

# ENERGIE HYDRO-ELECTRIQUE

R.BAGET

## **Plan**

**I – Introduction: quelques chiffres**

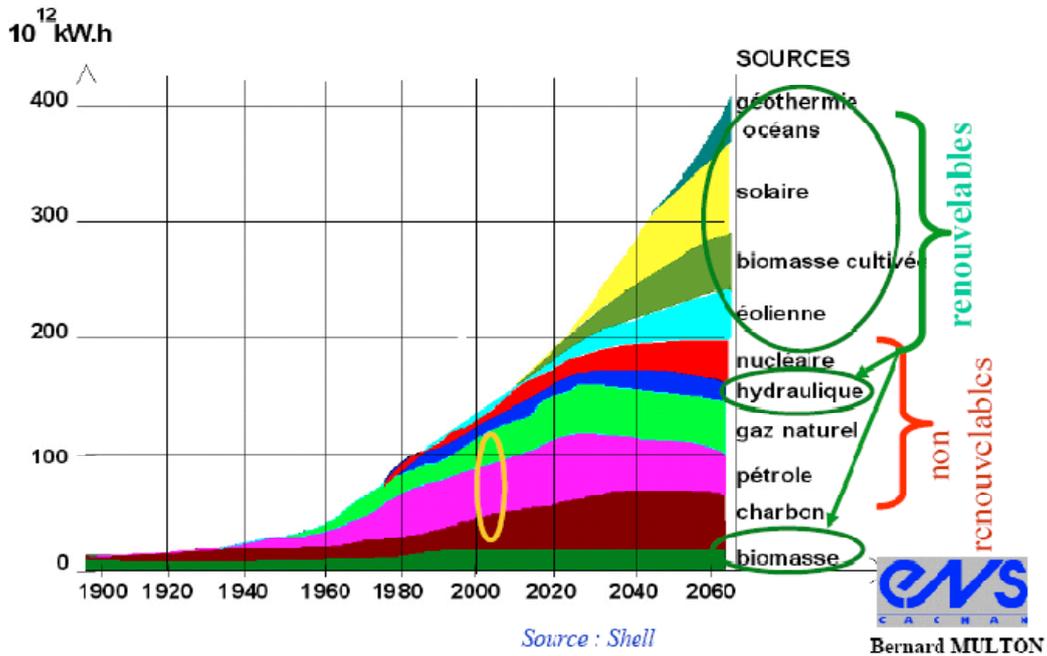
**II – Différents types de turbines**

**III – Différents types de générateurs**

**IV – Exemples de centrales**

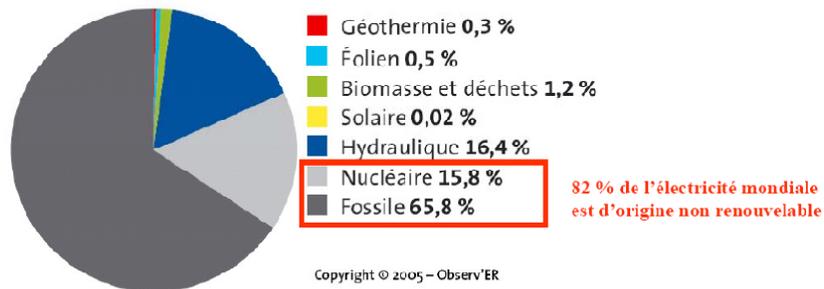


## Prévision de croissance et évolution des ressources

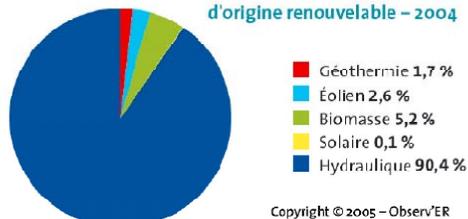


## Production d'énergie électrique par source

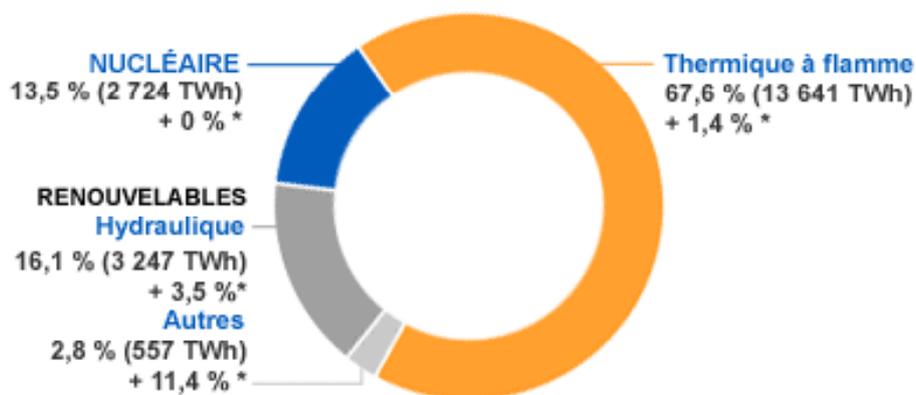
Structure de la production d'électricité – 2004 17 390 TWh



