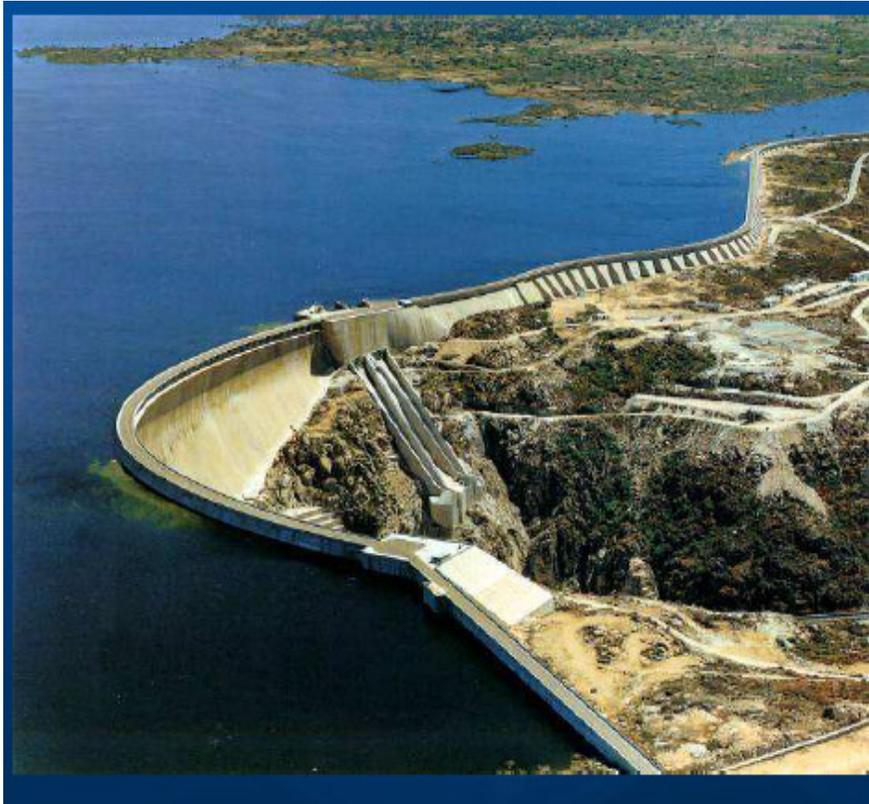




# Les Barrages et le Développement Durable de l'Humanité

## Transposition PPE en France

# Ressources hydrauliques et Barrages



Des extraits sont issus de celle  
de M De Vivo

Secrétaire du CIGB

Pour l'aspect International





# Qui est la CIGB ?

- Organisation de Professionnels
- Fondée en 1928
- 92 Pays Membres



- 10 000 Membres Individuels  
Bureaux d'Études, Constructeurs,  
Exploitants, Scientifiques, Chercheurs,  
Ingénieurs, Universitaires,  
Gouvernements, Institutions Financières,  
Associations..

JJ Herou



# Sommaire

=> **Hydroélectricité & Énergie dans le Monde**

**Les Barrages dans le monde**

- Leurs usages
- Barrages & Changement Climatique
- Classification des barrages

=> **Électricité et Barrages en Afrique**

**Revenons en France : Quid dans la PPE ?**

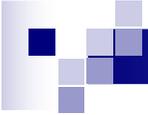
=> **Nouvelles technologies**

- STEP marines... & l'Hydro-cinétique, marines et fluviales ...

=> **Le Mix Energetique & la déclinaison dans la PPE**

- Notre futur Mix électrique avec nécessité de stockage !
- Place de l'hydro & de sa Flexibilité accrue

**Conclusion**



# Énergie => Quelques chiffres

- La **part de l'électricité** dans l'énergie mondiale est actuellement de **près de 40%** et augmente régulièrement.
- Les **sources d'énergie future acceptables** du point de vue climatique (**hydraulique, nucléaire, éolien, solaire...**) sont essentiellement **sous forme électrique**.
- La **part de l'électricité sera très majoritaire en 2050**.
- La **production d'électricité, proche de 25 000 TWh en 2017**.  
**Elle a augmenté de 60% en 15 ans !!**

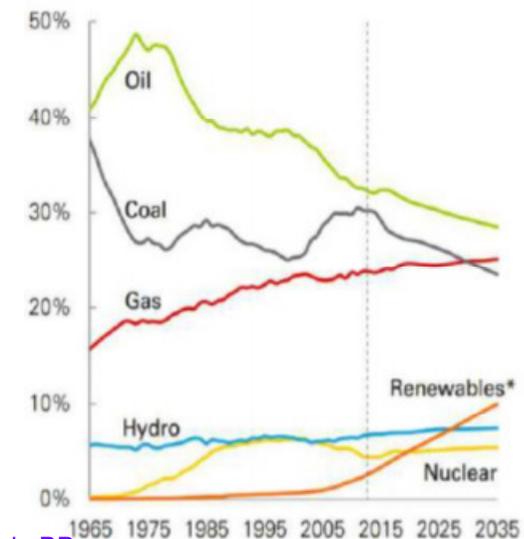
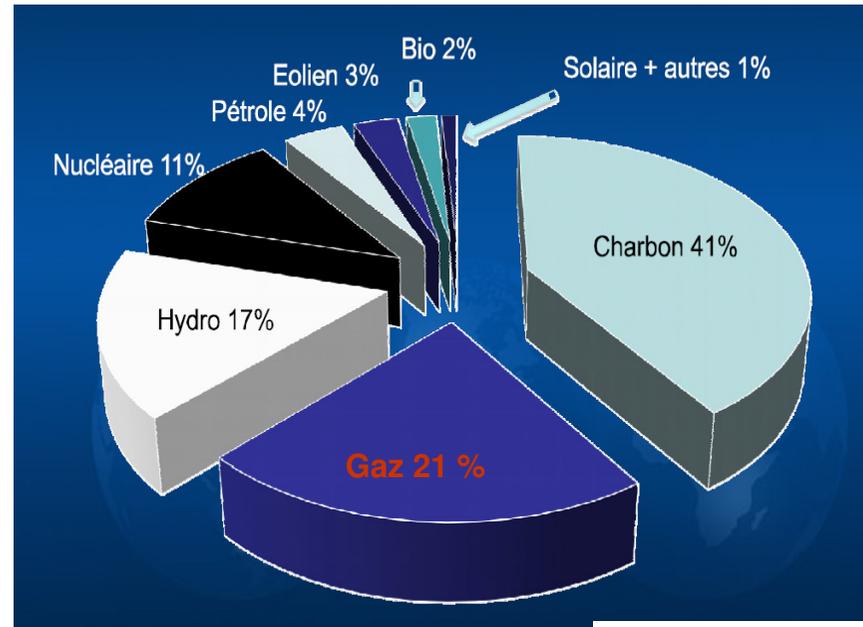
# Comment produit-on de l'Électricité dans le monde ?

L'hydroélectricité mondiale => 17 %

**Avec 17 % de la production**  
électrique mondiale

- > L'hydroélectricité est **la 3 ième source** de production
- > derrière **le charbon (41 %)** et **le gaz (21 %)**
- > devant le **Nucléaire (11 %)** et le **pétrole (5 %)**

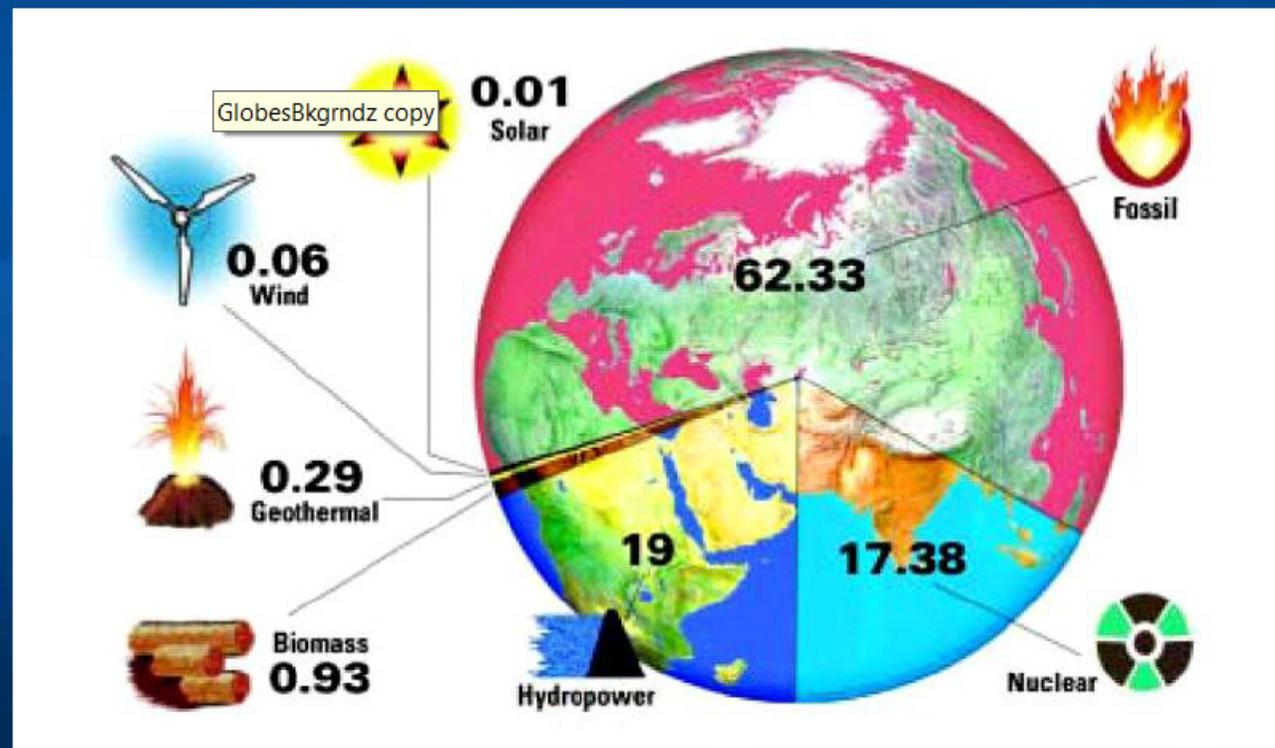
**66 %** est donc produite à partir **de sources fossiles**



