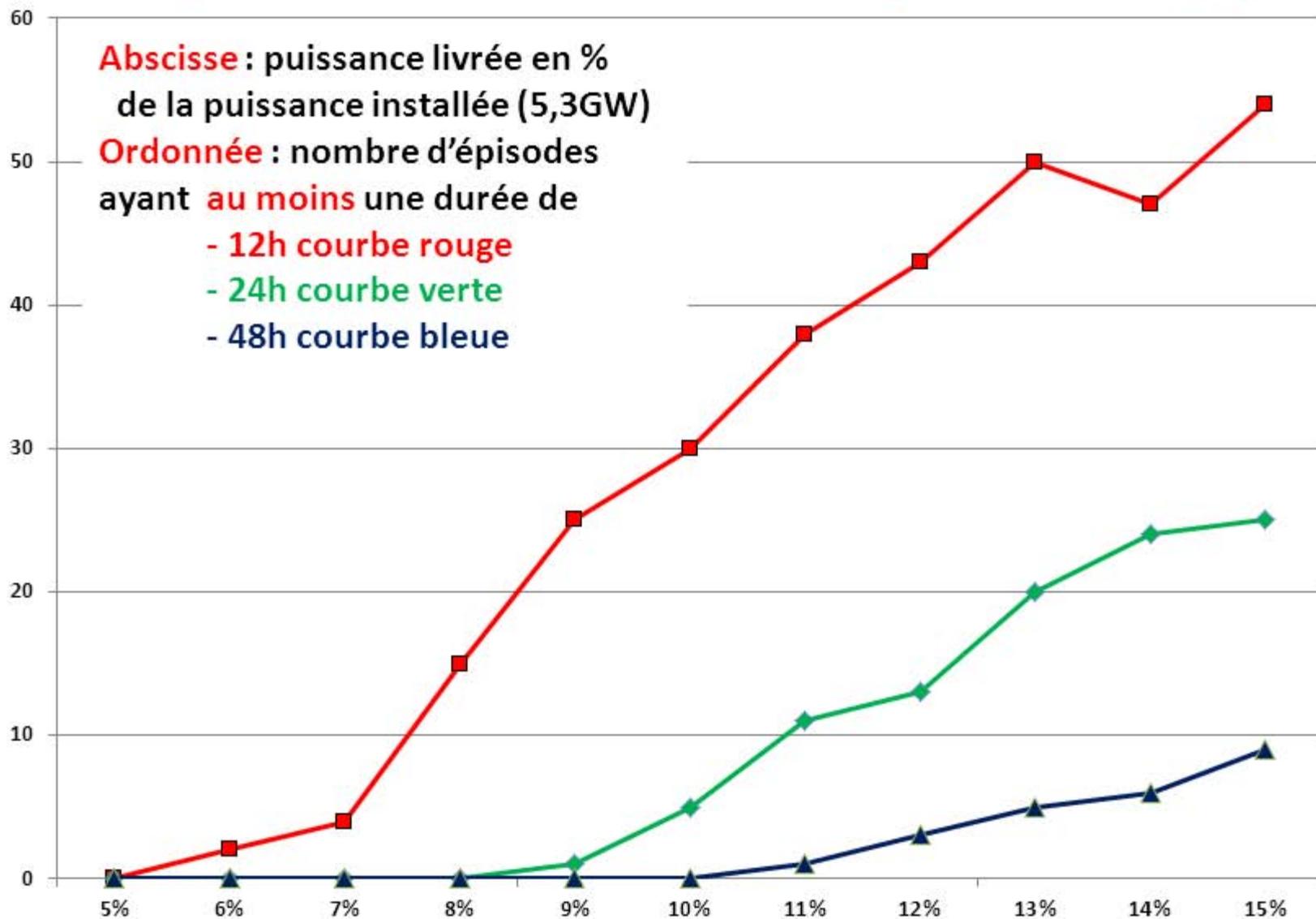
Répartition Temporelle de la Production Eolienne Française



Episodes déventés de longue durée (I)



Episodes déventés de longue durée (II)



Un exercice d'anticipation sur la base des décisions du « Grenelle »

- Les décisions gouvernementales pour l'éolien (échéance 2020 ?)**
- 19 GW éolien terrestre (soit 13,6GW de plus qu'aujourd'hui)**
 - 6 GW éolien en mer**

Motivations possibles du « Grenelle » éolien

1) Economie ?

- Prix d'achat éolien terrestre 80€/MWh

(En fait, le coût effectif en 2010 est de 87€/MWh (référence CRE)

- Prix d'achat éolien en mer 130€/MWh

A ce prix d'achat personne ne construit, au retour de l'appel d'offre en cours (2102) pour 3GW en mer, une fourchette 180-200€/MWh ?

- Coût du renforcement du réseau pour gérer l'intermittence

2) Investissement ?

La subvention est prévue pour 20 ans. Les éoliennes ne tiendront pas au delà.

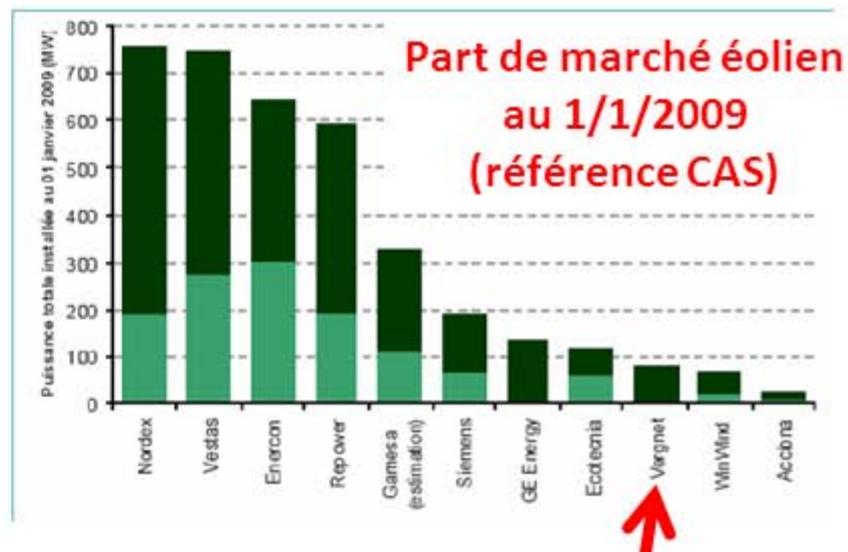
3) Indépendance énergétique ?