Structure de la production électrique  
d'origine renouvelable – 2004 3160 TWh



# Production d'énergie électrique mondiale en 2008



Part du nucléaire dans la production mondiale d'électricité en 2008

\* par rapport à 2007

(Observ'ER/EDF - Onzième inventaire, 2009 - chiffres de production 2008)

© EDF

81,1% de l'énergie électrique mondiale est d'origine non renouvelable

# Production d'énergie électrique en France en 2009



Part du solaire dans la production française d'électricité en 2009

\* par rapport à 2008

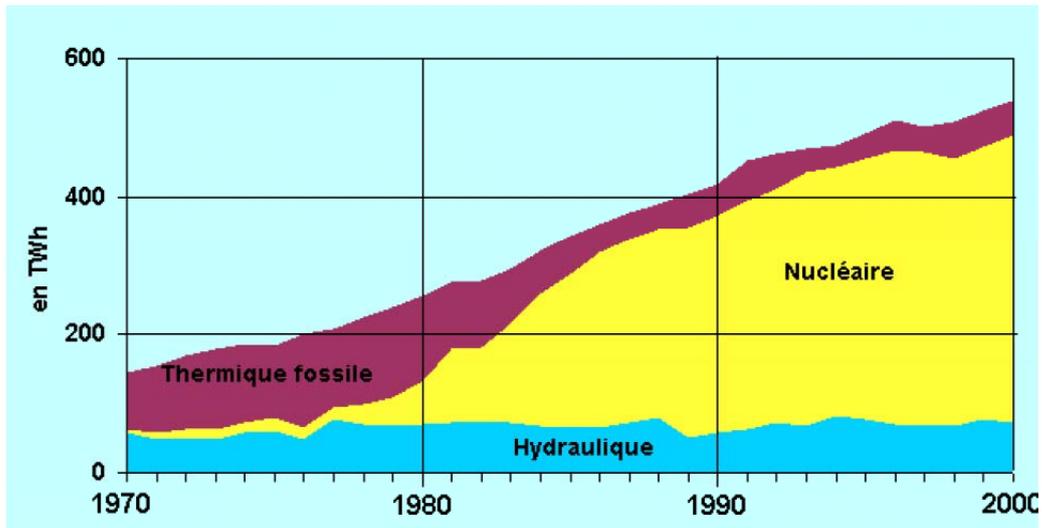
(Statistiques de l'Énergie Électrique en France, RTE, juin 2010 - chiffres de production 2009)

© EDF

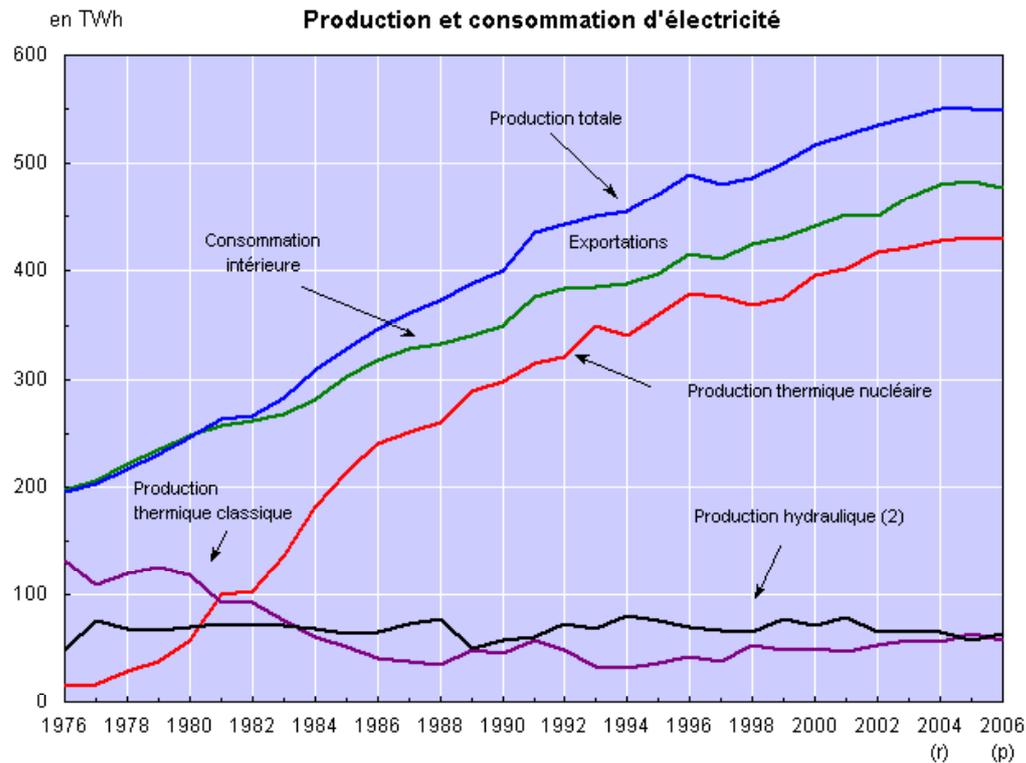
85,6% de l'énergie électrique française est d'origine non renouvelable