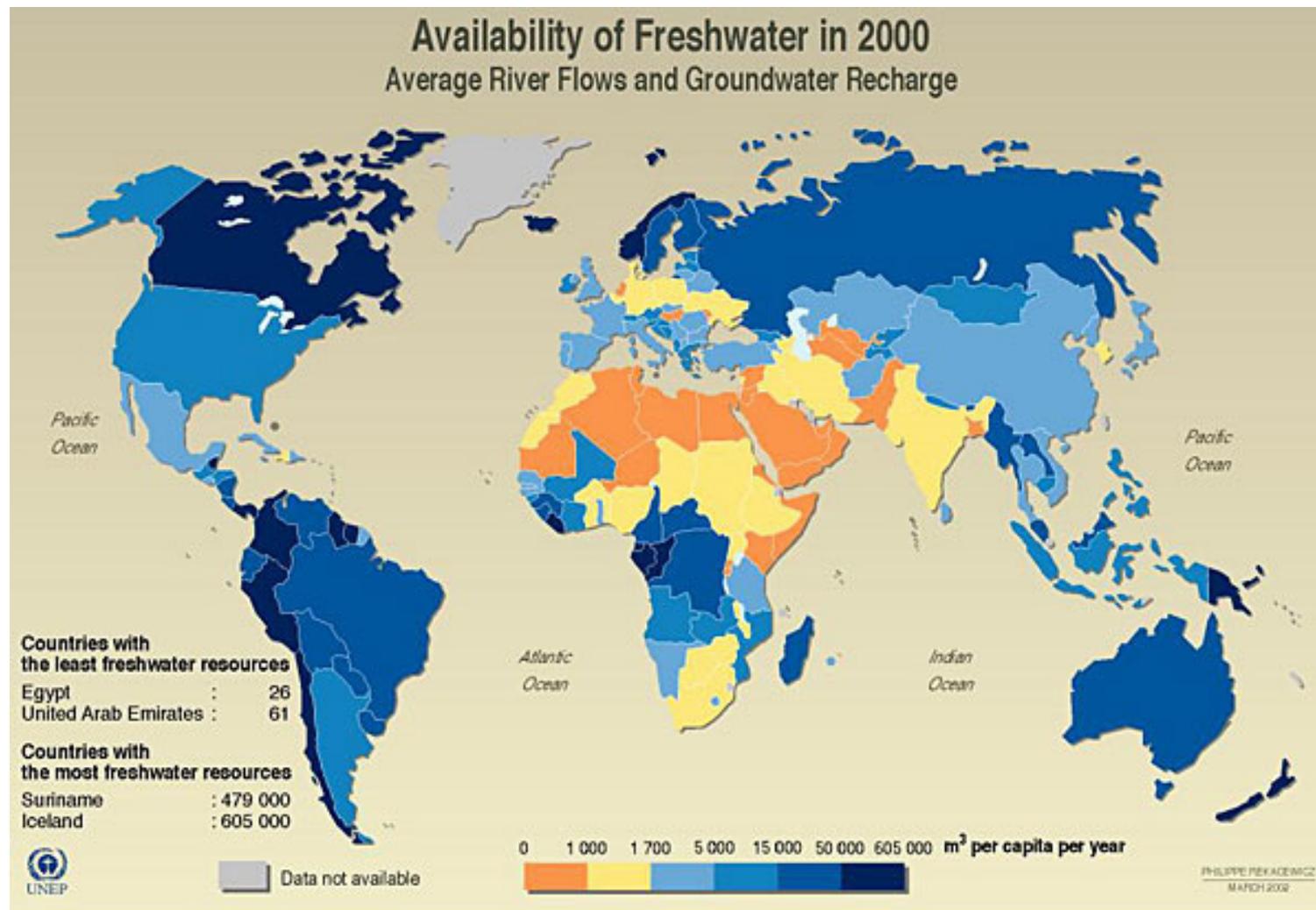
Données issues de BP

# L'hydroélectricité dans le monde

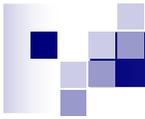
2 100 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées !!!



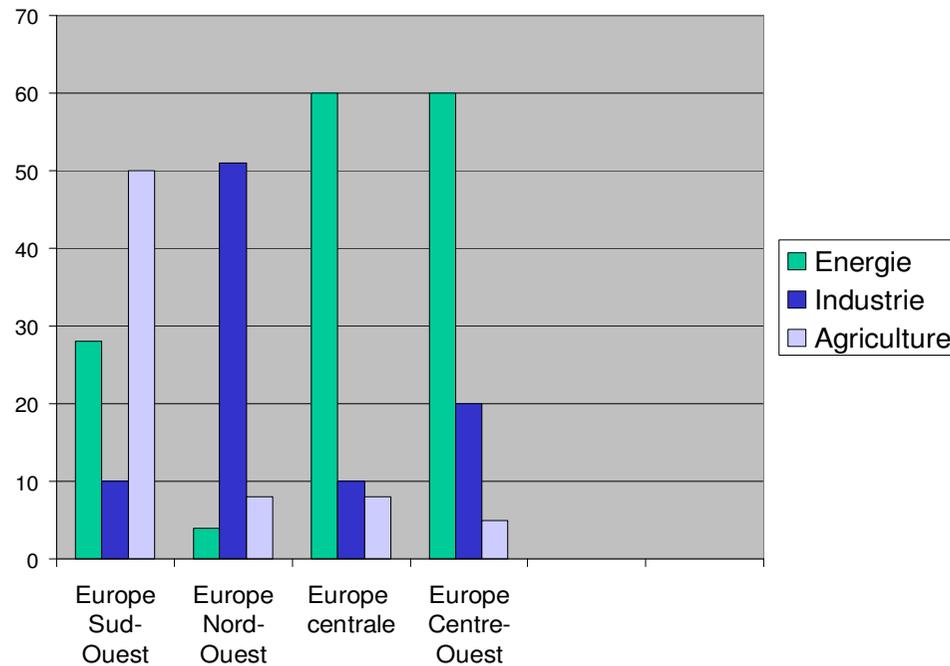
# Distribution des Ressources Hydriques Mondiales



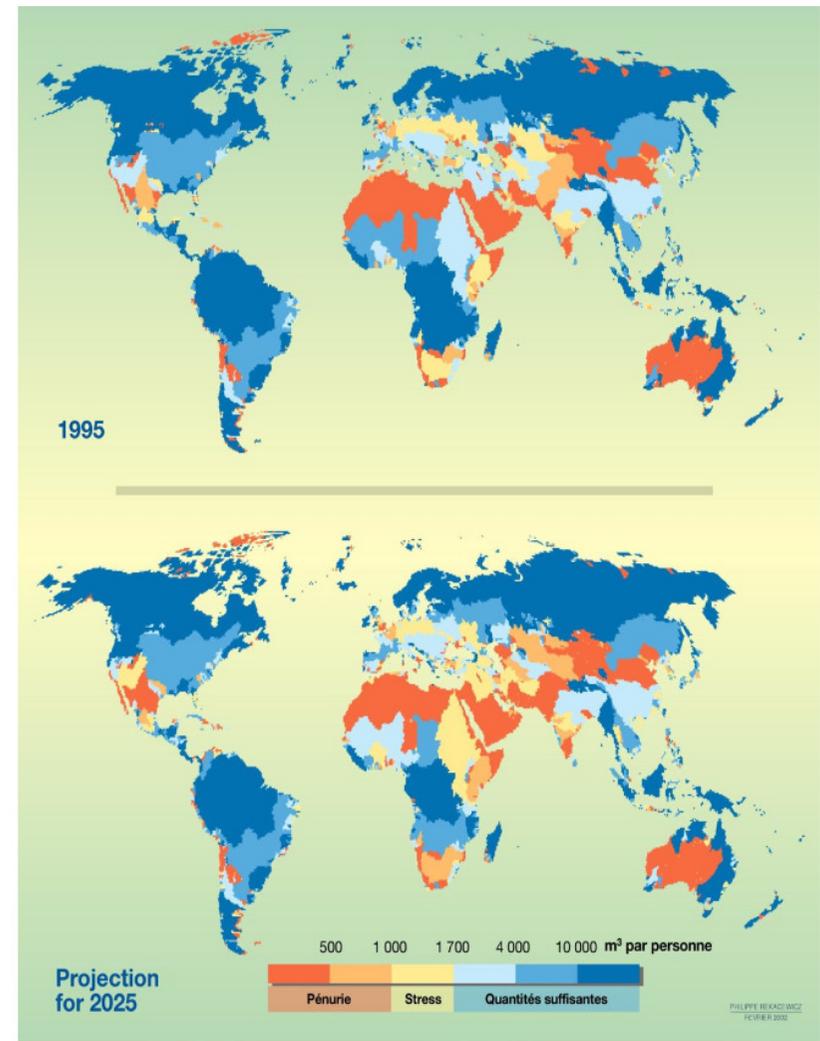
Source: World Resources 2000-2001, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life, World Resources Institute (WRI), Washington DC, 2000.