Il faudra prévoir des centrales à gaz pour gérer les 4 jours sur 5 (5/6?) sans vent

4) Politique industrielle et de l'emploi ?

- Pas une éolienne érigée en Métropole n'a été (et ne sera) construite en France
- Gestion de l'étranger par télémaintenance

La seule justification pour le déploiement éolien en France semble être l'écologie. L'éolien pourrait éviter des émissions CO2 dans le secteur électrique.



Un seul constructeur en France, Vergnet qui ne fait que des éoliennes pour les DOM-TOM

Scénario test du potentiel écologique du plan « Grenelle » éolien

1) Vingt « Pays de France »

- vivant sous le même climat 2010-2011 – consommation électrique identique
- avec un parc éolien ayant 1, puis 2, puis 3 ... puis 20GW d'éolien installé en plus.

2) Hypothèses de base

- La production éolienne croît à tout instant en proportion de la puissance installée
- Comme aujourd'hui l'éolien garde la priorité absolue pour injection sur le réseau
- On s'attache à éliminer la production CO2 .
- En tant qu'énergie fatale «autres» ne peut participer à l'ajustement.
- L'import-export (dominé par l'export) ne peut participer à l'ajustement

3) Conséquences

- Les modes de production que l'on peut dispatcher doivent s'ajuster pour assurer à tout instant l'équilibre entre production et consommation.
- On utilise l'éolien en priorité pour arrêter la production d'électricité « Charbon », puis « Gaz » puis « Fioul »

Test de l'écologie du « Grenelle » éolien

Les trois phases

Phase 1 : « Instantanée »

Toute puissance éolienne sert à arrêter instantanément de la puissance « Charbon », puis « Gaz » puis « Fioul »

Phase 2 : « Hydraulique »

Si après la phase 1, il reste de la puissance éolienne inutilisée

- 1) on arrête instantanément l'écoulement de l'eau des barrages (hydraulique)
- 2) on utilise plus tard, dès que possible, cette eau préservée pour arrêter de la puissance « Charbon », « Gaz » puis « Fioul » lorsque la phase 1 n'a pas tout arrêté.

Phase 3 : « STEP » (Station de Transfert d'Énergie par Pompage)

Si après la phase 2, il reste encore de la puissance éolienne

- 1) on pompe de l'eau dans les STEPs françaises (~5GW et ~100GWh)
- 2) on utilise plus tard, dès que possible, cette eau « remontée » pour arrêter de la puissance « Charbon », « Gaz » puis « Fioul » quand les phases 1 et 2 n'ont pas tout arrêté.

Une fois tout ceci fait, s'il reste encore de l'énergie éolienne,
il faut arrêter du nucléaire sans aucun gain sur les émissions de CO2

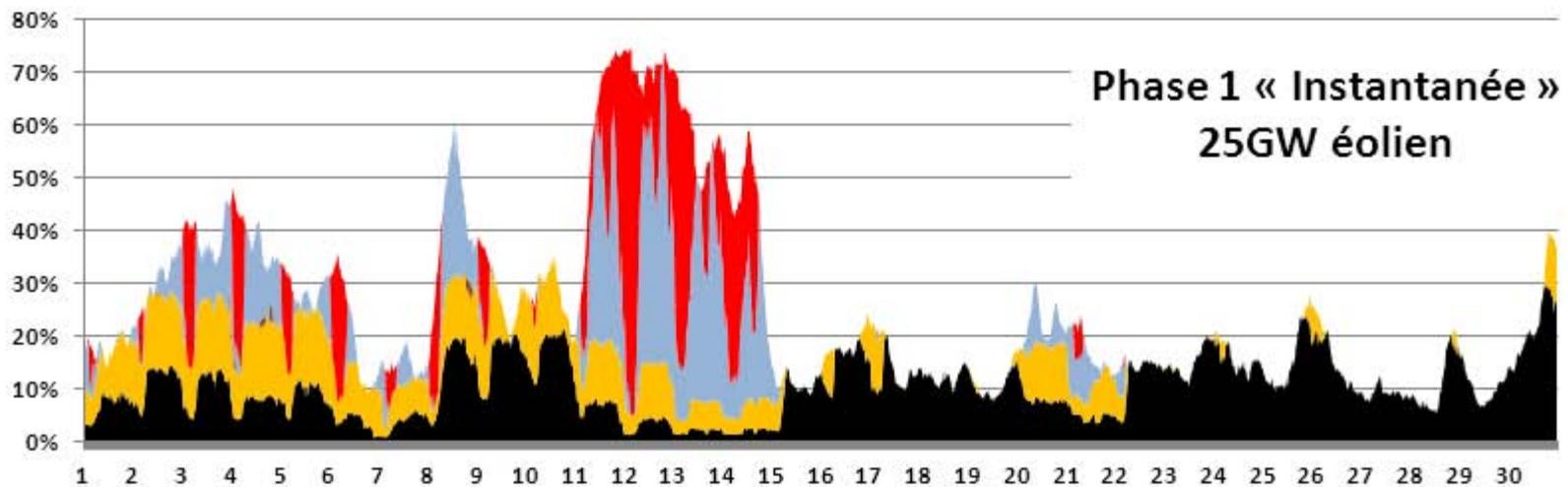
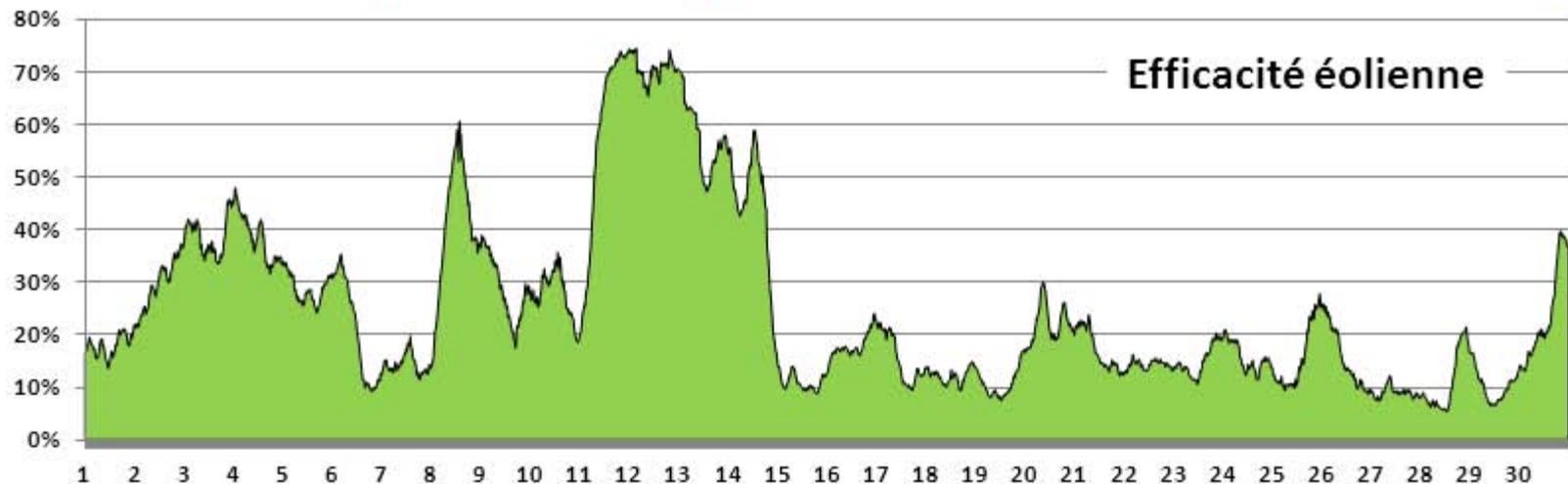
Test de l'écologie du « Grenelle » éolien