## Production d'électricité (énergie finale) : la situation française



**en 2010: Hydraulique 12,4% Nucléaire 74,1%**

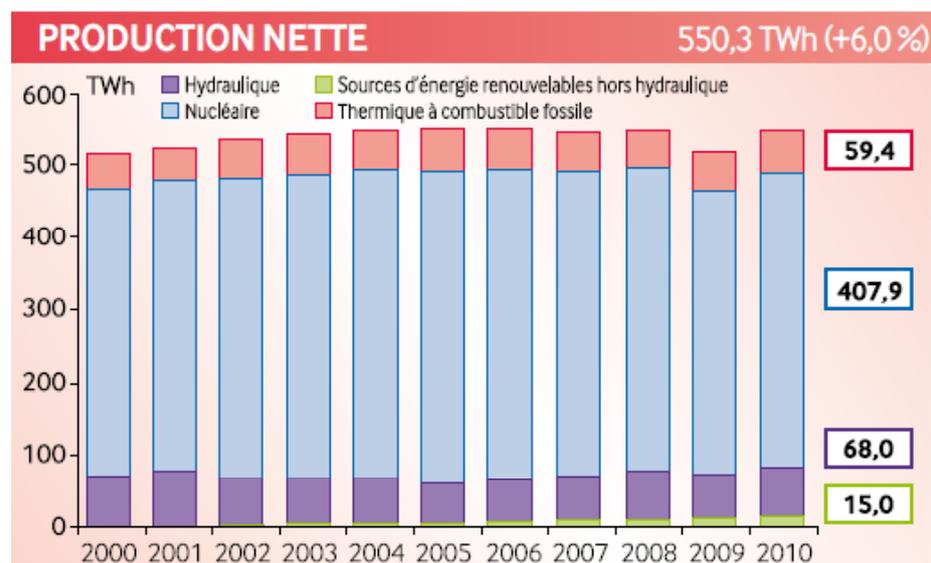


Champ : France métropolitaine.

(1) y compris le pompage. Par convention, les productions éolienne et photovoltaïque sont ajoutées à la production hydraulique.

Source : Minefi, Observatoire de l'énergie.

