

An aerial photograph showing a large dam structure across a valley. The dam is a long, low wall with a concrete spillway on the right side. Behind the dam is a large reservoir of water. The surrounding landscape is a mix of dense green forests and open green fields. In the distance, there are rolling hills and a cloudy sky. The overall scene is a natural, forested environment with a significant engineering structure.

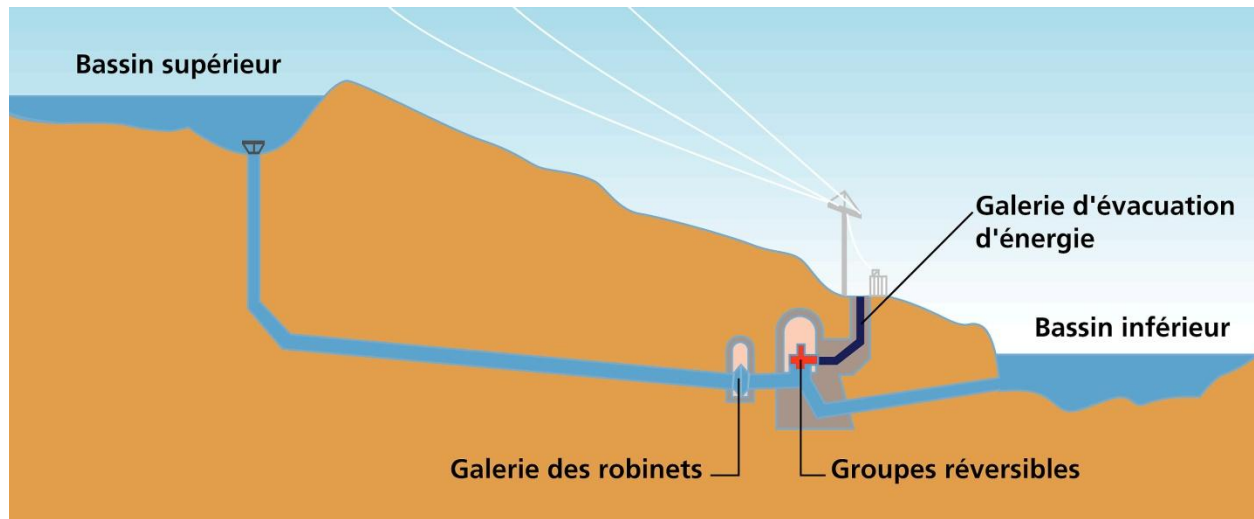
# Les STEP

## Passé et avenir

(Stations de Transfert d'Énergie  
par Pompage)