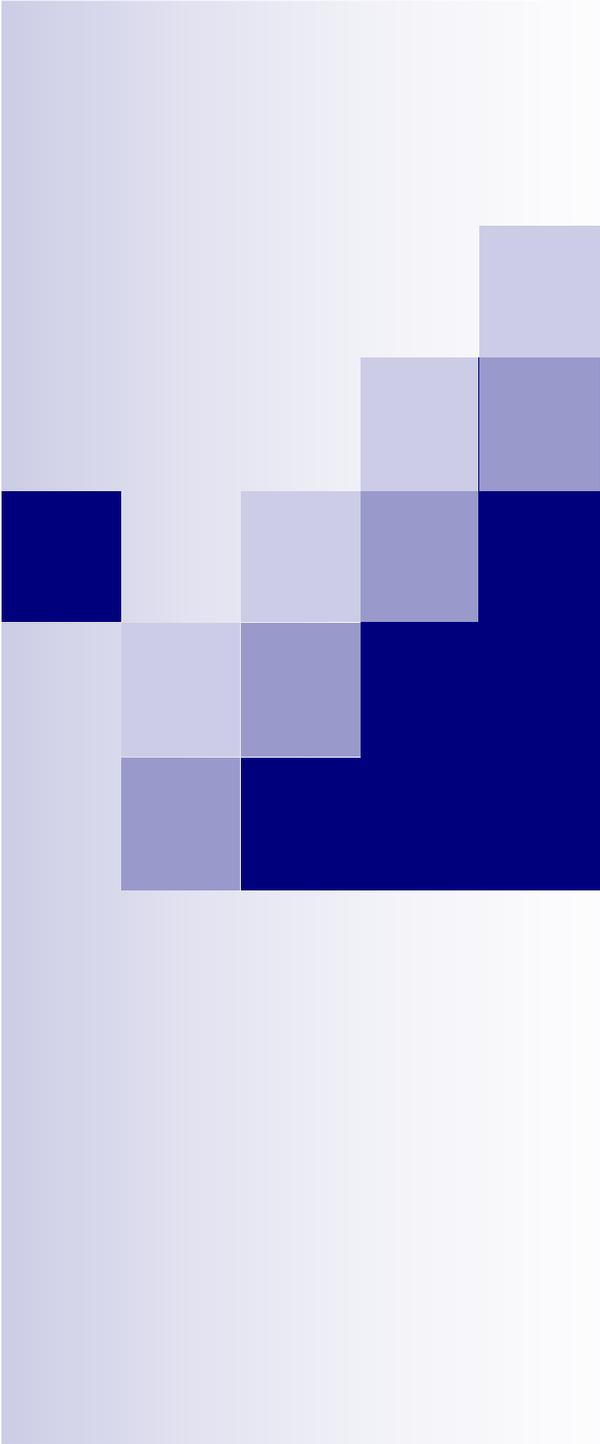


# Usages de l'eau : répartition mondiale



L'Europe et  
les futures **pénuries**

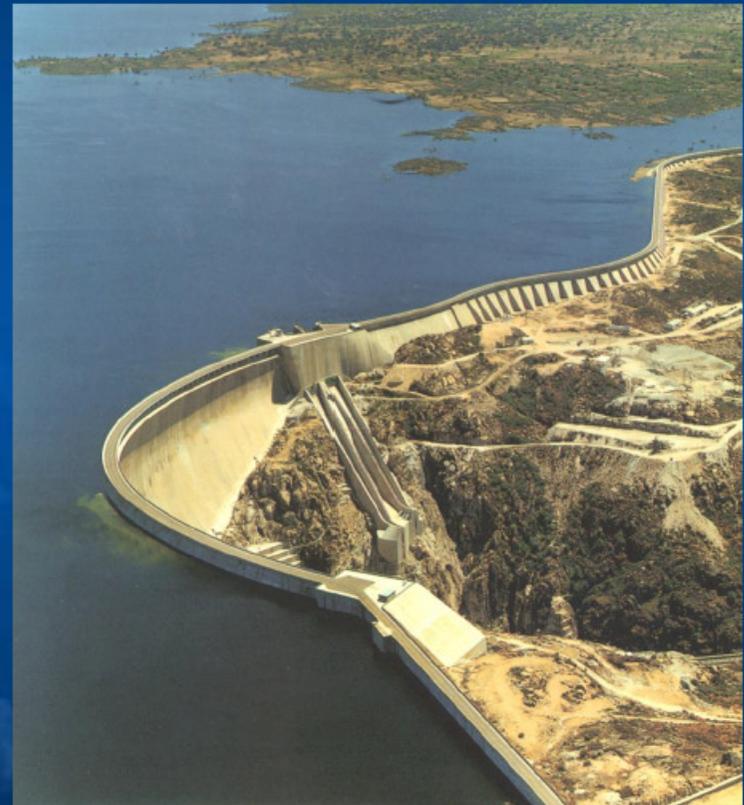




# Les Barrages

# Barrages dans le Monde

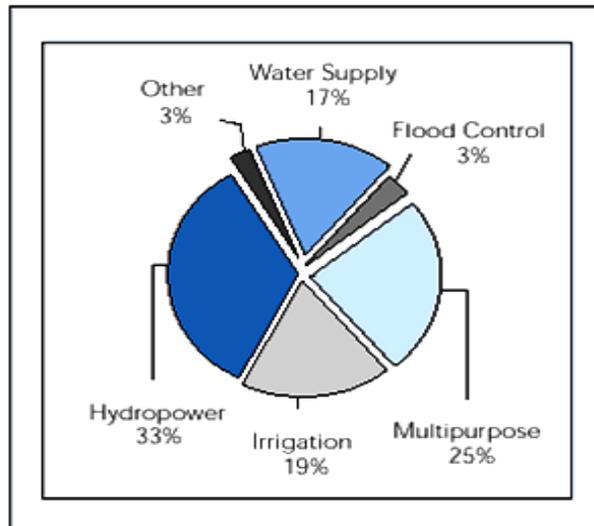
- 50.000 Grands Barrages
- 1 Million de Petits Barrages
- Capacité Totale : 8,300 km<sup>3</sup>



# Usage des Barrages



## Europe



Source: ICOLD, 1998.

Note: Rates of dam commissioning in the 1990s are underreported.

### Les barrages :

- favorisent le développement économique de nombreuses régions
- permettent de réduire les risques d'inondation et de sécheresse

**La houille blanche est une énergie renouvelable, mais les barrages ont un impact sur l'environnement (au sens large) que l'on ne doit pas sous-estimer.**

# Barrages & Changement Climatique



# Recul des Glaciers





# Faire face aux Problèmes actuels

Les désastres humains et naturels s'accroissent :

**Les Crues** ont des effets dévastateurs sur l'agriculture et les conditions de vie de plus de 200 Millions de personnes chaque année .

**Les Émissions de gaz** à effet de serre perturbent de plus en plus nos climats .

**Les Ressources Pétrolières** s'épuisent .



**Nous devons faire face aux Changements Climatiques !!**



# Changement climatique

Effet sur le stress hydrique d'une variabilité hydrologique accrue

**Conditions  
actuelles**



**Augmentation de 25%  
de la variabilité**



La plupart des pays du monde vont  
connaître une réduction de la fiabilité de leur  
approvisionnement en eau



# Faire face aux problèmes actuels

**En 2050 :**

Population Mondiale atteindra **10 Milliards** d'habitants

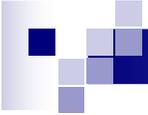
Croissance de **50 %** essentiellement dans les villes

- Les besoins en **Eau** vont doubler
- Les besoins en **Energie** vont tripler
- Les besoins en **Electricité** vont quadrupler

# Les barrages participent à la lutte contre le changement climatique

- Des réservoirs qui régulent les crues dévastatrices
- Des réserves d'eau importantes qui limitent les effets de la sécheresse et du « stress hydrique » notamment en zone méditerranéenne pour :
  - L'eau potable
  - L'irrigation des cultures
  - L'élevage





## Les barrages participent à la lutte contre le changement climatique (2)

### Lutter contre les causes du Changement Climatique :

- Une énergie propre et peu coûteuse qui remplace les énergies fossiles polluantes et non renouvelables
- Une énergie abondante dans les pays en développement qui réduit les déforestations liées à l'usage du charbon de bois
- Une énergie souple d'utilisation qui réduit le recours aux énergies fossiles pour faire face aux pointes journalières de consommations
- Un outil incomparable pour le réglage du réseau en fréquence et en tension

# L'avenir est de mieux gérer l'eau des rivières

**Il faut s'attendre à des transformations radicales dans la façon dont on exploite la puissance des rivières en favorisant le stockage d'énergie.**

**→ A l'énorme accroissement des besoins d'énergie s'ajoute la pénurie d'eau qui s'annonce avec le Changement Climatique et qui est déjà une réalité dans de nombreux pays du monde**

**→ Il faut repenser l'usage des fleuves**

- pour l'énergie,
- pour alimenter en eau les villes et les industries
- pour irriguer les cultures
- Pour endiguer les crues



## L'avenir est de mieux gérer l'eau des rivières (2)



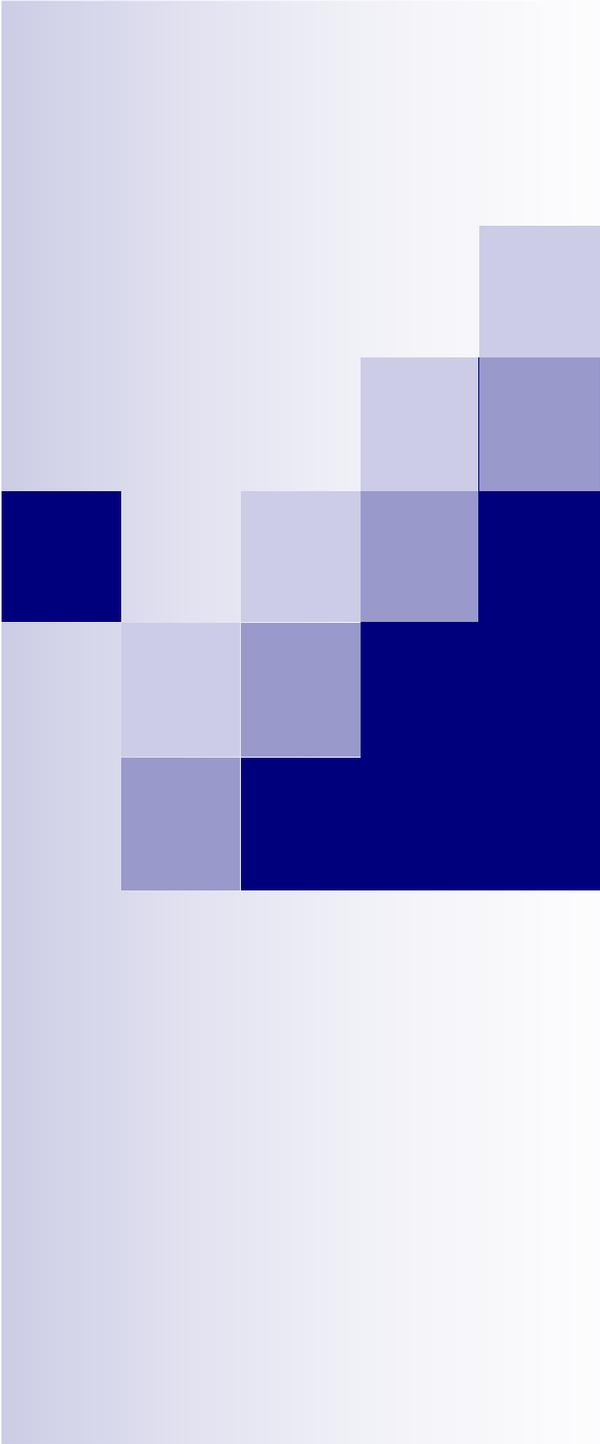
- Aujourd'hui les **barrages se remplissent à la saison des pluies** ou à la fonte des neiges, puis restent **inactifs pendant 6 mois.**
- Avec la multiplication des installations de **pompage-turbinage**, on pourra **faire travailler les barrages tous les jours**, en association avec les **parcs éoliennes et solaires.**
- Il faudra aussi **stocker l'eau en dehors des rivières** avec des **réservoirs de faibles hauteurs** grâce à des **digues très larges.**
- Il est probable que les **barrages dans le cours des rivières** seront **plutôt réservés à la régulation des crues**, associés à du **stockage en dehors.**

# Des solutions sont possibles

Depuis plus d'un siècle les Grands Barrages ont prouvé qu'ils sont un formidable outils pour :

- le Développement Durable de L'Humanité
- la Lutte contre le Changement Climatique





# Barrages : Classification

# Categorie de Barrages : f(sa taille)

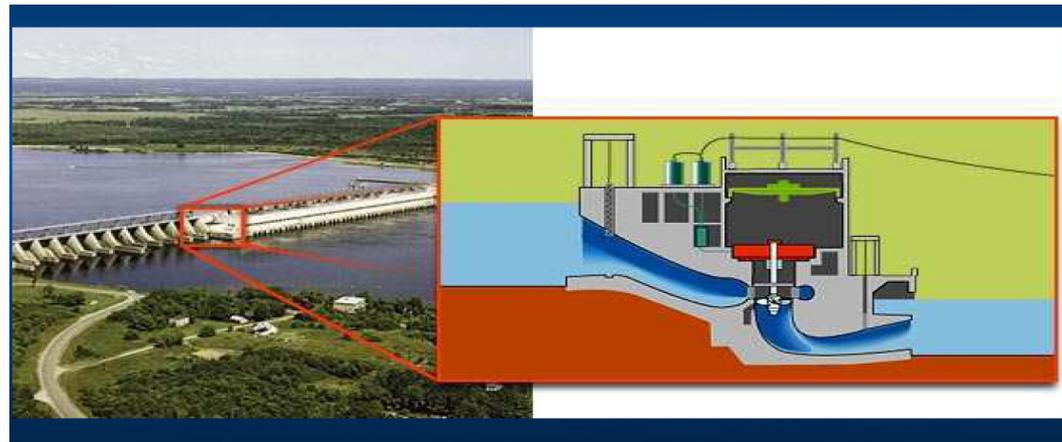
- *Large (Big) dam*
- *Small dam*

International Commission on Large Dams, (ICOLD) assumes a dam as big when its height is bigger than 15m.