## En France en 2010

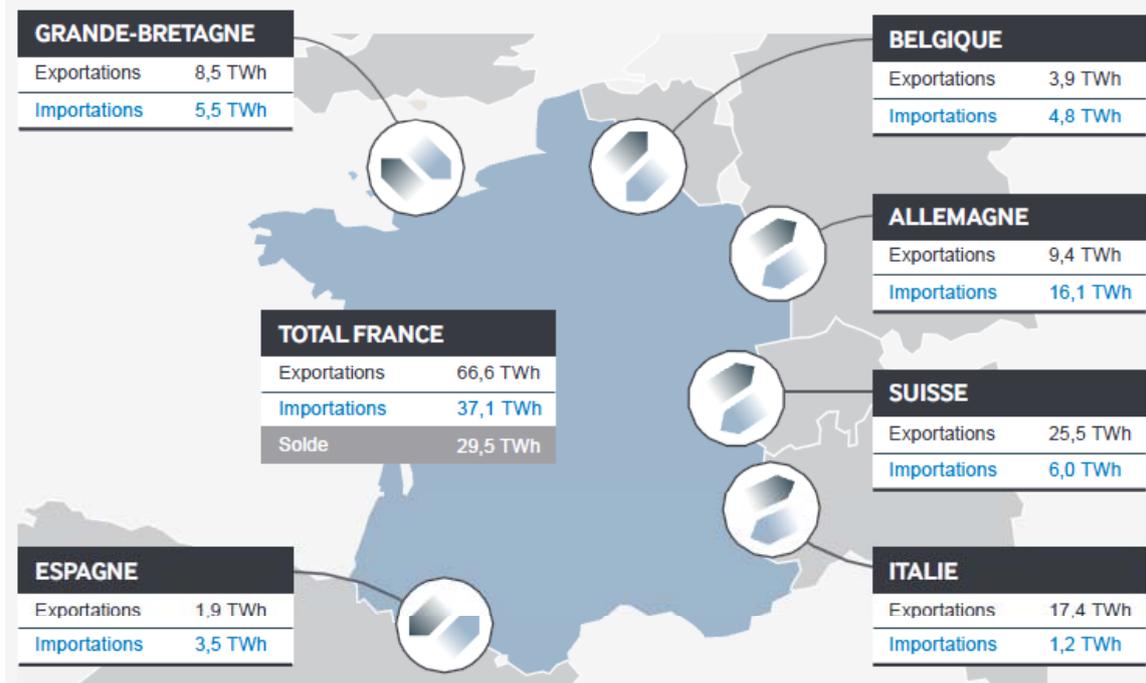


ÉNERGIE PRODUITE	TWh	Variation 2010/2009 (%)	Part de la production (%)	Emissions de CO2 (Millions de tonnes)
<b>Production nette</b>	<b>550,3</b>	<b>+6,0</b>	<b>100,00</b>	<b>34,1</b>
Nucléaire	407,9	+4,6	74,1	0,0
Thermique à combustible fossile	59,4	+8,3	10,8	31,2
<i>dont charbon</i>	19,1	-7,6	3,5	18,3
<i>dont fioul</i>	7,9	+2,7	1,4	3,5
<i>dont gaz</i>	30,0	+24,7	5,5	9,3
Hydraulique	68,0	+9,9	12,4	0,0
Éolien	9,6	+22,2	1,7	0,0
Photovoltaïque	0,6	+281,6	0,1	0,0
Autres sources d'énergie renouvelables*	4,8	+11,1	0,9	2,9

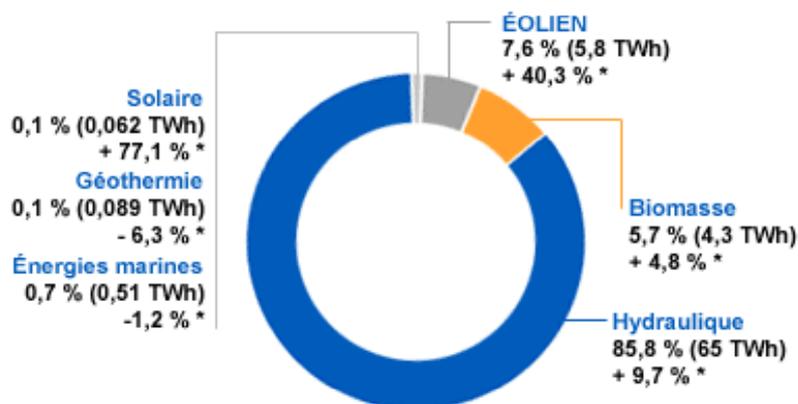
## BILAN DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE EN 2010

BILAN DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	TWh	Variation 2010/2009 (%)
<b>Consommation intérieure brute</b>	<b>513,3</b>	<b>+5,5</b>
Énergie soutirée pour le pompage	6,5	-3,3
Solde des échanges physiques (exportateur)	30,5	+18,6
<b>Production nette</b>	<b>550,3</b>	<b>+6,0</b>

## Échanges contractuels transfrontaliers en 2010



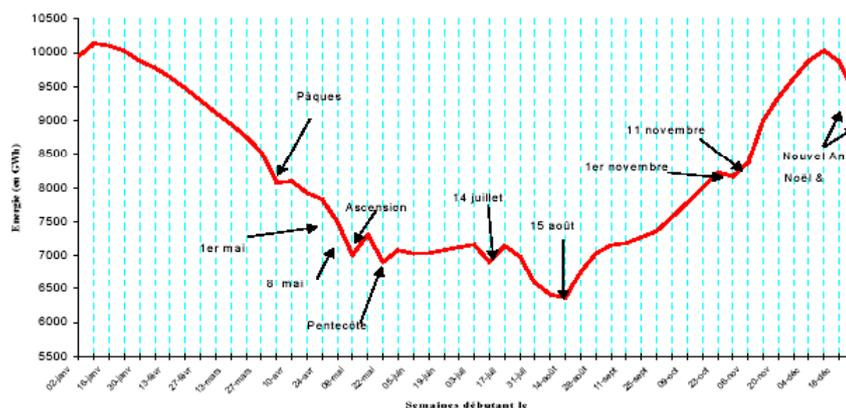
**Production d'énergie électrique d'origine renouvelable en France ( 83 TWh en 2010 soit 15,1% )**  
**Hydraulique en 2010: 68 TWh soit 12,3%**



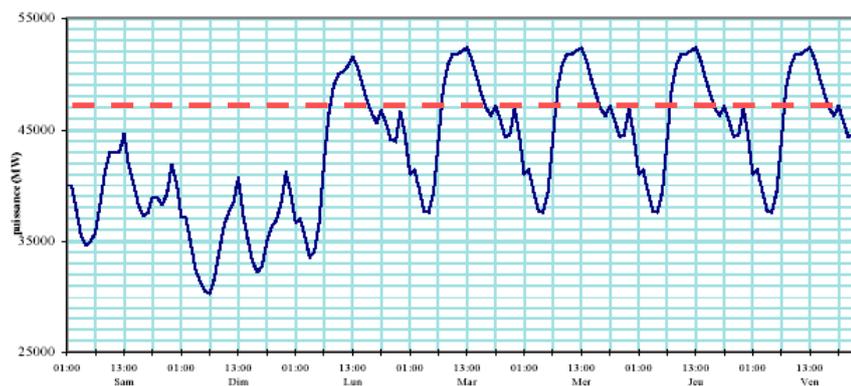
**Production d'énergie électrique d'origine renouvelable en France en 2008**