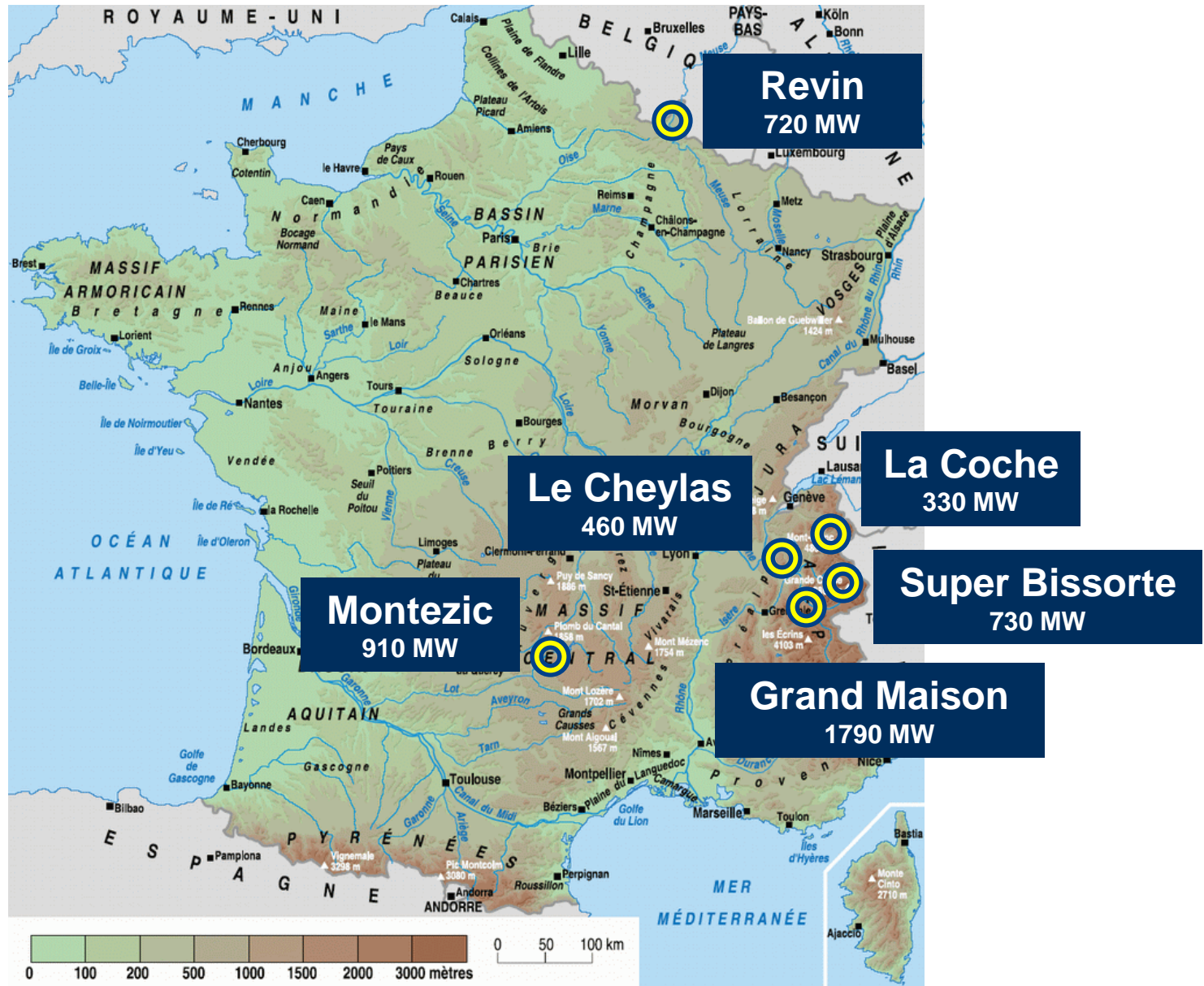
# Principe général de fonctionnement d'une STEP

- ◆ **Deux réservoirs hydrauliques** permettant des « transferts » de l'un vers l'autre
- ◆ Une usine équipée de **groupes réversibles (turbine/pompe)** qui permet de :
  - ❑ Stocker de l'électricité en pompant l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur, lorsque l'énergie est abondante (heures creuses)
  - ❑ Restituer l'électricité, lorsque celle-ci est plus rare (heures pleines), en turbinant l'eau du bassin supérieur



- ❑ L'usine consomme plus d'énergie (en pompant) qu'elle n'en produit (en turbinant). Le rendement global du cycle (pompage/turbinage) est proche de **75%** pour les installations existantes
- ❑ La durée de fonctionnement en turbine est de l'ordre de 1000 à 2000 heures par an en équivalent pleine puissance (une année en faisant 8760)

# Six principales STEP en France (mises en service entre 1976 et 1987)



# Près de 5 GW, pour environ 5 TWh produits par an en moyenne

	<b>Montézic</b> MSI 1982	<b>Revin</b> MSI 1976	<b>G.Maison</b> MSI 1985	<b>S.Bissorte</b> MSI 1987	<b>La Coche</b> MSI 1977	<b>Le Cheylas</b> MSI 1979	<b>Total</b>
Puissance en turbine	910 MW	720 MW	1790 MW	730 MW	330 MW	460 MW	<b>4940 MW</b>
Puissance en pompage	870 MW	720 MW	1160 MW	630 MW	310 MW	480 MW	<b>4170 MW</b>
Nb de pompes	4	4	8	4	2	2	
Constante de temps	40 h	5 h	30 h	5 h	3h	6 h	
Productible gravitaire	STEP pure	STEP pure	216 GWh	250 GWh	426 GWh	670 GWh	