If the height of the dam is between 10m and 15m and matches the following criteria, then ICOLD accepts the dam as big:

- If the crest length is bigger than 500m
- If the reservoir capacity is larger than 1 million m<sup>3</sup>
- If the flood discharge is more than 2000 m<sup>3</sup>/s
- If there are some difficulties in the construction of foundation

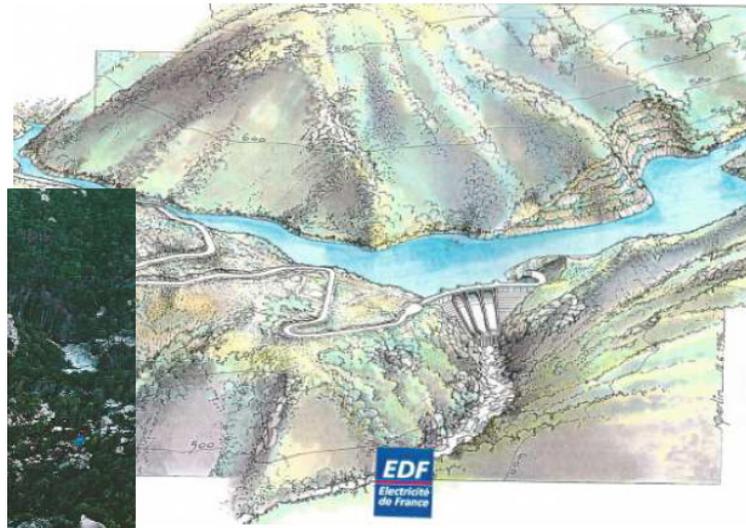
Fil de l'Eau



# Définition

- Un barrage est une structure qui prévient les inondations et accumule de l'eau dans un réservoir

Rizzanèse 1996-2000



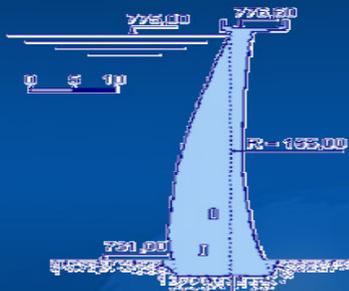
Sinop (Brésil) 2013



# Barrage Poids et Voûte



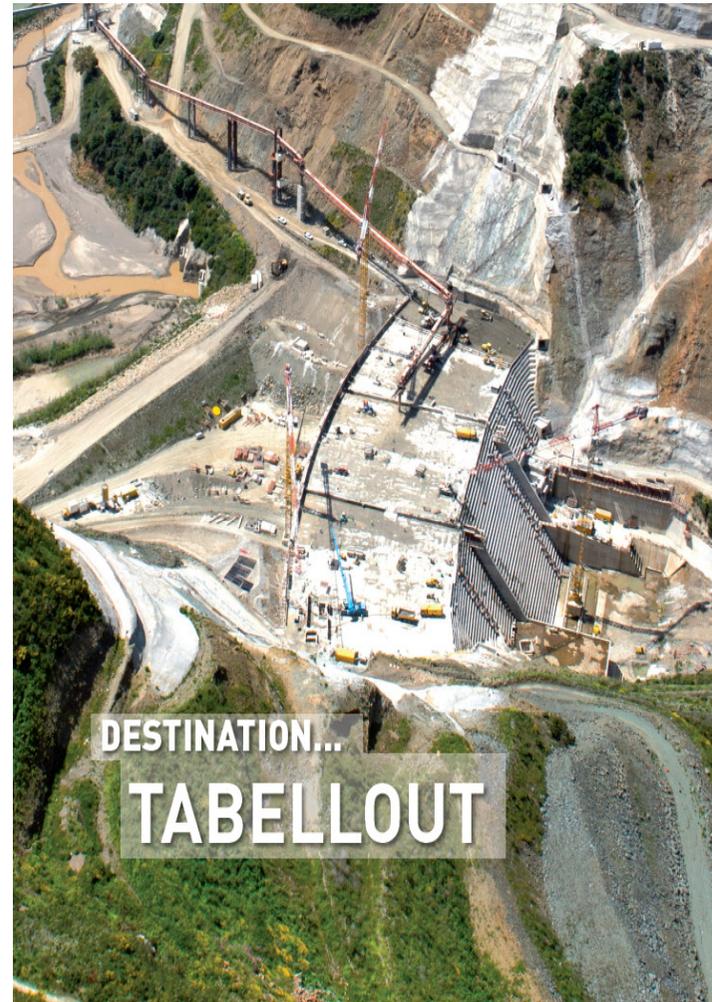
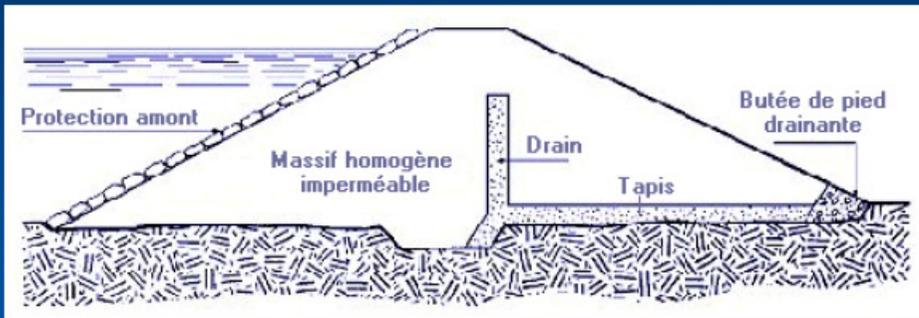
Barrage du Riou

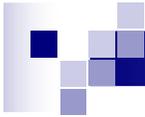


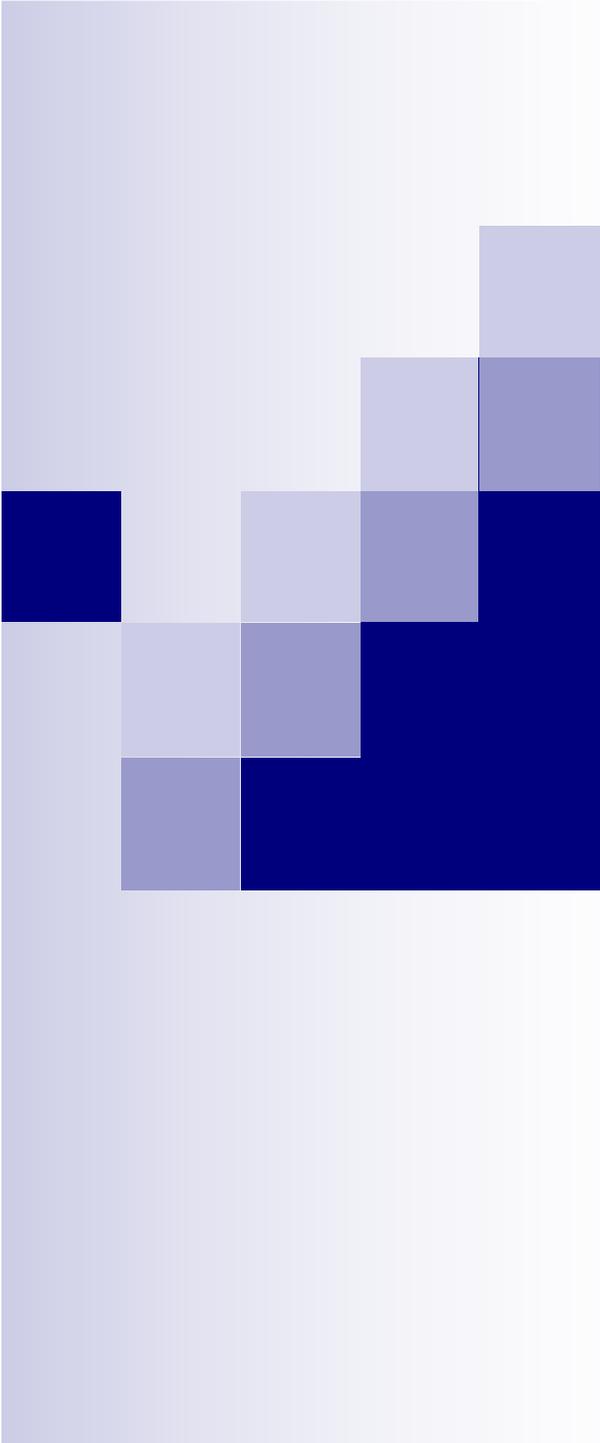
Barrage de Bort-les-Orgues



# Barrage en terre & BCR

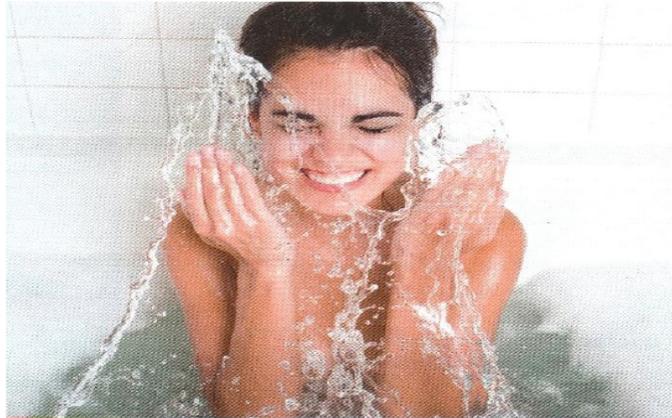




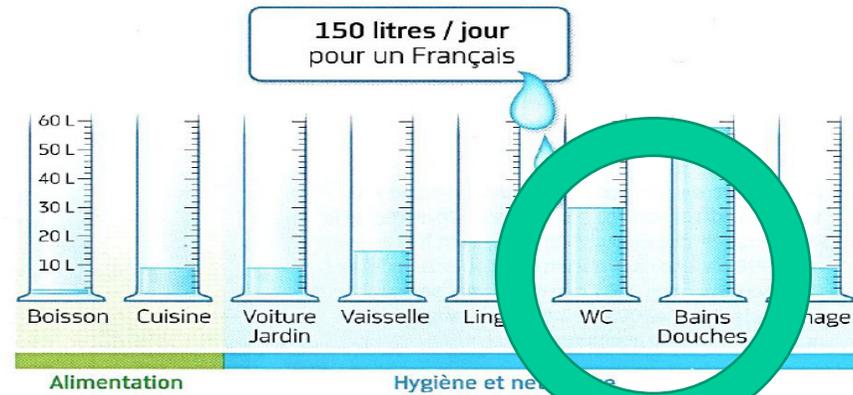


# Electricité & Barrages en AFRIQUE

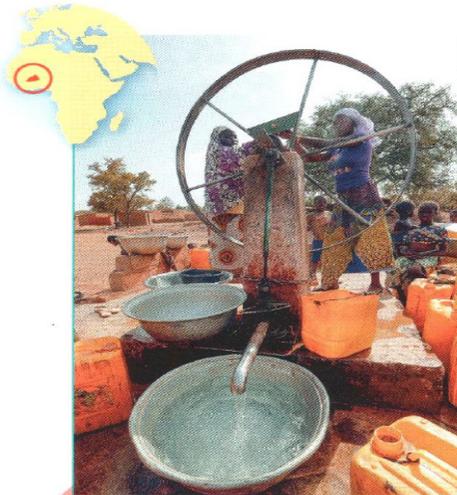
# Comparer, les usages de l'eau douce



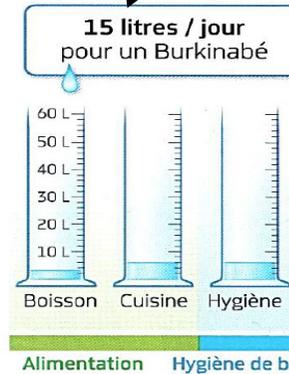
Une jeune femme dans son bain.



Les utilisations quotidiennes de l'eau par un Français.