### Cycle annuel

### Consommation



Exemple de cycles hebdomadaire et journalier en période d'été



## Production d'énergie électrique en France en 2010

<b>Puissance installée:</b>	<b>120,2 GW</b>
<b>Energie électrique produite:</b>	<b>550,3 TWh</b>
<b>Pic de consommation:</b>	<b>96,35 GW</b>

### En Midi-Pyrénées

<b>Energie électrique consommée:</b>	<b>28,8 TWh</b>
<b>Puissance hydro-électrique installée:</b>	<b>5,6 GW</b>
- 72 grandes centrales > 8 MW:	<b>4992 MW</b>
- 604 petites centrales < 8 MW:	<b>572 MW</b>
<b>Energie électrique produite:</b>	<b>9,2 TWh</b>

## A Toulouse

**Energie électrique consommée: 2,2 TWh  
( soit 5000 KWh par habitant )**

**Energie électrique produite:**

**- usine du Ramier: 25 GWh**

**- incinérateur: 15 GWh**

**( éclairage: 46 GWh )**

## **Prix du KWh produit:**

- Nucléaire: 1,9 c€**
- Thermique charbon: 2,3 c€**
- Hydraulique: 3,4 c€**
- Thermique gaz: 3,7 c€**
- Eolien: 4 à 7 c€**
- Photovoltaïque: 30 c€**
- Prix achat des particuliers à EDF**
  - HP: 11,54 c€ HC: 7,34 c€**

## Répartition de l'objectif de 20% par filière

Energie	Situation en 2006	Objectifs 2020 selon le SER		Feuille de route selon le SER
<b>Bois et cultures dédiées</b>	8,5 MTep	23 MTep	7 MTep à mobiliser en forêt +7 MTep de cultures dédiées (2 millions d'hectares)	+ 14,5 MTep
<b>Solaire thermique et PAC</b>	200 000 à 300 000 logements	4 à 6 millions de logements		+ 4 à 6 Mtep
<b>Hydraulique</b>	25 000 MW	27 000 MW	76 TWh	+ 10 TWh
<b>Eolien</b>	2000 MW (2000 éoliennes)	25 000 MW (env. 8 000 éoliennes)	55 TWh	+ 50 TWh
<b>Photovoltaïque raccordé au réseau</b>	30 MW	7 000 MW	6 TWh	+ 6 TWh
<b>Biomasse dont biogaz et déchets (production d'électricité)</b>	580 MW	1 300 MW (équivalent de 2 centrales thermiques)	9 TWh	+ 5,5 TWh
<b>Biocarburants</b>	0,5 MTep	6 MTep	4 millions d'hectares de colza	+ 5,5 Mtep

7

## Prix de rachat du KWh par EDF

- **Hydraulique:** 6,07 c€+ prime
- **Eolien:** 8,2 c€sur 10 ans
- **Photovoltaïque:** 44 – 51 – 58 c€
- **Biogaz:** 7,5 à 9 c€+ prime
- **Géothermie:** 12 c€+ prime



## L'hydraulique :

- Potentiel le plus facile à exploiter :  
740 GW installés -  $2,7 \cdot 10^{12}$  kWh  
(environ 25 GW en France)  
En 2005 : 120 GW en construction,  
400 GW en projets
- De très loin, la source renouvelable la plus utilisée
- Production centralisée  
et décentralisée
- **Stockage** d'énergie aisé :  
pompage – turbinage



Itaipu 12,6 GW –  $90 \cdot 10^9$  kWh  
(la plus grande centrale du monde)



## L'hydraulique :

- Productivité annuelle élevée  
3000 à 7000 heures/an
- Taux d'exploitation  
proche de la saturation  
dans les pays industrialisés
- Très forte progression  
dans les pays à économie  
émergente  
(*potentiel de 260 GW au Brésil*)
- Ecobilan parfois mauvais :  
cas des écosystèmes  
amazoniens inondés