## Différentes catégories de STEP selon :

### □ la capacité de stockage :

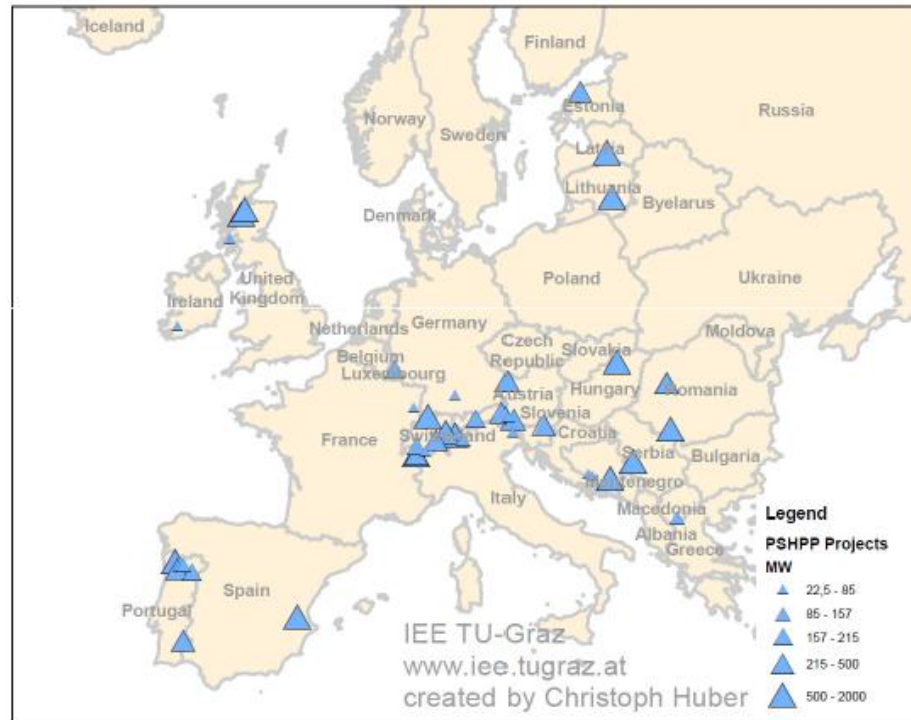
- **STEP « journalières »** : ouvrage avec une capacité de stockage de quelques heures
- **STEP « hebdomadaires »** : ouvrage avec une capacité stockage plus importante permettant une production de 20 à 40 heures sans recourir au pompage

### □ les apports dans les réservoirs :

- **STEP « pures »** : ouvrage sans apport, fonctionnant en circuit fermé
- **STEP « mixtes »** : ouvrage inséré dans une vallée et recevant des apports

# STEP : le parc en Europe

Planned, projected and powerplants under construction in continental Europe



43 GW  
installés

Italie: 7,5 GW  
Allemagne: 6,6 GW  
Suisse: 6,4 GW  
France: 4,8 GW  
Espagne: 4 GW  
Autriche: 3,8 GW  
Portugal: 1,8 GW

8 GW en  
projet

Potentiel estimé : 80 MW (< 20% du parc EnR estimé : 450 GW)

# Le stockage au sein du bouquet énergétique

- 1. Stocker l'électricité en période "creuse" pour la déstocker en période "chère"**
  - Valeur faible dans un système avec un mix de production homogène donc des coûts marginaux peu contrastés (exemple : >80% gaz ou charbon)
  - Valeur élevée dans un système avec mix de production hétérogène (exemple : 50% nucléaire/hydro/ENR et 50% thermique fossile), pour un volume probablement limité
- 2. Services systèmes → libérer des moyens de production chers en invest. et de coûts variables faibles (nucléaire/hydro...) pour les valoriser sur le marché de l'énergie**
  - Valeur faible dans un système thermique fossile pur
  - Valeur forte dans un mix plus hétérogène (cas type : la France avec le nucléaire)
- 3. Réduire des coûts de contrainte réseau (T & D)**
  - Valeur faible en l'absence de contrainte de développement : de fait, le réseau coûte beaucoup moins cher que les technologies de stockage
  - Valeur transitoire éventuelle en cas de contraintes/retards de développement
- 4. Quelques valorisations complémentaires**
  - Butées de baisse, réserve tertiaire, ...