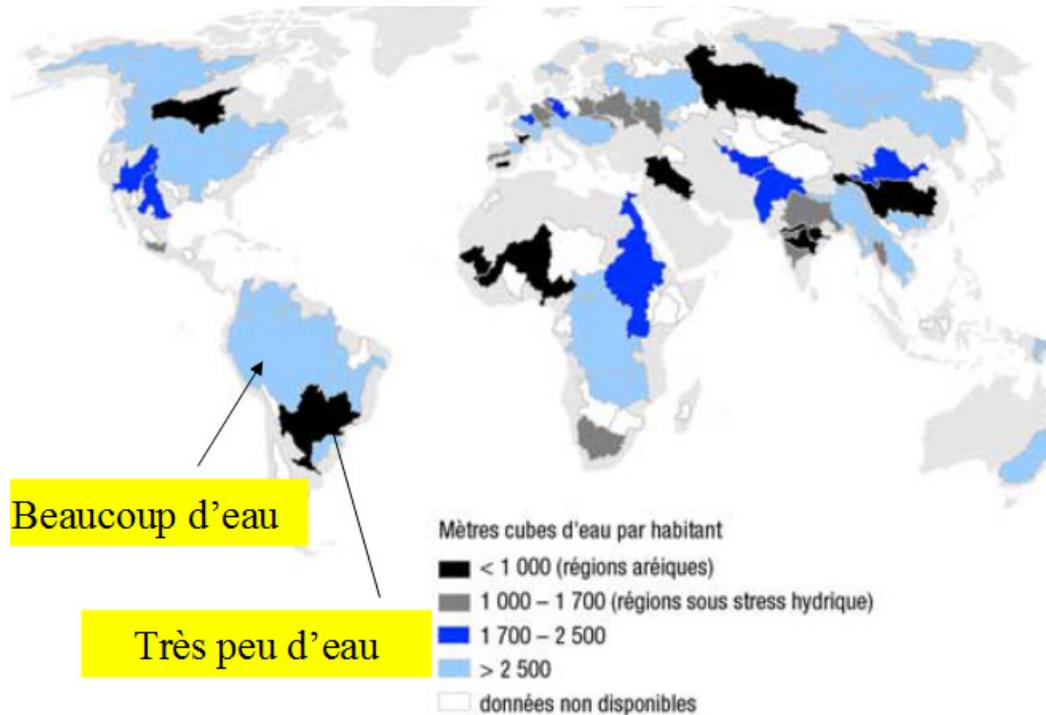


Corvée d'eau quotidienne au Burkina Faso par des jeunes femmes.

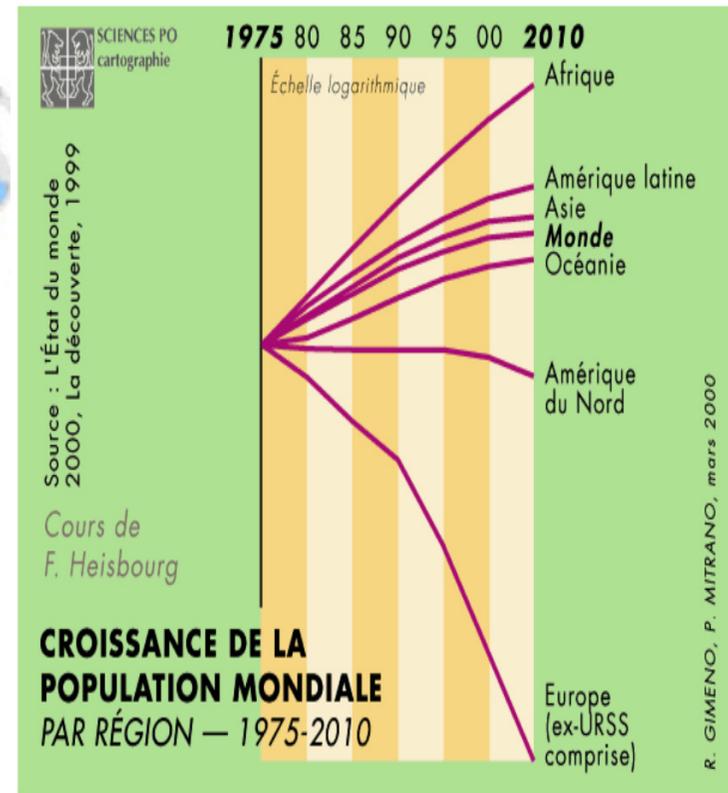


Les utilisations quotidiennes de l'eau par un Burkinabé.

# La population mondiale et l'eau



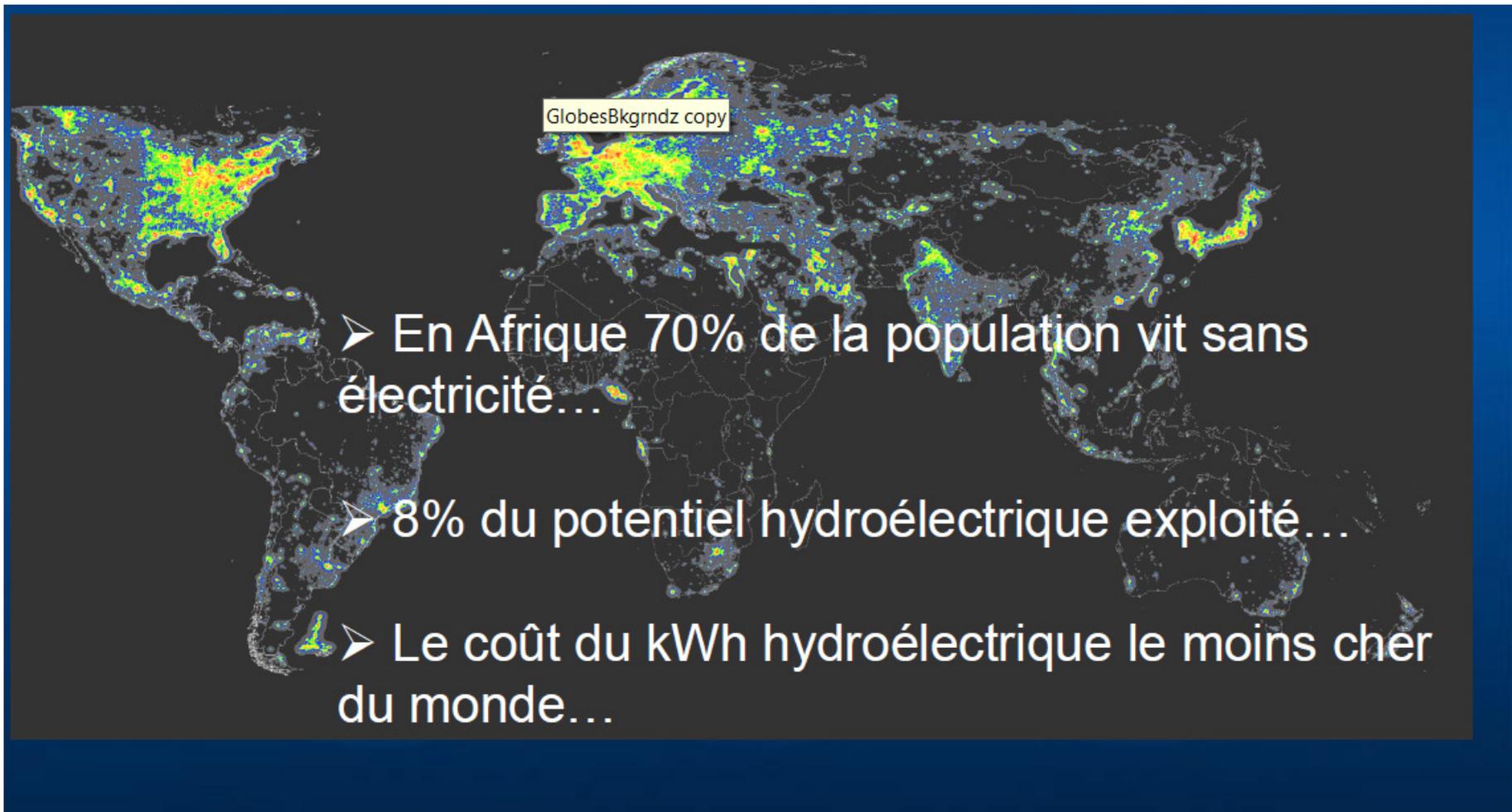
## La population mondiale

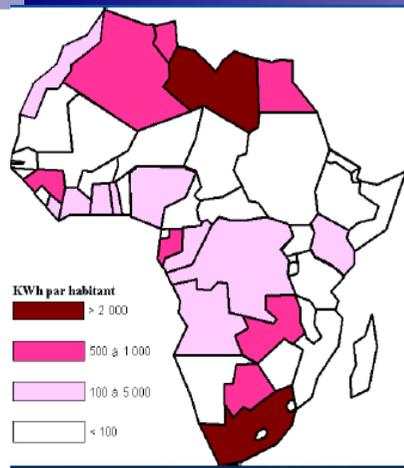


# Pour réduire les Déforestations



# Electricité en Afrique





# Electricité en Afrique

- Afrique : 450 kWh /hab/an
- Amérique du Nord : 12 000 kWh /hab/an

Région	Potentiel TWh/an	Hydro-électricité produite		
		TWh/an	%	
Europe	790	560	71%	
Asie (avec Russie & ancien. rép.)	4 000	950	24%	
<b>Afrique</b>	<b>1 100</b>	<b>85</b>	<b>8%</b>	
Amérique du Nord	1 000	670	67%	
Amérique du Sud	1 600	600	38%	
Océanie	90	55	61%	
<b>Monde</b>	<b>8 580</b>	<b>2 920</b>	<b>34%</b>	

# C'est le moment pour Développer l'hydroélectricité en Afrique

## “Les conditions sont maintenant réunies ”

- Les coûts de production de l'hydroélectricité sont faibles et indépendants de la fluctuation des prix des combustibles fossiles, alors que les prix des autres énergies tendent à croître.
- L'hydroélectricité est propre et constitue donc une partie de la solution au problème du changement climatique, l'une des questions marquantes du siècle à venir.
- Le potentiel hydroélectrique africain est immense et sous-exploité.
- Les besoins de la population africaine constituent une urgence.

L'Afrique va saisir cette opportunité et les organisations signataires de cette déclaration mondiale s'engagent à joindre tous leurs efforts pour accompagner l'Afrique dans ce nouveau challenge.



## CITATION



« La liberté politique est insuffisante quand on manque d'eau.

La liberté politique est insuffisante quand on manque d'électricité pour lire la nuit, quand on n'a pas d'eau pour irriguer sa ferme, quand on ne peut pas attraper de poisson pour nourrir sa famille.

Pour ces raisons, le combat pour le développement durable est aussi important que le combat pour la liberté politique.

Ces combats peuvent se mener ensemble comme ils peuvent s'anéantir mutuellement »

**Nelson MANDELA**

## Le mois dernier : MOZAMBIQUE ...



Cyclone durant 1 seule nuit .

- Pénurie d'eau potable
- Cas de choléra
- Infrastructures détruites ( routes, electricité...)





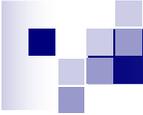
Revenons en France  
Impact du Changement Climatique  
en Métropole



## En France métropolitaine

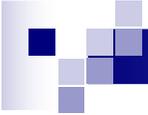
**Les hivers moins froids associées à des précipitations plus importantes dans les Alpes contribueront à :**

- Augmenter la quantité de neige à haute altitude.**
- La quasi-disparition de la neige à basse altitude.**
- Actuellement, le débit du Rhône est fortement influencé par la fonte du manteau neigeux et on s'attend à ce que les régimes hydrologiques du Rhône soient nettement plus faibles à cause de la quasi-disparition des glaciers alpins, ainsi que de la fonte plus précoce des neiges.**



## En France métropolitaine : suite

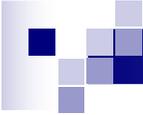
- Les glaciers risquent de disparaître d'ici la fin du siècle
- il n'y aura plus assez de réserve d'eau pour éviter les baisses de niveau en rivières.
- En situation de forte canicule, il est possible que le Rhône se tarisse pendant l'été, avec des conséquences sur l'exploitation des centrales nucléaires riveraines.
- Le rôle du stockage artificiel de l'eau va devenir encore plus stratégique, dans la mesure où le stockage naturel diminue.
- Le problème est identique dans le massif himalayen, dans les montagnes norvégiennes, dans les Rocheuses américaines...