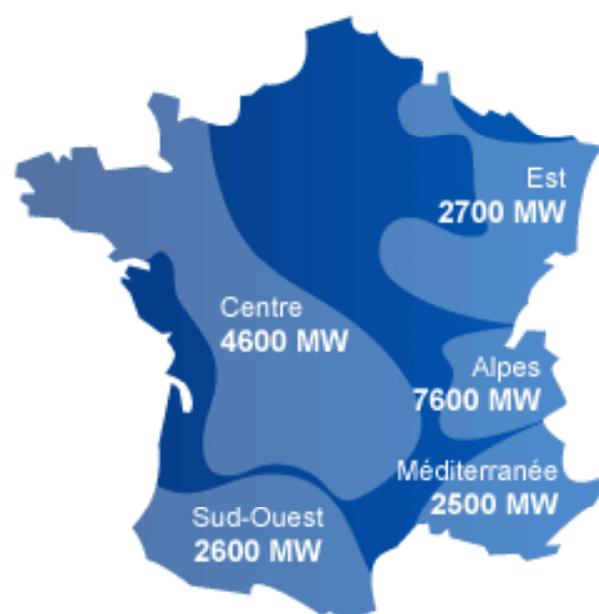
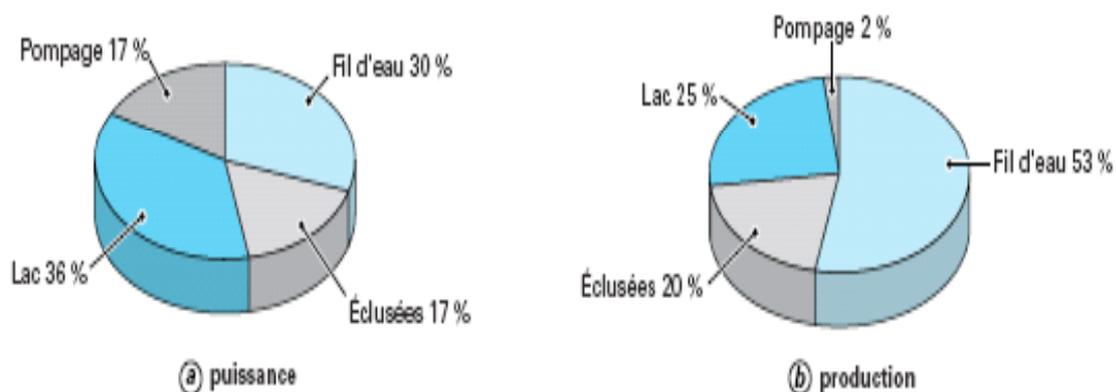


Exemple en construction (fin en 2011)  
barrage des 3 Gorges (Chine, Yangtze)  
18,2 GW -  $84 \cdot 10^9$  kWh/an  
(27 X 700 MW turbines Francis 9,8 m 425 t) :

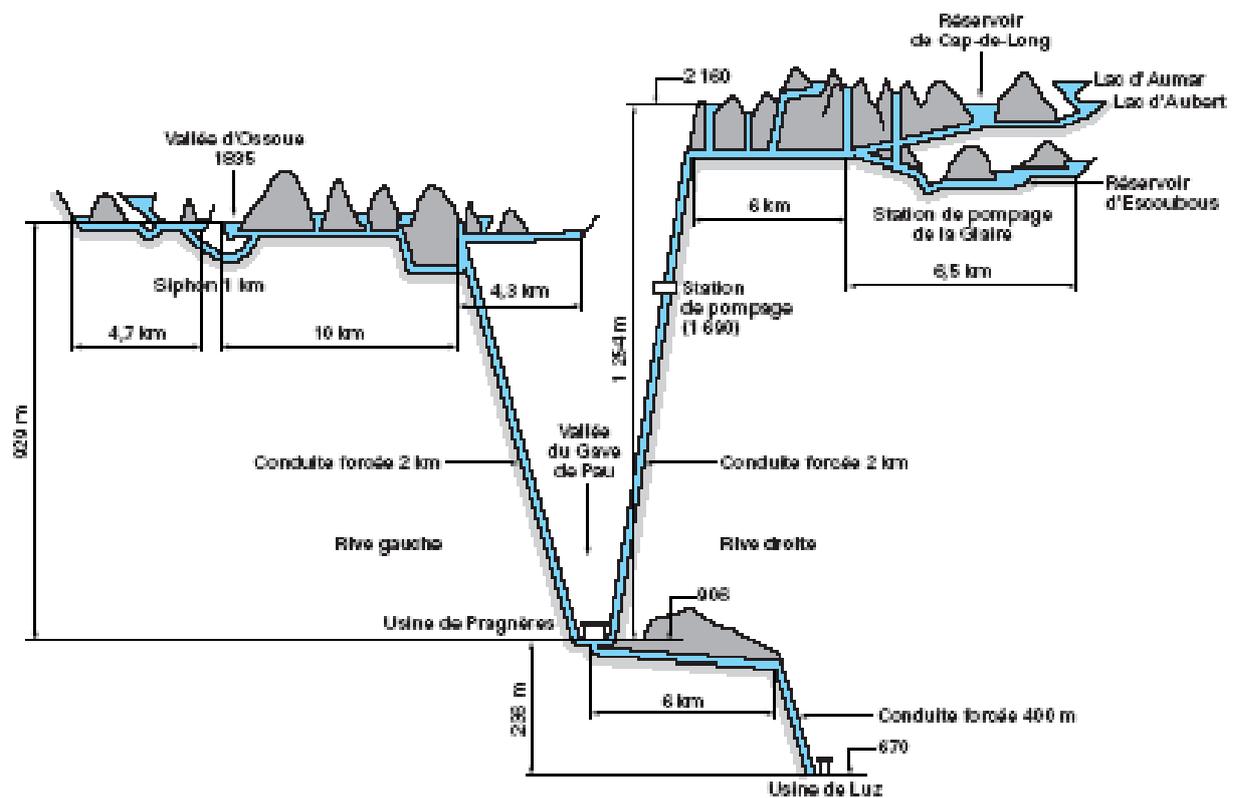
Renouvelable mais pas sans conséquences ...