Choix d'hypothèses systématiquement favorables à l'éolien

- 1) Le réseau accepte instantanément tous les transferts d'électricité demandés**
- 2) Les deux gestionnaires impliqués ERDF (éoliennes) et RTE (centrales) ajustent instantanément leurs actions.**
- 3) Il n'y a aucune perte d'énergie lors des transferts**
- 4) Les centrales « fossiles » ajustent instantanément leur production aux exigences de la production éolienne.**
- 5) Les réservoirs de barrage ont à tout instant une capacité suffisante pour accepter toute l'énergie éolienne qu'on veut sauvegarder**
- 6) Dans les phases 2 et 3 lorsque l'hydraulique sert à la fois à assurer l'équilibre consommation-production et à utiliser les réserves d'eau sauvegardées pour effacer de la production « fossile », il y a toujours des turbines disponibles pour effectuer les deux tâches en même temps.**
- 7) Les STEPS sont mises au service exclusif de la politique CO2 éolienne.**
- 8) Les propriétaires de centrales « fossiles » acceptent gracieusement que leur outil de production soit utilisé de façon non économique.**

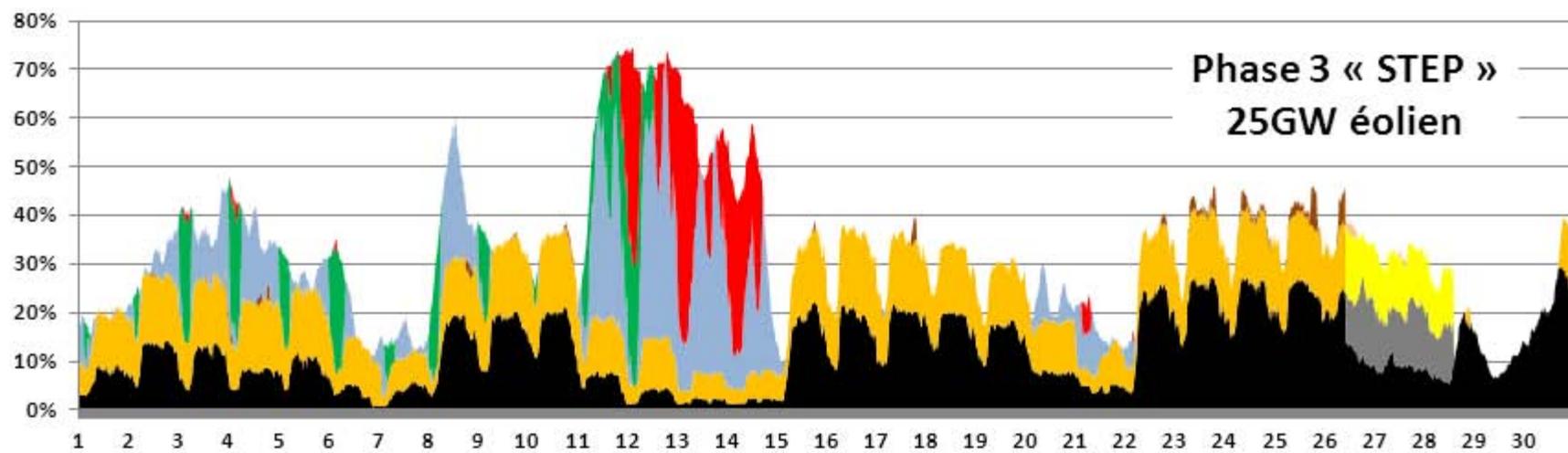
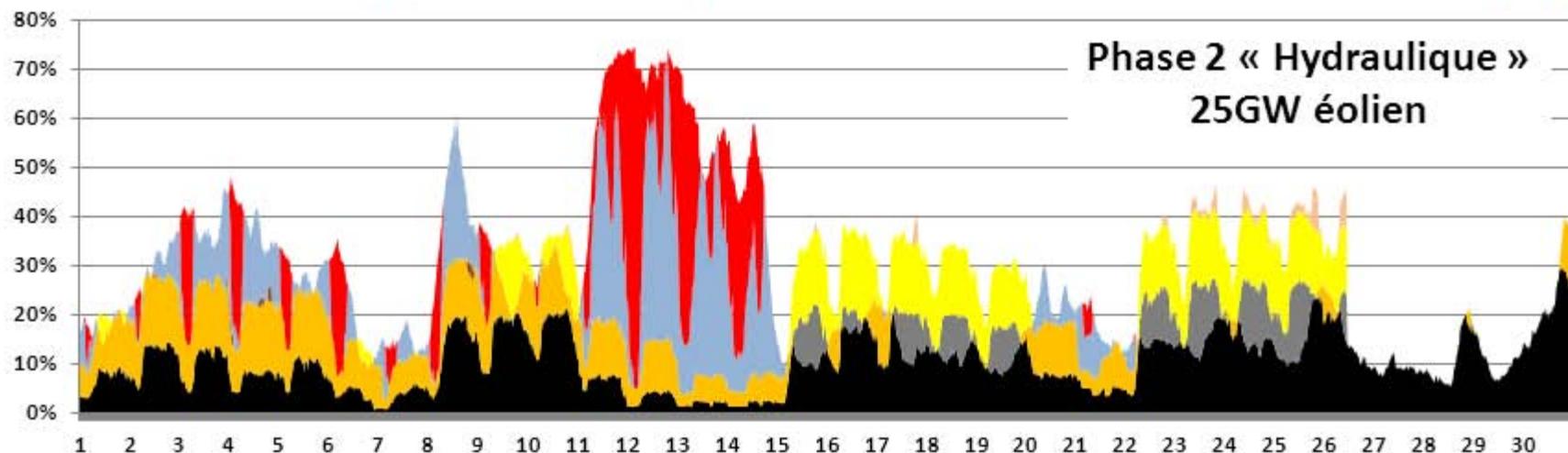
Test de l'écologie du « Grenelle » éolien