# L'intérêt des STEP pour le système électrique

**Des transferts énergétiques  
des heures de faible  
demande vers les heures de  
pointe**

***Contribution au lissage de la courbe de charge de  
consommation***

*(Valorisation en fonction du différentiel des prix de marché entre  
période de pointe et période de faible demande)*

**Contribution aux services  
système et à l'ajustement  
proche du temps réel**

***Participation aux réglages de tension et fréquence***

***Possibilité de mobilisation de la puissance dans un délai de  
quelques minutes***

***Possibilité de black-start en cas d'écroulement du réseau,  
permettant notamment d'alimenter des centrales nucléaires***

*(Services faisant , pour la plupart, l'objet d'une rémunération  
contractuelle avec RTE)*

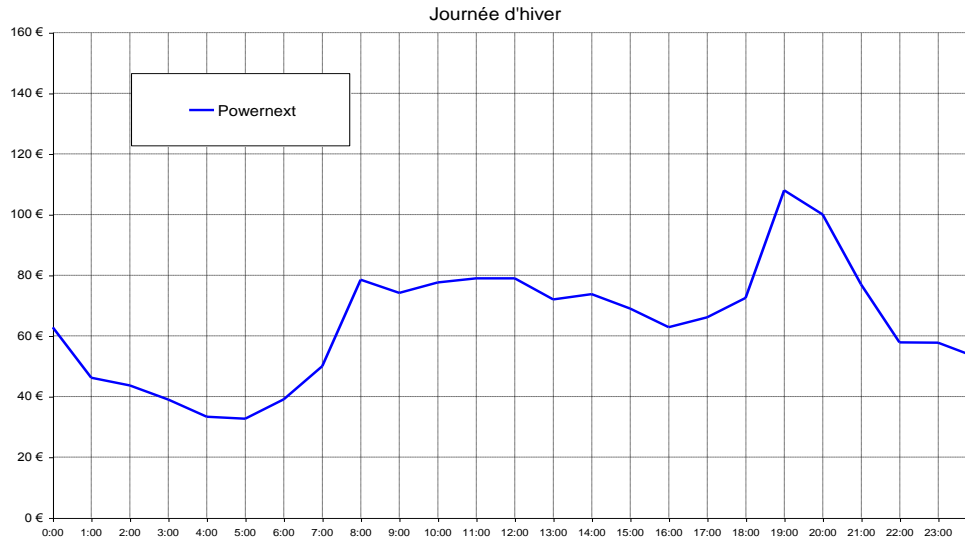
**Puissance garantie à la  
pointe du système**

***Contribution aux passages des pointes de consommation  
du système***

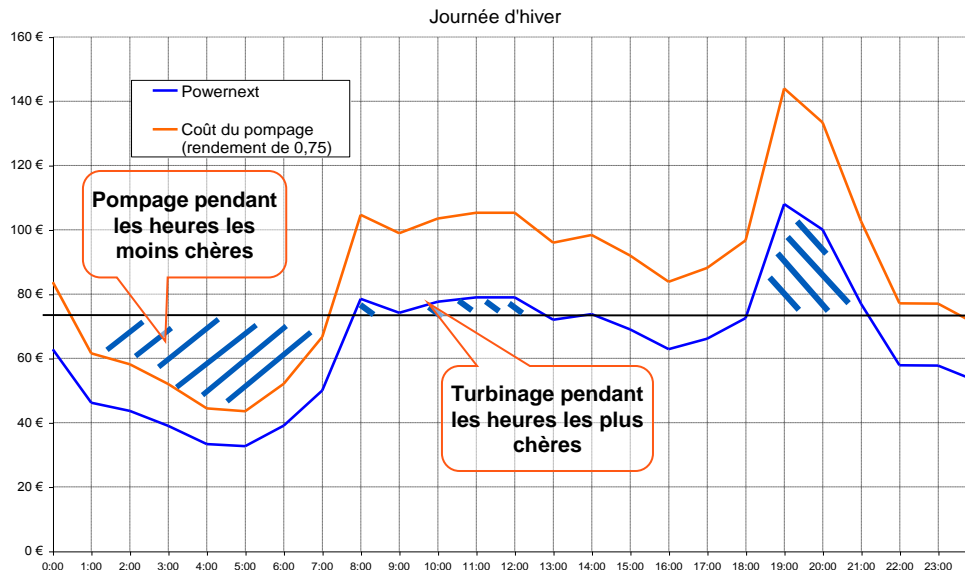
*(Rémunération attendue à partir de 2016 via le mécanisme  
d'obligation de capacité prévu par la loi NOME)*