## En Europe : l'Allemagne et nous ?

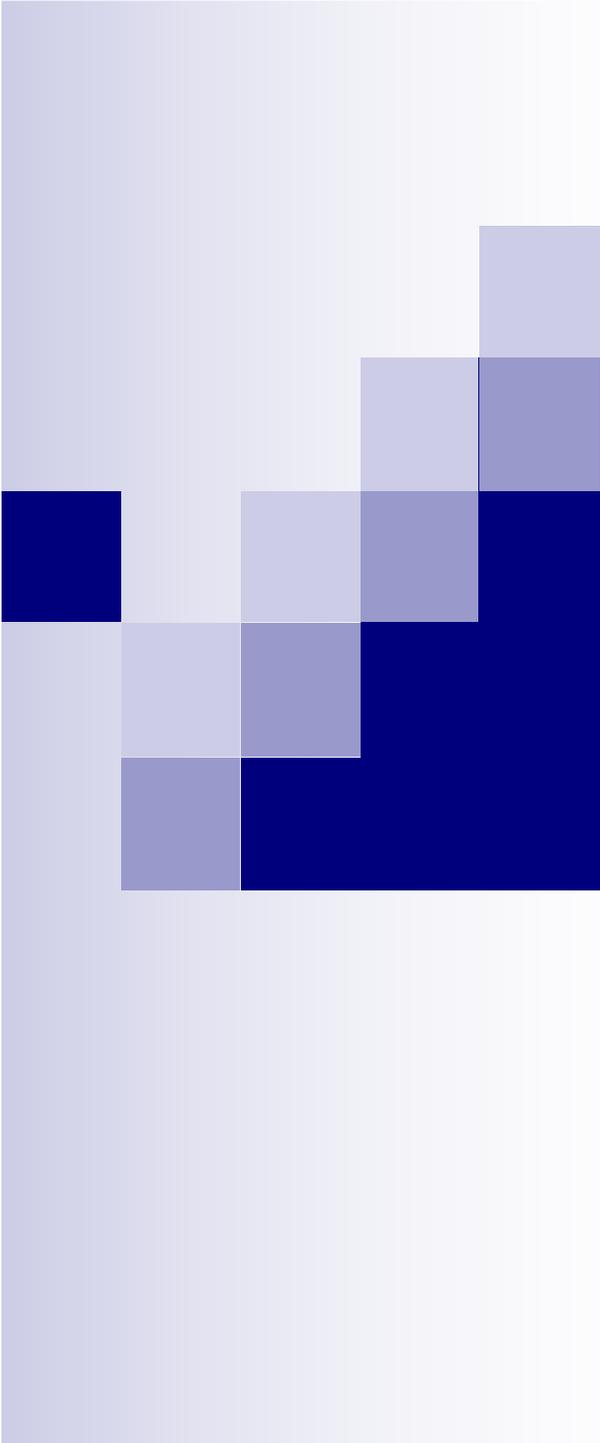
Après l'accident de Fukushima, l'Allemagne a entamé, un virage radical, “Energiewende” (transition énergétique) .

- **Sortir du nucléaire** en favorisant **l'Eolien et le Solaire** .
- Les **résultats ne sont pas à la hauteur** des espérances ; **l'indice de performance climatique** 2018 classe l'Allemagne en **29<sup>ème</sup> position**, derrière la Roumanie, l'Inde, l'Egypte, l'Indonésie et le Mexique.  
“L'Inde fait plus pour le climat que l'Allemagne .”
- *A contrario, la **France**, très décriée par les 'écologistes', se retrouvait **à la première place du classement** en 2017, mais à plusieurs places en 2018 .*  
**Si l'Allemagne a dit non au nucléaire, la France a dit non au CO<sup>2</sup>.**



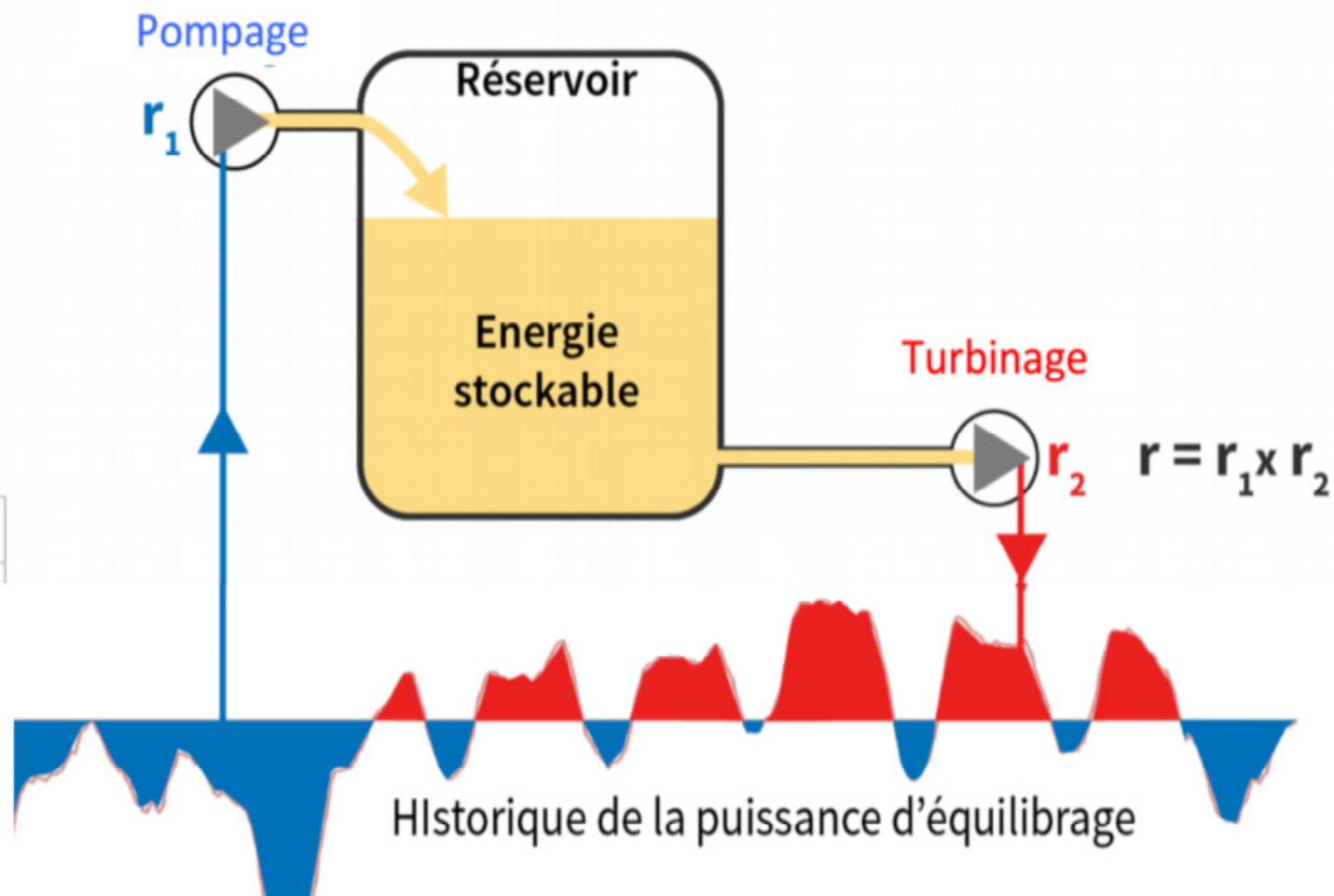
## Et la France en Électricité ?

- La France prévoit d'ici 2035, **la part du nucléaire de 50 %** dans la production d'électricité .
- En 2050, la part des fossiles **doit rester très faible** .
- Le **role de l'hydroélectricité** sera **important dans tous les cas** :
  - **Maintien** de la production des **centrales hydro** classiques
  - **1 %** de la production en **marémoteur ou hydrolien**
  - **Utilisation importante des STEP**, pouvant culminer à **20 GW** au lieu des 5 GW actuels, dans l'hypothèse d'une faible part du nucléaire et de beaucoup d'énergie intermittente .  
Les sites nécessaires peuvent être en montagne dans le Sud, et en bordure de mer dans le Nord.



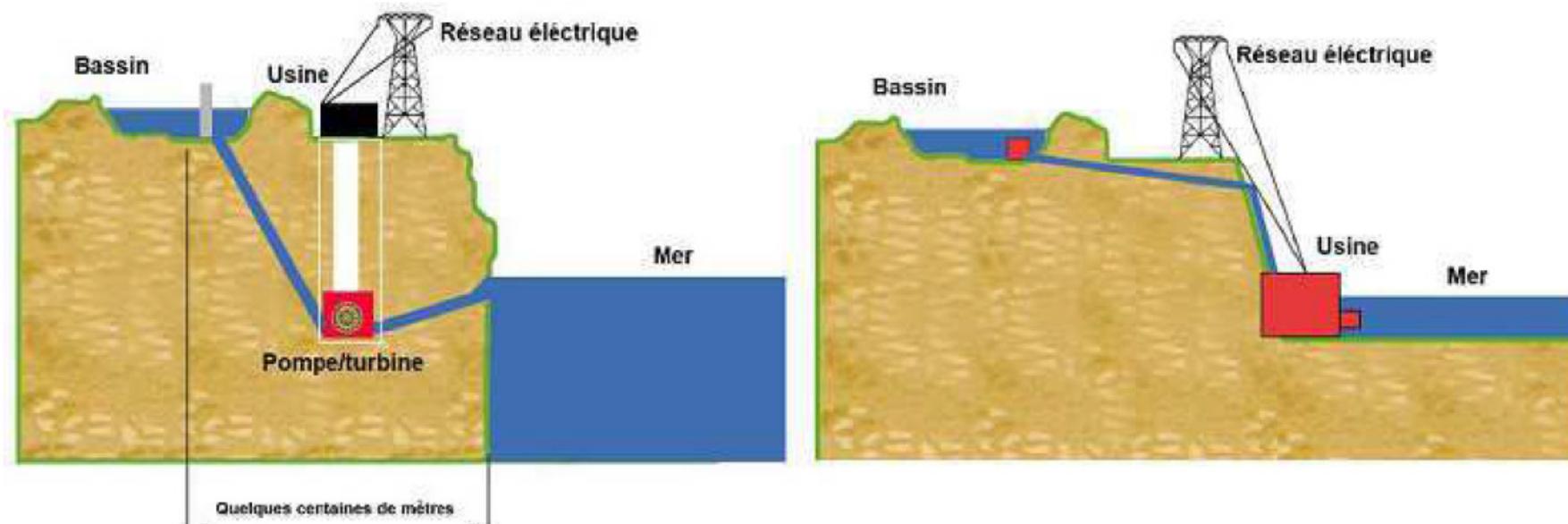
# **Nouvelles Technologies liées à l'eau**

# Stockage: principe



# En Europe : l' Avenir est aux STEPs marines ?

Schéma de principe d'une STEP marine



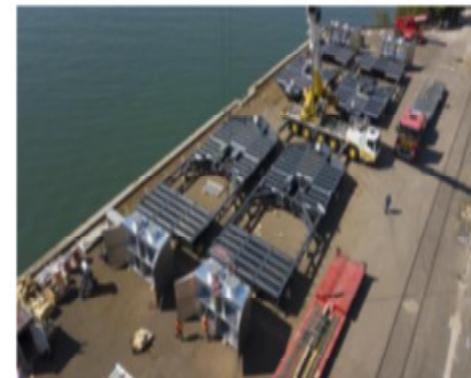
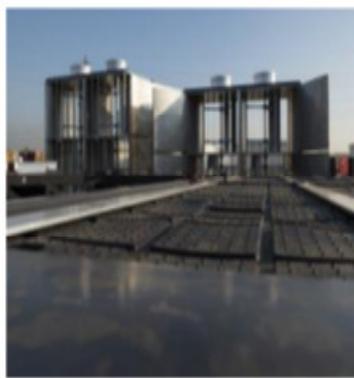
## Okynawa au Japon