Illustration des phases 1 à 3 pour le mois de Novembre 2010 (I)



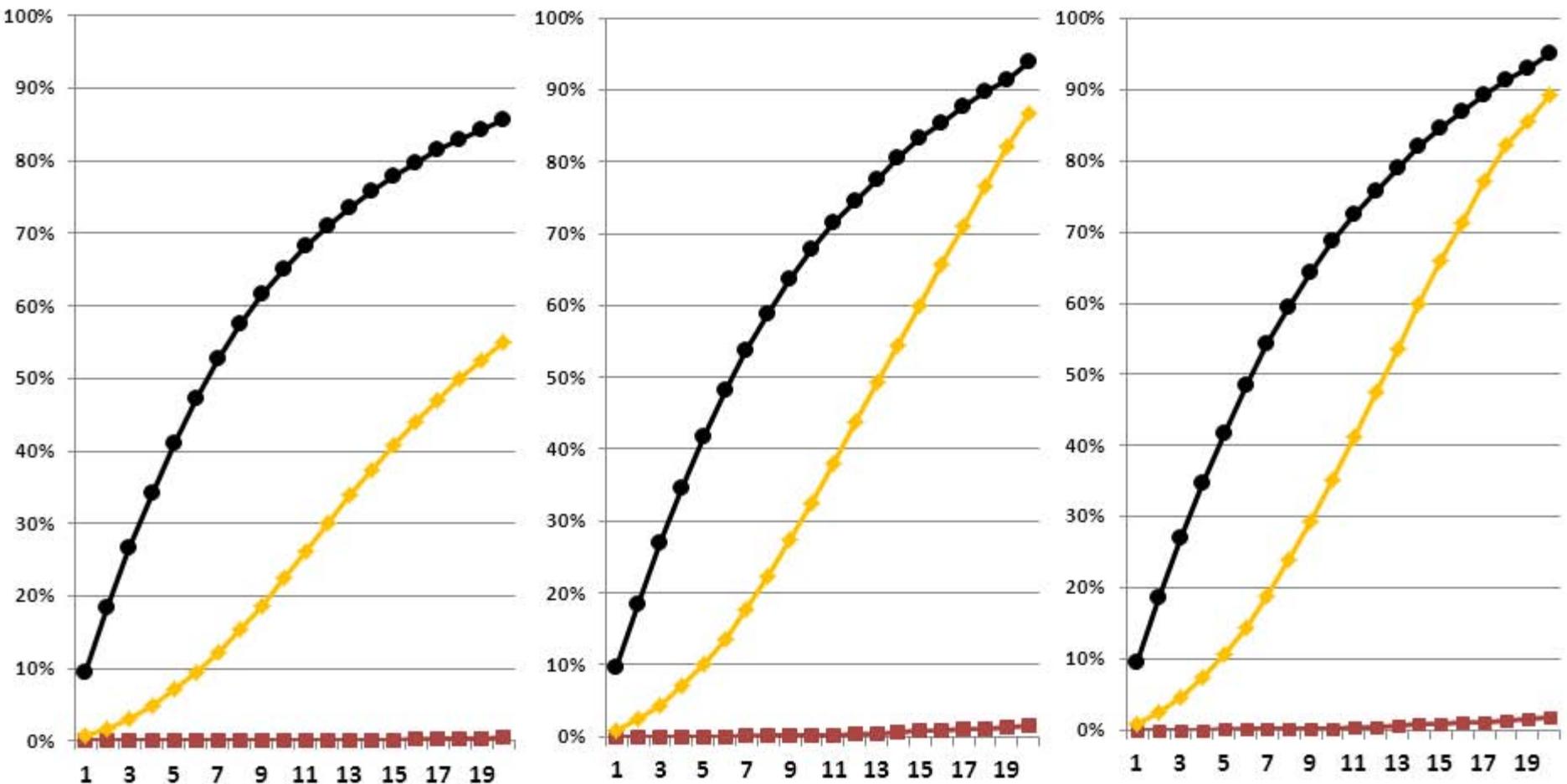
Test de l'écologie du « Grenelle » éolien

Illustration des phases 1 à 3 pour le mois de Novembre 2010 (II)