# Fonctionnement d'une STEP « journalière »

► **STEP « journalière »** : une gestion reposant sur la prévision des équilibre offre – demande à partir des prix de marché du lendemain, avec un placement de la production sur les heures de plus forte tension



*Prix de marché horaires sur Powernext d'une journée d'hiver*



*Fonctionnement de la STEP*

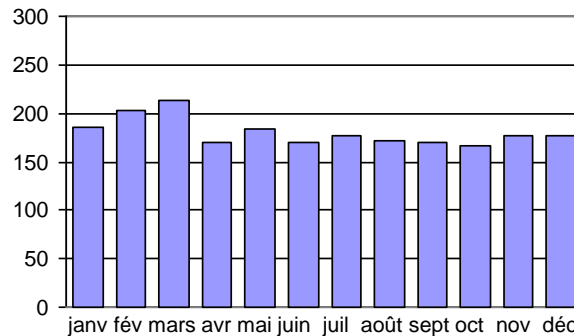


# Fonctionnement des STEP « pure » et « mixte »

- ◆ **STEP « pure »** : une gestion basée sur le stockage de l'énergie en heures creuses pour la turbiner ensuite en heures de pointe

## Revin

Nombre d'heures mensuelles de fonctionnement en équivalent pleine puissance

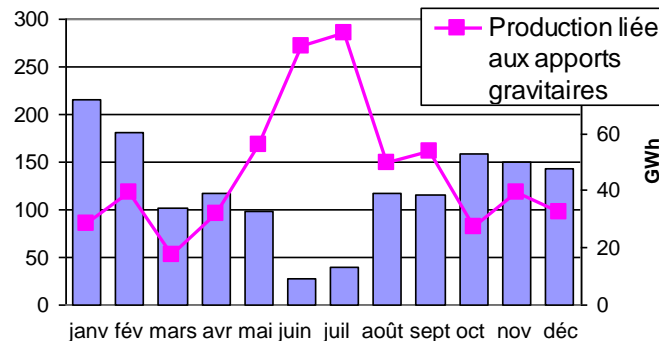


*Un fonctionnement relativement stable au cours de l'année*

- ◆ **STEP « mixte »** : une gestion prioritairement affectée aux turbinages des apports gravitaires et un recours au pompage pendant les périodes disponibles