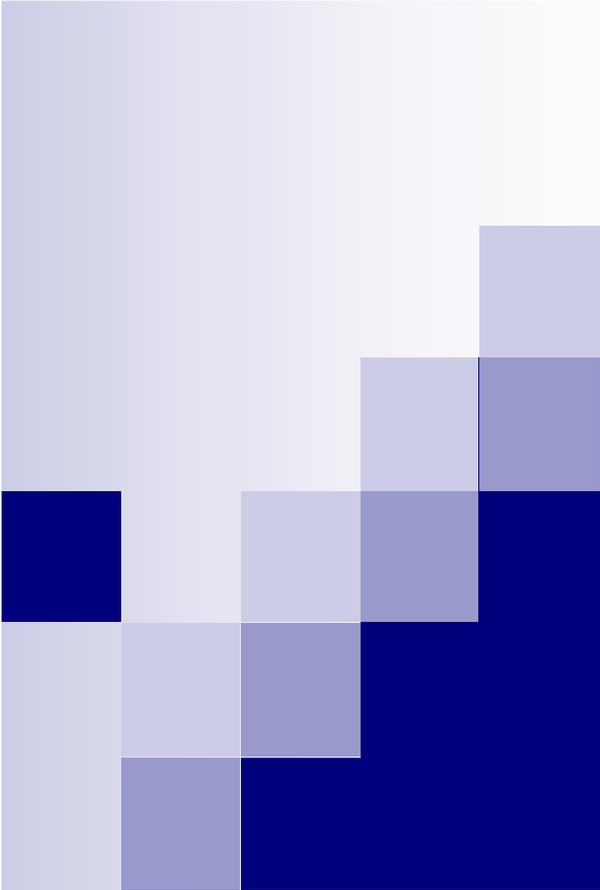
Cette centrale est exploitée depuis + de 10 ans et n'a jamais eu de petites sœurs !!!!

# L'hydrocinétique .... !!!

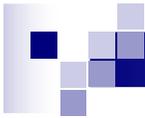
Une technologie écologiquement et économiquement responsable



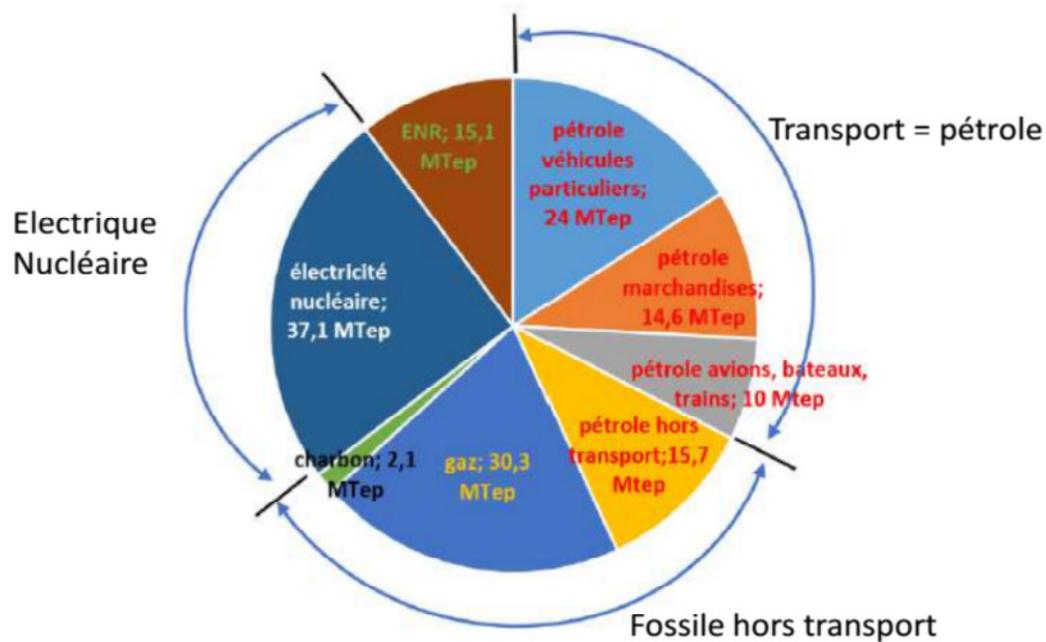
*Les hydroliennes en cours de montage au Port de Lyon Edouard Herriot (photos HD disponibles sur demande)*



**FRANCE : L'Energie  
&  
Déclinaison de la PPE pour  
l'hydroélectricité**

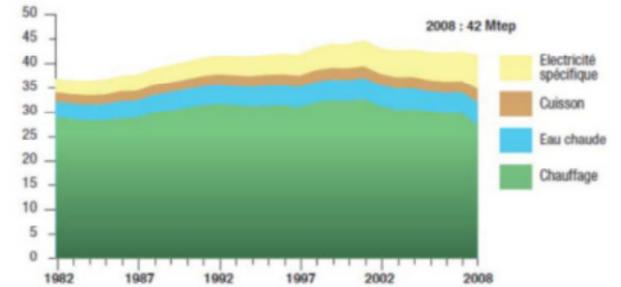


## Consommation d'Énergie en France



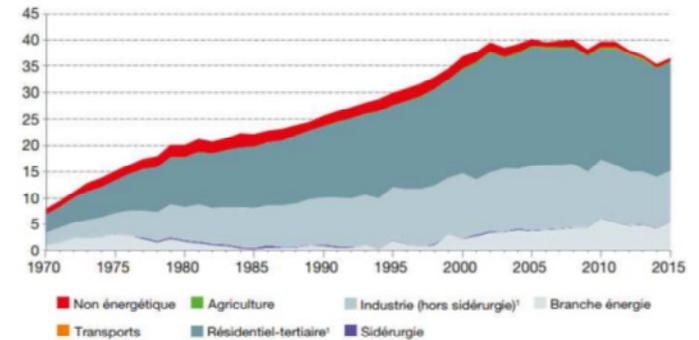
- 2/3 : d'origine fossile.
- Pétrole majoritairement pour transport (50MTep, stable depuis 20 ans)
- Gaz principalement pour chauffage et eau chaude (tertiaire et habitat).

Consommation finale des résidences principales par usage (Mtep)



Consommation d'énergie des logements, par usage

CONSOMMATION PRIMAIRE<sup>1</sup> DE GAZ NATUREL PAR SECTEUR : 473,9 TWh EN 2015 En Mtep PCI<sup>2</sup>



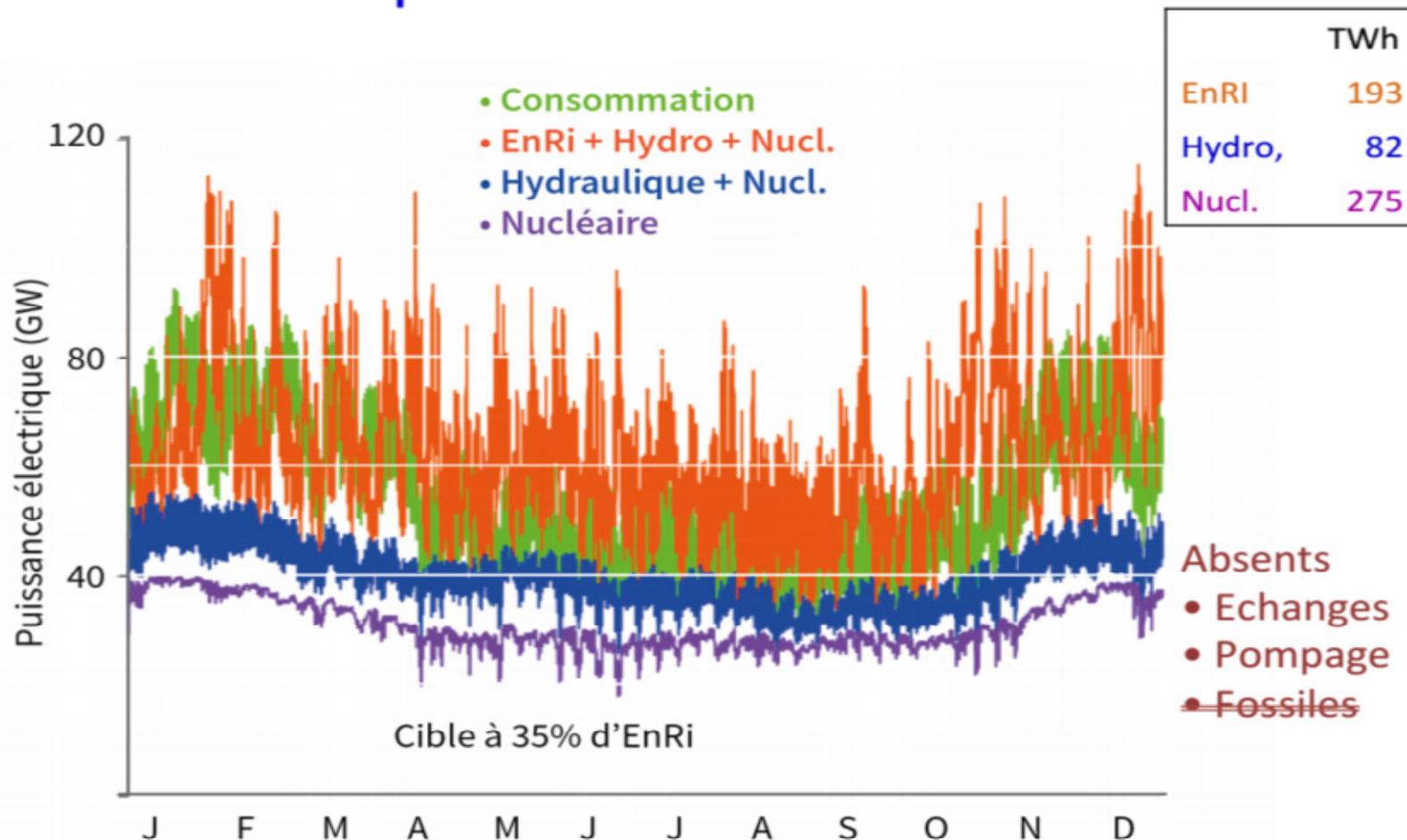
<sup>1</sup> Consommation corrigée des variations climatiques.

<sup>2</sup> 1 TWh PCS = 1 milliard de kWh en pouvoir calorifique supérieur (définitions p. 67).  
Champ : métropole.