Test de l'écologie du « Grenelle » éolien

Résultats – Période Septembre 2010 – Mai 2011

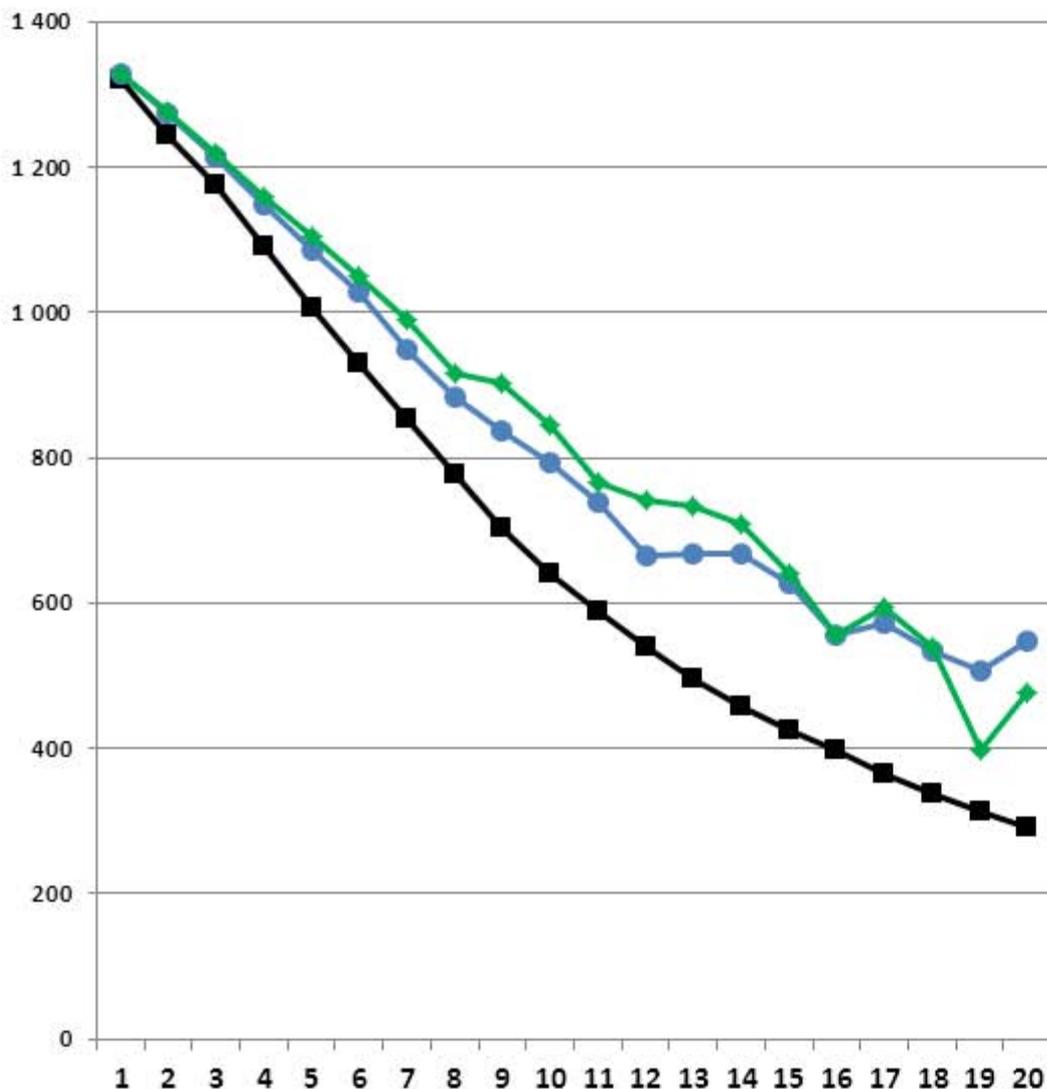


Abcisses : Nombre de GW d'éolien installé additionnel (de 1 à 20)

Ordonnées : % de production « Charbon » (noir), « Gaz » (jaune) et « Fioul » (brun) effacée

Test de l'écologie du « Grenelle » éolien

Quantités de CO2 évités par chaque GW éolien



Abscisses :

Nombre de GW d'éolien installé
additionnel (de 1 à 20)

Ordonnées :

Masse (kg) de « CO2 électricité) évité

Phase 1 « Instantanée » (noir)

Phase 2 « Hydraulique » (bleu)

Phase 3 « STEP » (vert)

Élément de comparaison

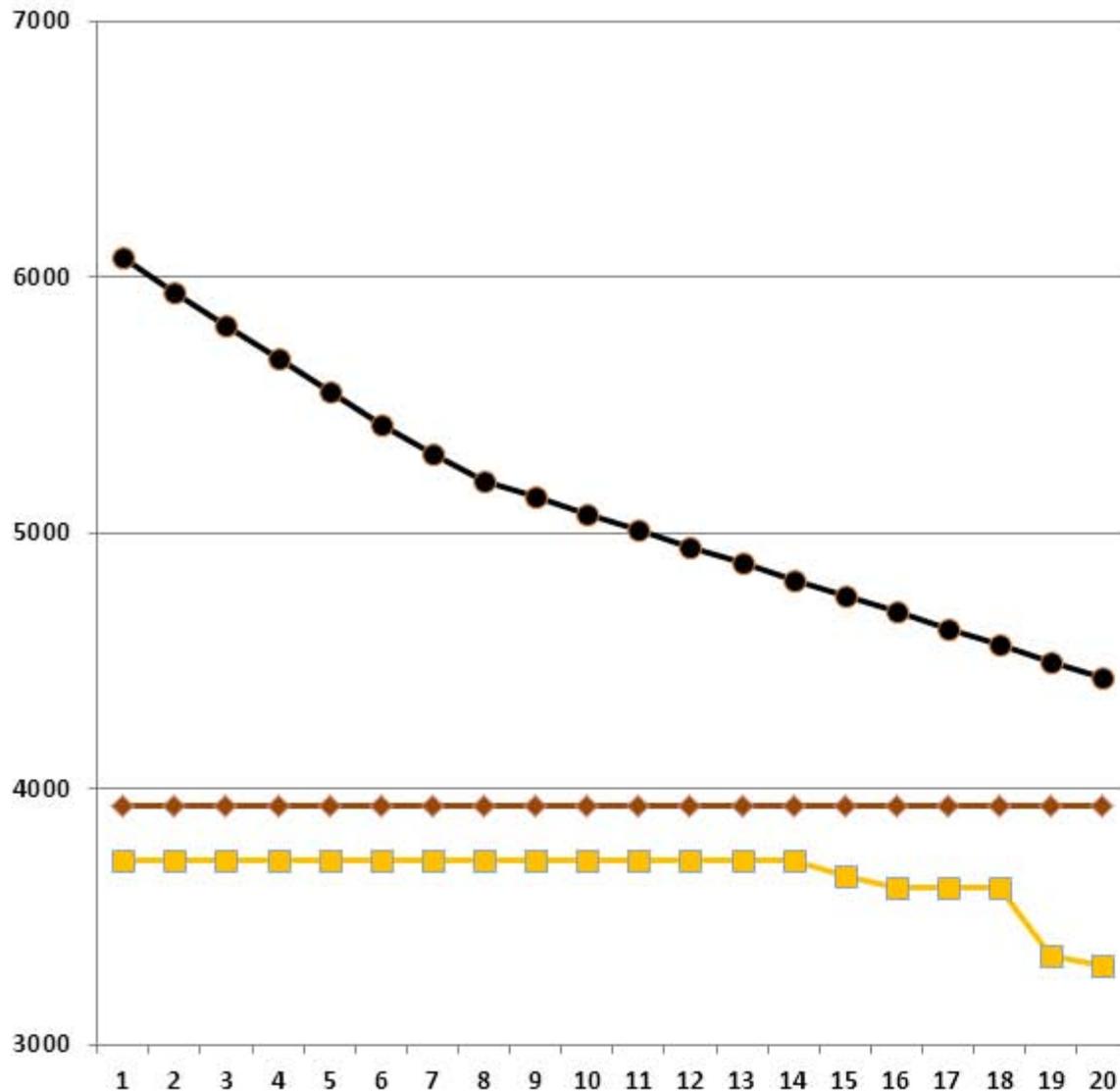
En 2010 les émissions de CO2 de
l'humanité se sont élevées à 30,7Gt