- 1000 km<sup>2</sup> d'eau
- 1 à 2 millions de personnes déplacées
- plus de 10 villes englouties
- forte action sur l'écosystème

# PRODUCTION D'ELECTRICITE PAR AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES



Zones de production de l'hydroélectricité en France  
(EDF 2009)



Les cotés d'altitude représentent des mètres du NGF (nivellement général de la France), sauf sur le Rhin où la base est le NN (normal nul) de la Commission Internationale du Rhin.

## Energie pour une masse de 1Kg

$$\frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + \frac{1}{\rho}(p_2 - p_1) + g(z_2 - z_1) = W_{(1-2)}$$

$\frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2)$  est une énergie cinétique ;

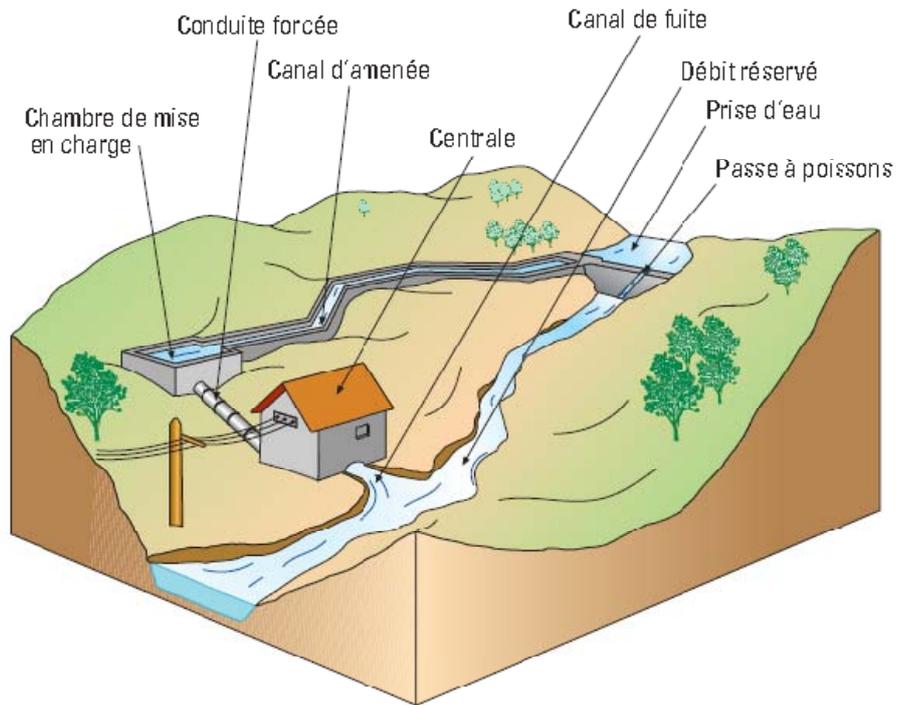
$\frac{1}{\rho}(p_2 - p_1)$  est une énergie de pression ;

$g(z_2 - z_1)$  est une énergie potentielle de pesanteur.