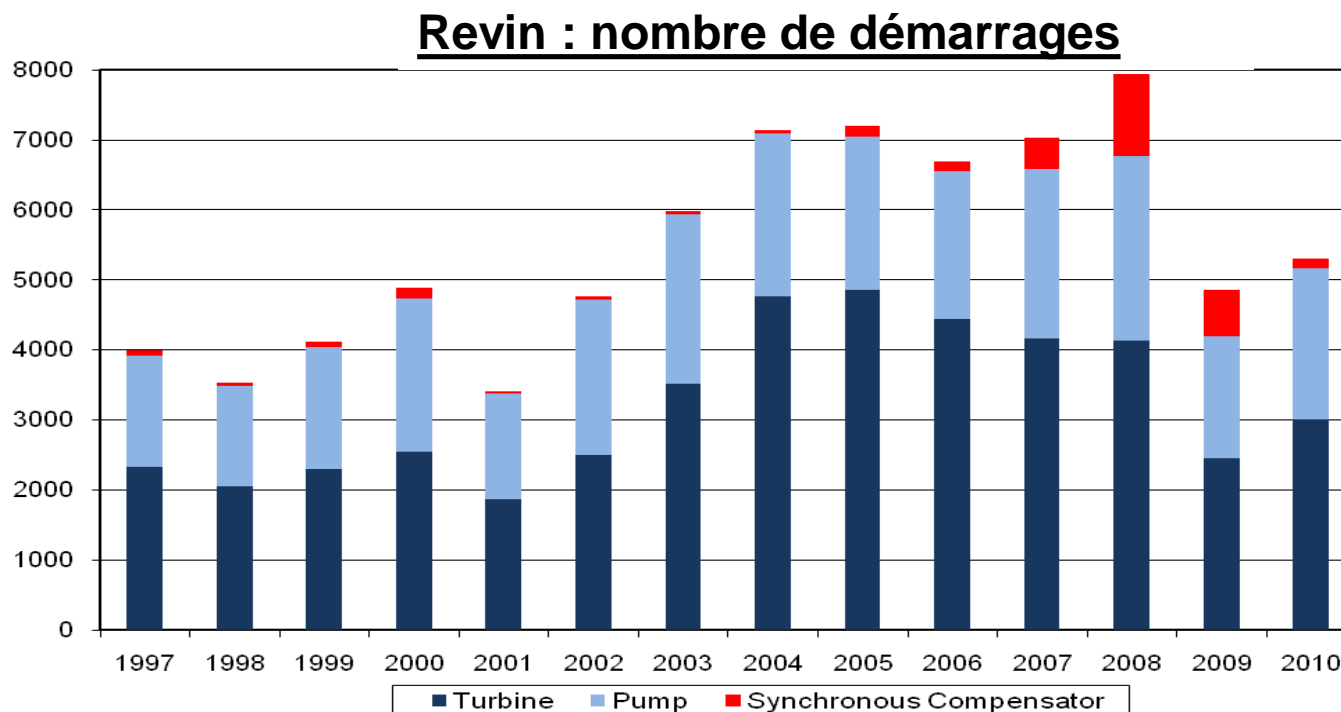
## Le Cheylas

Nombre d'heures mensuelles de fonctionnement en équivalent pleine puissance



*Un fonctionnement influencé par les apports du bassin supérieur*

# Une flexibilité sollicitée de plus en plus fréquemment par le Système (RTE)



NB : les valeurs plus faibles de 2009 et 2010 résultent d'opérations de maintenance importantes ayant entraîné des indisponibilités.

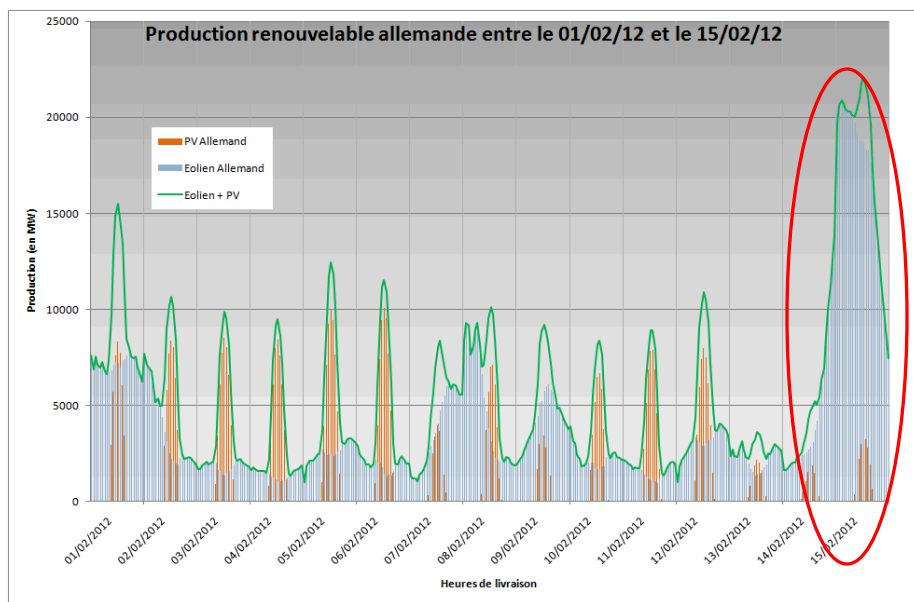
► A titre d'exemple, le nombre de démarrages de la centrale de Revin a significativement augmenté depuis 2003.