Le GIEC estime que la terre peut
« gérer » 10Gt d'émissions CO2

Les ambitions éoliennes du
« Grenelle » se situent donc quatre
ordres de grandeur en dessous de
La dimension du problème.

Test du « Grenelle » éolien

Puissance de centrale « fossile » évitable grâce à l'éolien



Abscisses :

Nombre de GW d'éolien installé additionnel (de 1 à 20)

Ordonnées :

Puissance (MW) de centrale

qui reste nécessaire

« Charbon » (noir)

« Gaz » (jaune)

« Fioul » (brun)

Le premier GW éolien permet de

de « retirer » 130MW

de centrale « Charbon »

Le vingtième GW éolien permet de

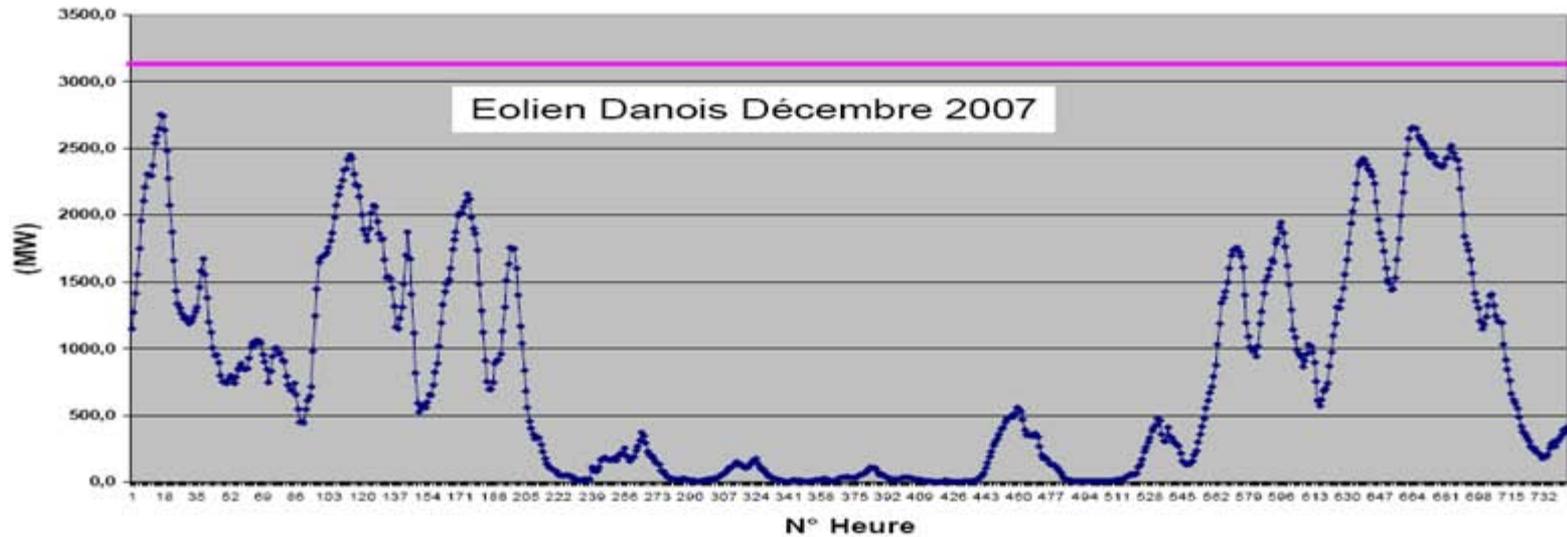
de « retirer » 110MW

de centrale « Charbon + Gaz »