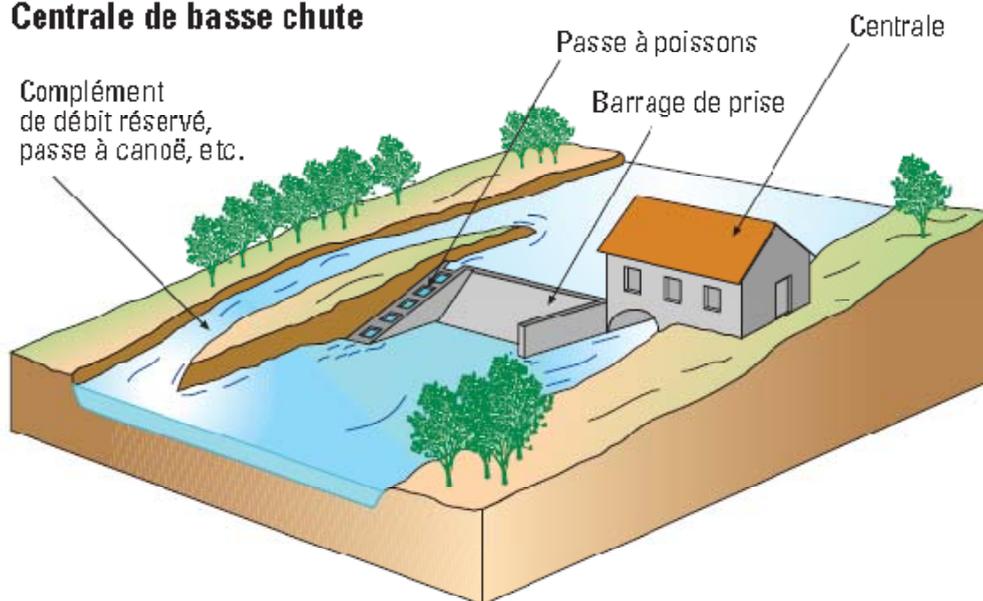
↔ Turbines à action: Pelton, Banki

↔ Turbines à réaction: Kaplan, Francis

## Centrale de moyenne et haute chute

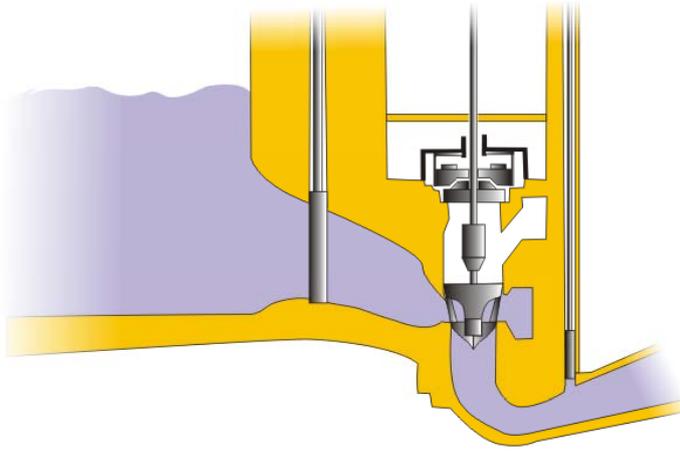


## Centrale de basse chute



Il existe 4 types de turbines :

- La turbine Kaplan : adaptée pour les faibles chutes (moins de 80 m) et les débits importants ; elle est similaire à une hélice de bateau.



Les pales sont orientables, afin d'ajuster la vitesse de rotation à la turbine.

## TURBINE KAPLAN





## Centrales de basse chute, turbine Kaplan (axe vertical) 5 à 80 m



Groupe bulbe ACEC  
Kaplan axe horizontal  
2,5 MW – 97,5 tr/min  
Diam 3,6 m  
Rendement Groupe 90%



Centrale d'Ampsin-Neuville  
(Belgique) 10 MW - 43 GWh/an  
Chute 4,65 m - Débit 270 m<sup>3</sup>/s

$$P_{\text{hydro}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot d = 12,3 \text{ MW}$$

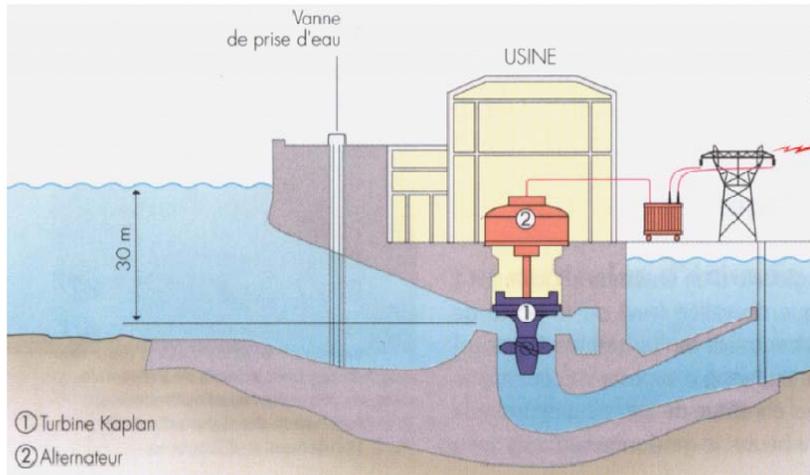
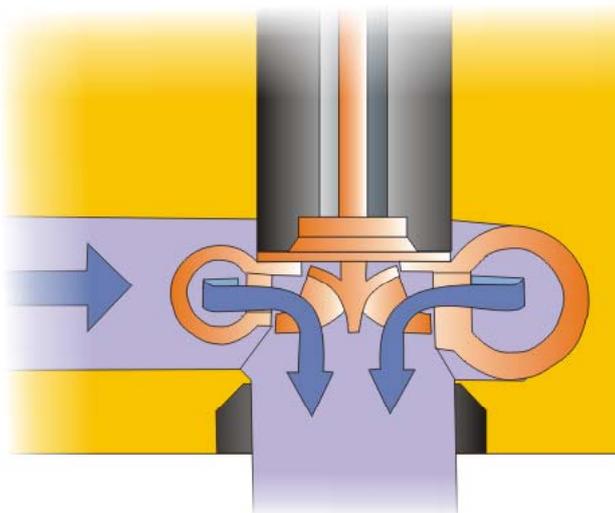


Photo : [Bas\_00] *Electricité Voyage au cœur du système*, Eyrolles 2000.

► La turbine Francis : adaptée aux moyennes chutes (10 à 100 m)  
et les débits moyens.



L'eau entre par la  
périphérie, glisse sur  
les pales et s'évacue  
en son centre.