# Le développement des ENR va s'accompagner d'une forte intermittence de leur production

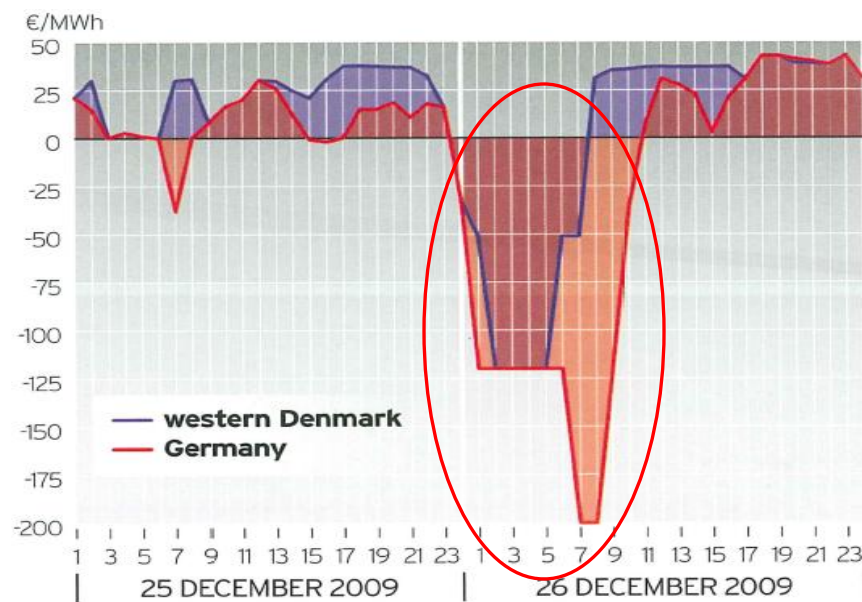
► Objectif 2020 en France (suite au Grenelle) : Eolien + PV = 30,4 GW installés (vs 6,4 GW aujourd'hui)

► La production des ENR peut varier très fortement à l'échelle de quelques jours :

□ Cette situation peut conduire à des contraintes sur les possibilités de modulation à la baisse de certaines tranches (notamment nucléaires), à disposer de trop d'énergie et à des prix de marché négatifs