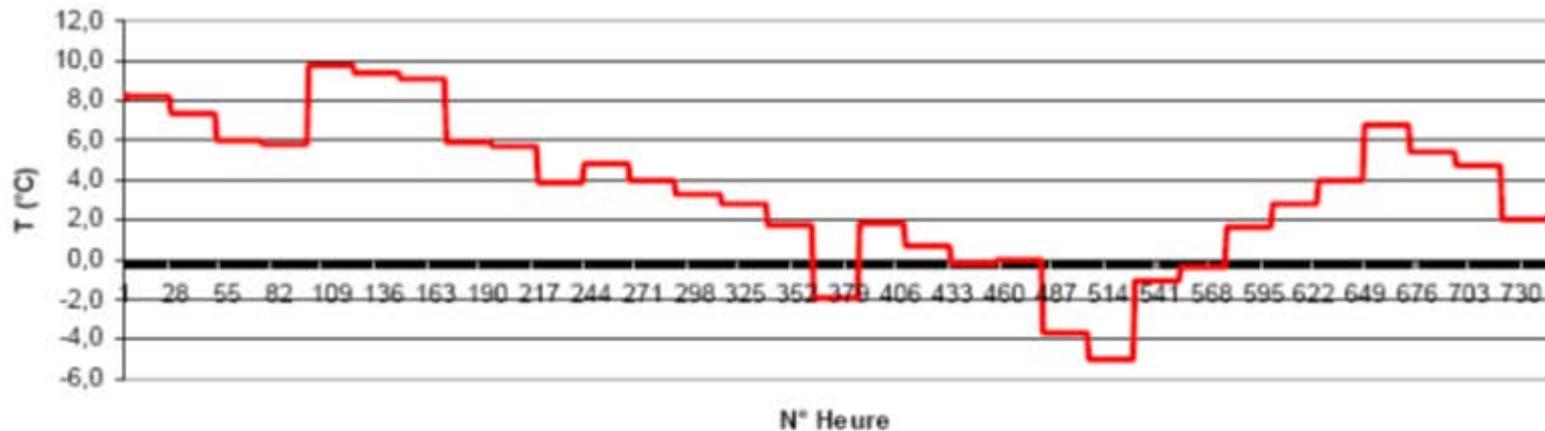
Éléments de Perspective

Etude de cas étrangers antérieurs: Danemark

De longue vagues de froid anticycloniques



Hamburg Décembre 2007

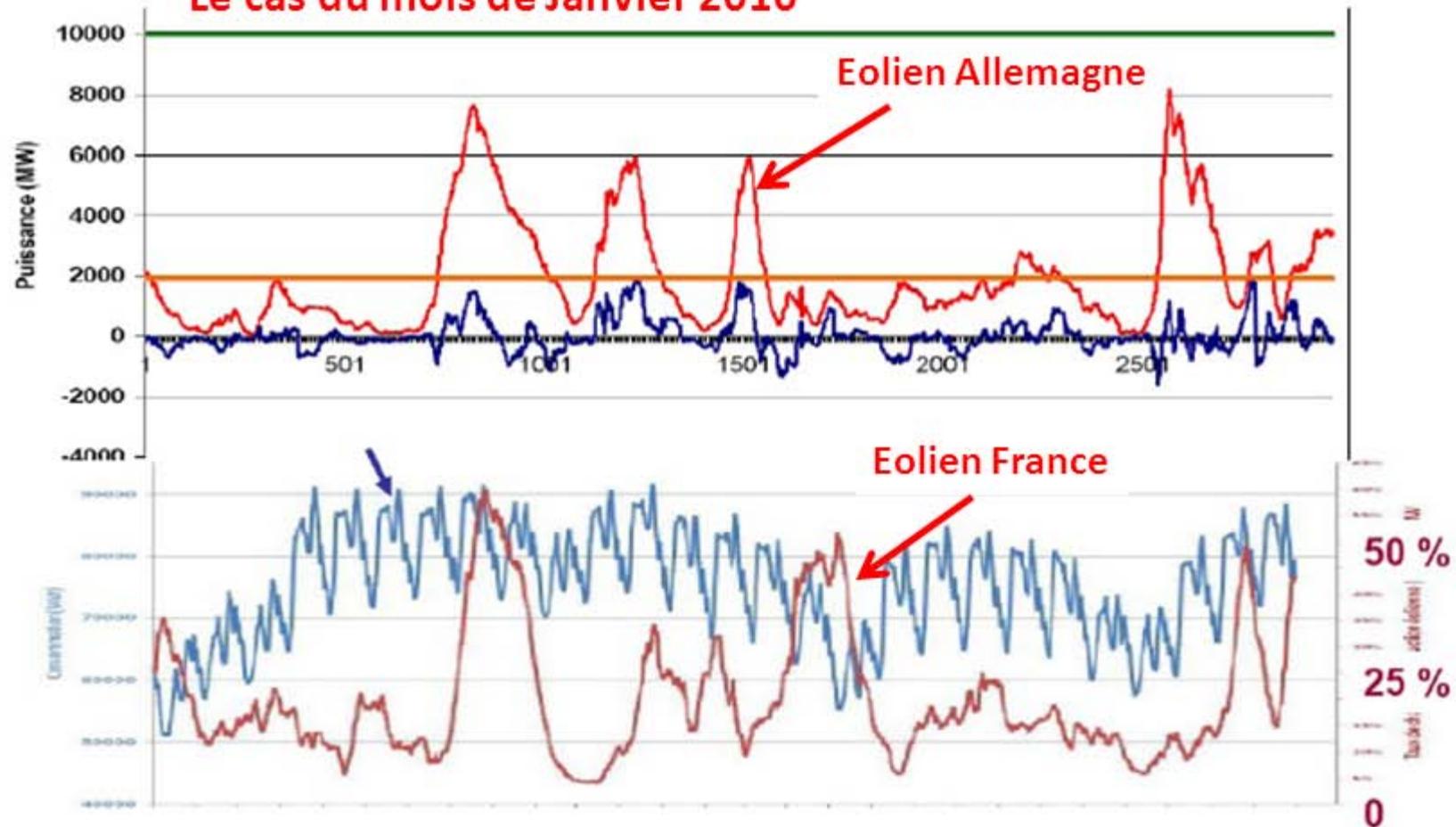


—■— Température Moyenne Journalière

Etude de cas étrangers antérieurs: Allemagne

Le « foisonnement » à l'échelle de l'Europe n'est pas garanti.