Variabilité de production allemande en février 2012

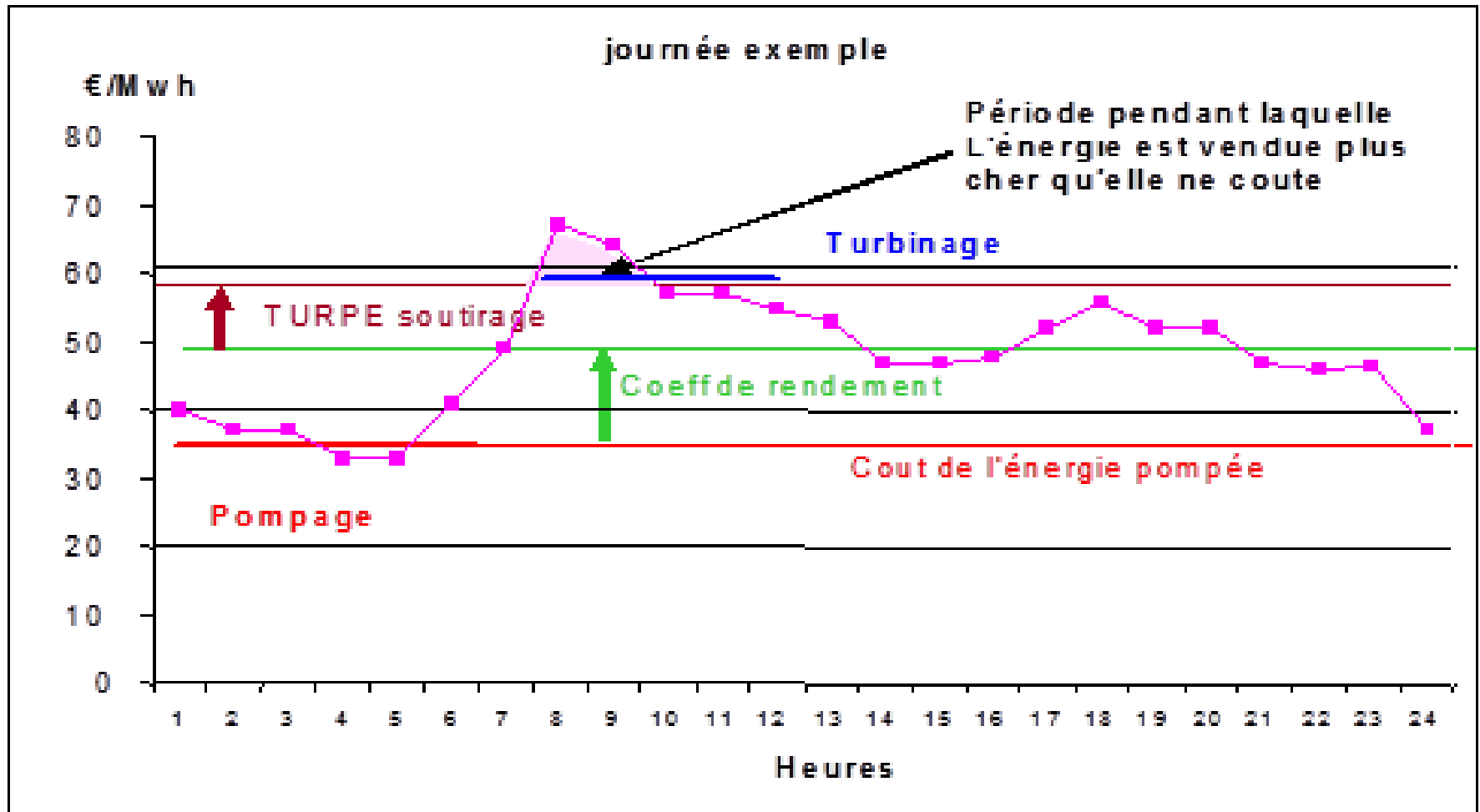


Pic de prix négatif observé en décembre 2009 sur la bourse allemande

► Du fait de cette variabilité, la puissance garantie de l'éolien est très réduite (environ 20% de la puissance installée)

► Dans ce contexte, l'intérêt de la flexibilité apportée par les STEP va se trouver renforcé

# Une journée exemple



# Le développement de nouvelles STEP représente des investissements importants, à l'équilibre économique incertain

- ▶ Le coût de construction est généralement supérieur à 1000 €/kW (même si les STEP rendent davantage de services, ce coût est environ 2 fois supérieur à celui d'une Turbine à Combustion)
- ▶ Une étude UFE évalue la rentabilité des nouveaux projets STEP à 3 à 4%, insuffisants vis à vis des rentabilités attendues face aux risques liés à la construction
- ▶ Les projets en cours en Europe sont mis en difficulté par une réduction forte du spread, et les rentabilités attendues ne sont pas au rendez-vous
- ▶ La durée de construction de ces équipements (de l'ordre de 10 ans entre la décision et la mise en service) est un facteur majeur d'incertitude, face aux fluctuations des prix de marché futurs
- ▶ Quelques éléments de coût sont en discussion (fiscalité, coûts d'accès au réseau), mais ne sont pas déterminants face aux incertitudes actuelles (pourraient amener 1 ou 2 pts de rentabilité supplémentaires)

# Le développement des STEP comme réponse à l'intermittence?

- **Le stockage est un facteur de lissage de l'intermittence**
  - **Consensus autour de l'idée de stocker les surplus d'énergie fatale**
  - **Valeur accrue dans un système avec beaucoup d'intermittence?**
    - Oui car l'intermittence accroît l'hétérogénéité des coûts variables de production
    - Mais évaluation économique nécessaire : "déverser" un peu de surplus d'ENR intermittente peut être moins coûteux qu'investir dans le stockage
  - **Mais la rentabilité des STEP est incertaine ce qui décourage les prises de décisions**
- Paradoxe** à valoriser les STEP avec les mécanismes du marché, alors que la valorisation de la production des EnR se fait hors marché

# Conclusion : Mettre en œuvre un nouveau modèle?

- ▶ Inverser la problématique : évaluer le service rendu par les STEP face à l'intermittence et déterminer la valeur de ce service
- ▶ Construire un modèle augmentant la puissance garantie en liant plus directement EnR et stockage:
  - STEP géographiquement proches des centres de production EnR limitant les développements de réseau
- ▶ Financer le stockage par la CSPE
- ▶ Trouver de nouveaux outils de valorisation?

Mais quel sera le coût pour le client final ?