Le cas du mois de Janvier 2010



Abcisse : quart d'heure du mois

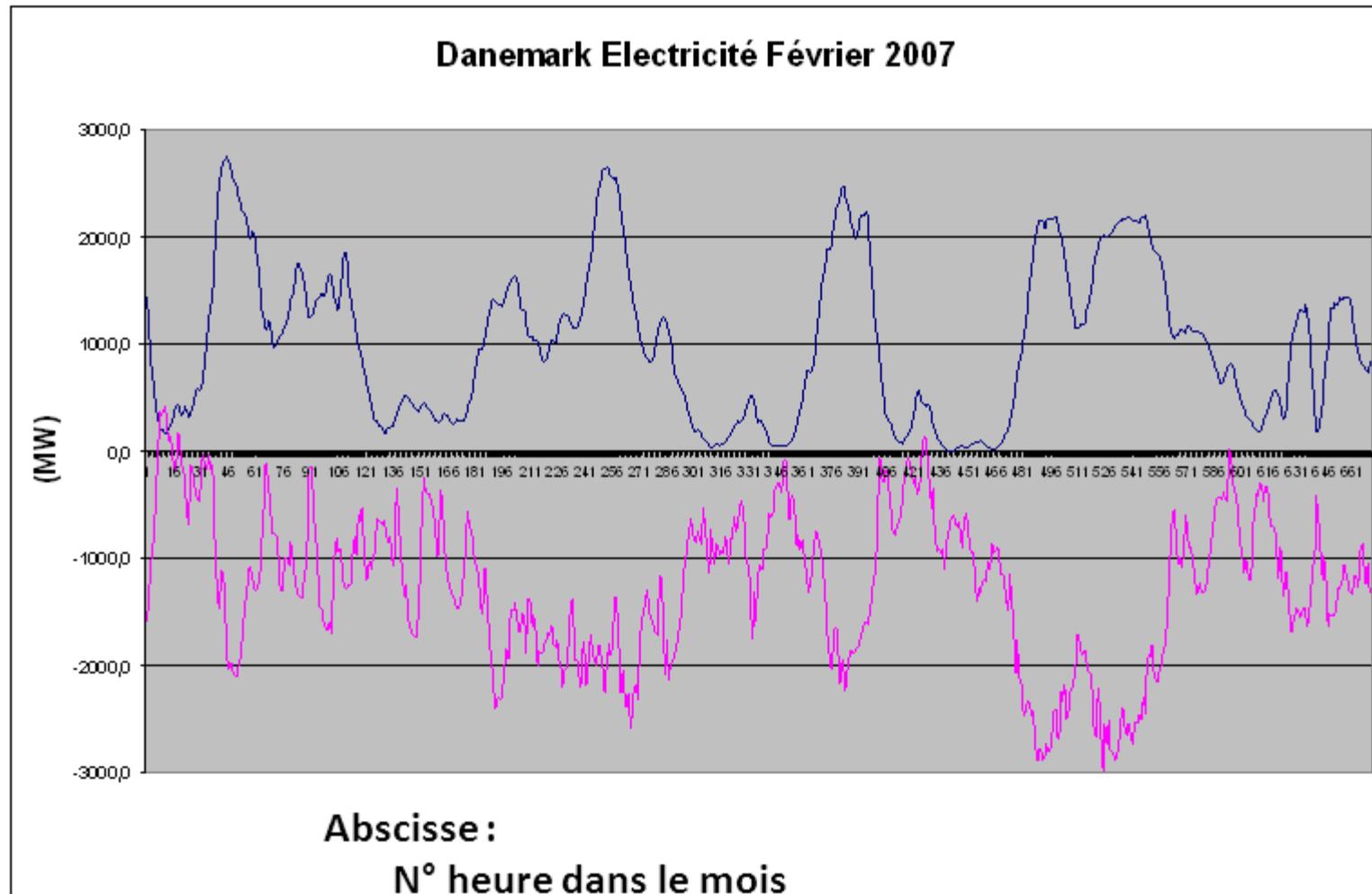
Ordonnée :

Figure haut : Puissance éolienne (MW) **livrée (rouge)** **installée (vert)** erreur (bleu)

Figure bas : **Efficacité éolienne (brun %)** **puissance consommée (bleue MW)**

Etude de cas étrangers antérieurs: Danemark

Un surcroît de vent ne se gère souvent que par l'exportation.



Abscisse :

N° heure dans le mois

Ordonnée (échelles positive et négatives identiques)

Courbe bleue : Puissance éolienne (positif)

Courbe rose : Puissance exportée (négatif)

Dernières remarques

En France,

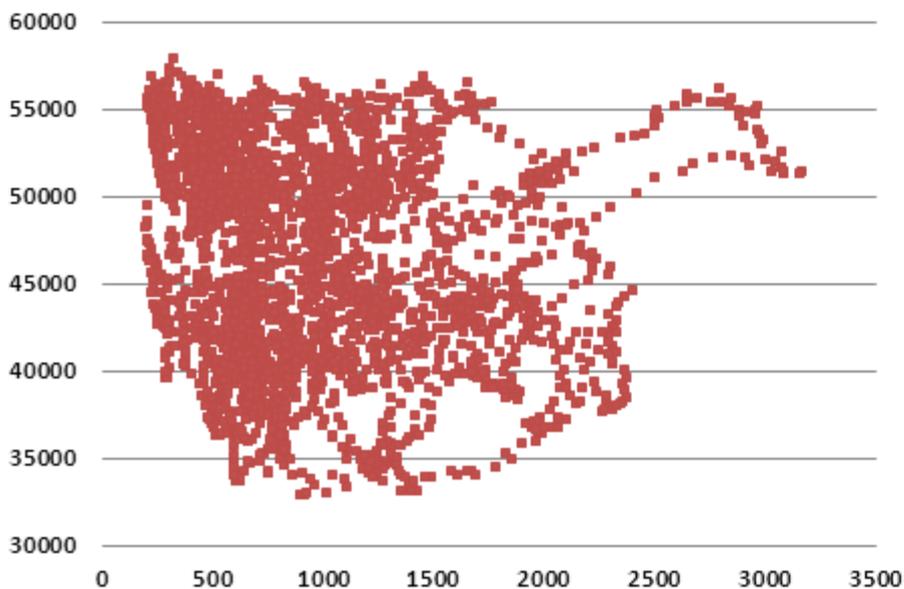
l' éolien ne semble pas avoir de caractéristique remarquable par rapport à celui des pays voisins.

- Son efficacité (~21-22%) est un peu meilleure que celle de l'Allemagne (18% en 2009) et un peu moins bonne que celle du Royaume-Uni (~24%)
- Les évolutions temporelles des puissances éoliennes à travers l'Europe sont fortement corrélées. Les opportunités d'échange transfrontaliers d'énergie éolienne via un super réseau (à payer et à construire) sont donc limitées.
- Pour préparer les choix du déploiement en mer (retour d'appel d'offre et décision annoncés pour 2012), un accès ouvert aux données temporelles de la production des quelques parcs étrangers en fonctionnement (Danemark, UK) serait un utile outil de politique publique.

En France

- Impossible de suivre avec une bonne résolution temporelle, la production d'un site éolien dans chaque région de France (ni d'ailleurs d'une centrale solaire photovoltaïque)
- Impossibilité d'analyse des contraintes géographiques du déploiement éolien ni de son véritable potentiel de « foisonnement »

Pourquoi pas une loi sur la transparence des énergies renouvelables ?



Une « oie » avec beaucoup de points sur la queue
Données RTE France - Mai 2011
 Corrélation entre puissance électrique (ordonnée) et puissance éolienne livrée (abscisse).
 Unité MW

Merci de votre attention.

Quatre beaux vers sur l'intermittence
Dante Gabriel Rossetti
(The Woodspurge)

*"The wind flapp'd loose, the wind was still,
 Shaken out dead from tree and hill:
 I had walk'd on at the wind's will,
 I sat now, for the wind was still.
"*