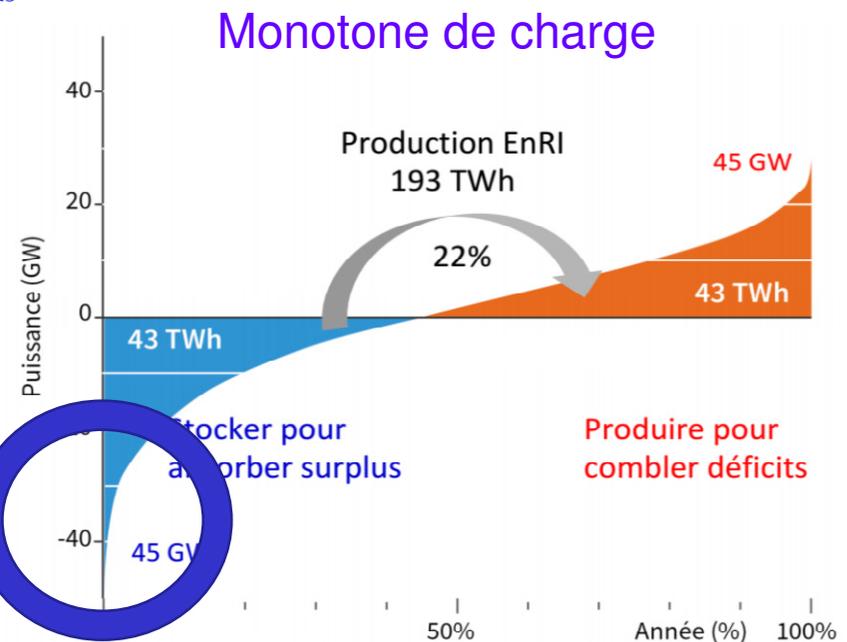
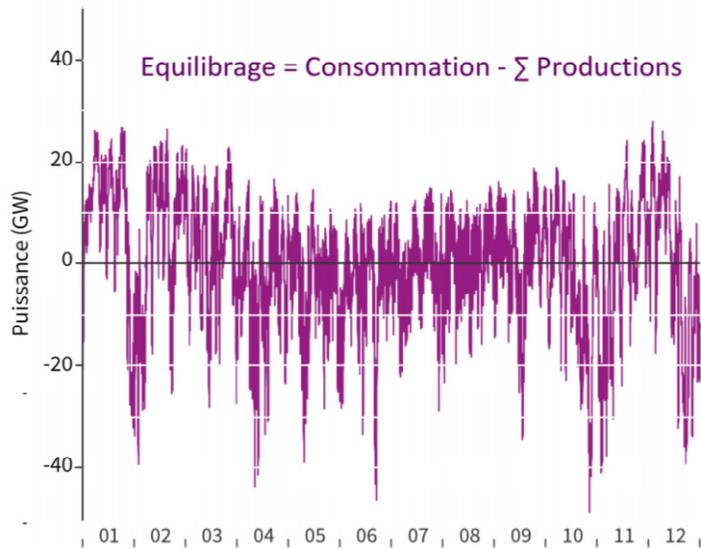
Sources : SOeS, enquête annuelle sur la statistique gazière ; Fédération française de l'acier

# Le mix électrique prévue par la PPE en 2035 : fonctionnement

## Mix électrique 50% nucléaire et 35% EnRI



# Equilibrage : variation sur l'année



*Exces europdfiens conduisant  
à des cdfuts nfdgatifs  
Effacement des centrales dfoliennes  
Choix retenu 15 TWh / 43*





# La place de l'Hydro-électricité

## Nouvelle stratégie energie-climat de la France PPE 2019

- Des motifs de satisfaction, car reconnu comme intérêt pour la transition énergétique
  - une filière renouvelable prédictible et pilotable ;
  - sa flexibilité permet d'assurer de manière réactive l'équilibre offre-demande lors des périodes de tension sur le système électrique, à la place de moyens thermiques coûteux et fortement émetteurs de gaz à effet de serre ;
  - le stockage hydraulique permet en outre de placer la production pour suivre la consommation sur des périodes longues (hebdomadaires voire saisonnières)
  - réservoirs qui régulent les crues dévastatrices
- Petite hydro-électricité => moins d'impacts environnementaux
  - Lancer des appels d'offres pour la petite hydroélectricité
- Mesures complémentaires en hydro-électricité
  - Optimiser la production et la flexibilité du parc hydroélectrique, notamment au-travers de suréquipements et de l'installation de centrales hydroélectriques sur des barrages existants non-équipés
  - Mettre en place un dispositif de soutien à la rénovation des centrales autorisées entre 1MW et 4 - 5MW ;
  - Lancer l'octroi de nouvelles concessions sur quelques sites dont le potentiel aura été identifié .

# La place de l'Hydroélectricité ( suite)

## Nouvelle stratégie energie-climat de la France PPE 2019

L'objectif est d'augmenter le parc de l'ordre de 200 MW d'ici 2023 et de 900 à 1200 MW d'ici 2028, ce qui devrait permettre une production supplémentaire de l'ordre de 3 à 4 TWh dont environ 60% par l'optimisation d'aménagements existants.

Situation 2017		Objectif PPE 2018	Objectif bas PPE 2023	Objectif haut PPE 2023
25294		25180	25680	25930

Potentiel			Total	Dont hors liste 1
Centrales nouvelles	Concessions (sites vierges)	>10MW	Env. 2 090 MW	Env. 370 MW
		<10MW		Env. 120 MW
	Autorisations	Sites vierges	Env. 750 MW	Env. 170 MW
		Sites existants (barrages non équipés), hors moulins	Entre 260 et 470 MW	
		Sites existants (barrages non équipés), moulins	Env. 350 MW	
Suréquipement et modernisation de centrales concédées existantes à horizon 2028			Env. 400 MW	

**Coûts unitaires :** Les coûts de construction sont élevés (génie civil, équipement, raccordement au réseau), pour des coûts d'exploitation et de maintenance relativement faibles. Les coûts liés aux aménagements à visée environnementale sont de plus en plus significatifs.(...)

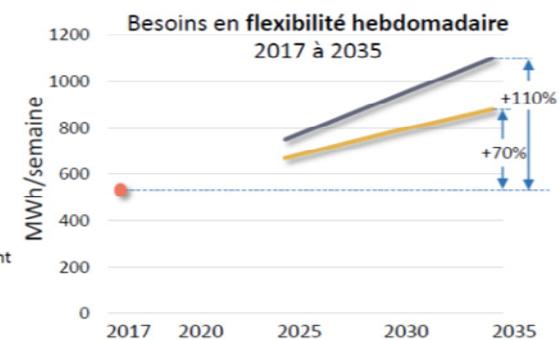
Les coûts unitaires moyens de l'énergie sont compris :

- entre 30 et 50 €/MWh pour de grandes installations au fil de l'eau ;
- entre 70 et 90 €/MWh pour les installations de forte puissance et exploitant des hautes chutes ;
- entre 70 et 160 €/MWh pour les installations de plus faible puissance.

# Hydro-électricité france, en synthèse.....

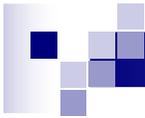
- STEP => **Stockage 0,1 TWh**
- **Total du Stockage hydro 3,5 TWh** ( lacs principalement...) qui sont renouvelés 3 à 4 fois par an, selon les conditions climatiques et produisent 17 TWh .
- Eclusés => **3,5 TWh**
- Fil de l'eau ( peu pilotable)

- L'énergie hydraulique est **la plus adaptée aux enjeux de flexibilité.**
- **L'hydraulique prépare l'avenir** pour les besoins croissants de flexibilité.
- Développer la « **Smart Hydro** » (projets **So Flex'hy, VPP Storage...**), qualifier les modes de gestion conjointes Hydro / ENR.
- **Etablir des contrats long terme pour sécuriser la réalisation des services apportés par les STEP.**
- **Etablir des règles pour rémunérer les services de flexibilité :**
  - Compensation de la perte de coût d'opportunité ?
  - Rémunérer les performances dynamiques ?
  - Développement de services locaux ?

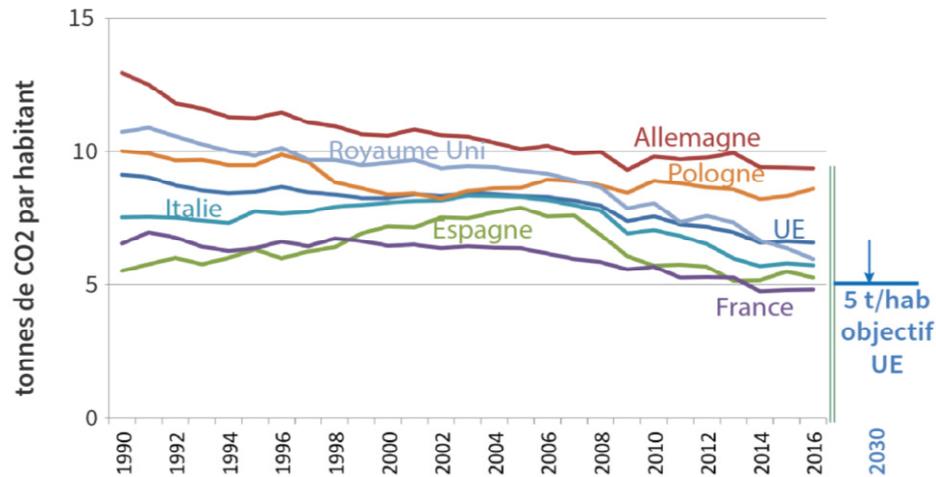


● Actuellement  
— Ampère  
(50% ENR)  
— Volt  
(40% ENR)

Source : RTE, Bilan prévisionnel 2017.



## Variations d'un quart de siècle



Emission CO2 = Energie consommée x poids unitaire de CO2

## Emettre moins de CO2 avec plus d'EnRI

- Anticiper les infrastructures et modes opératoires du système d'équilibrage.
- Bâtir des productions non émettrices de CO2
- Ne pas s'en remettre au marché pour le faire.
- Sinon, perte du cap de réduction des émissions de CO2, observée sur la décennie passée.

## Et le CO<sup>2</sup> ? .....

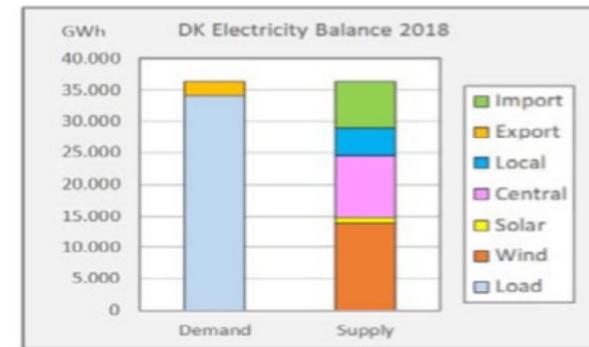
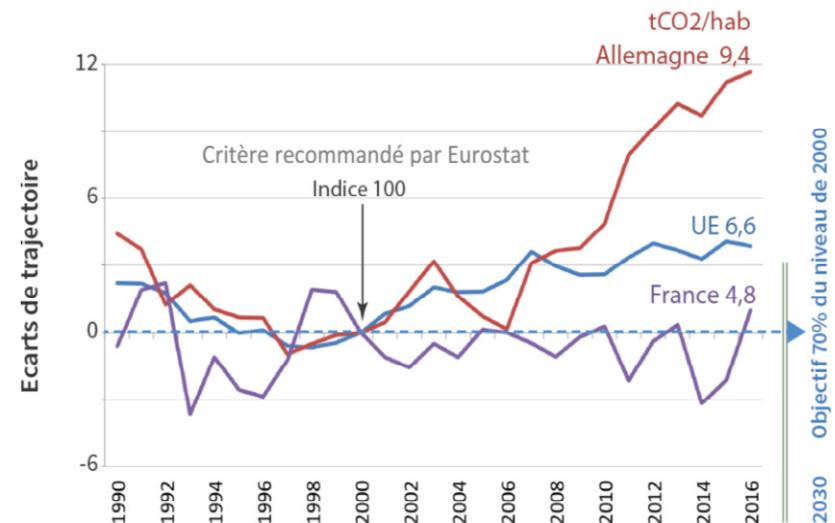
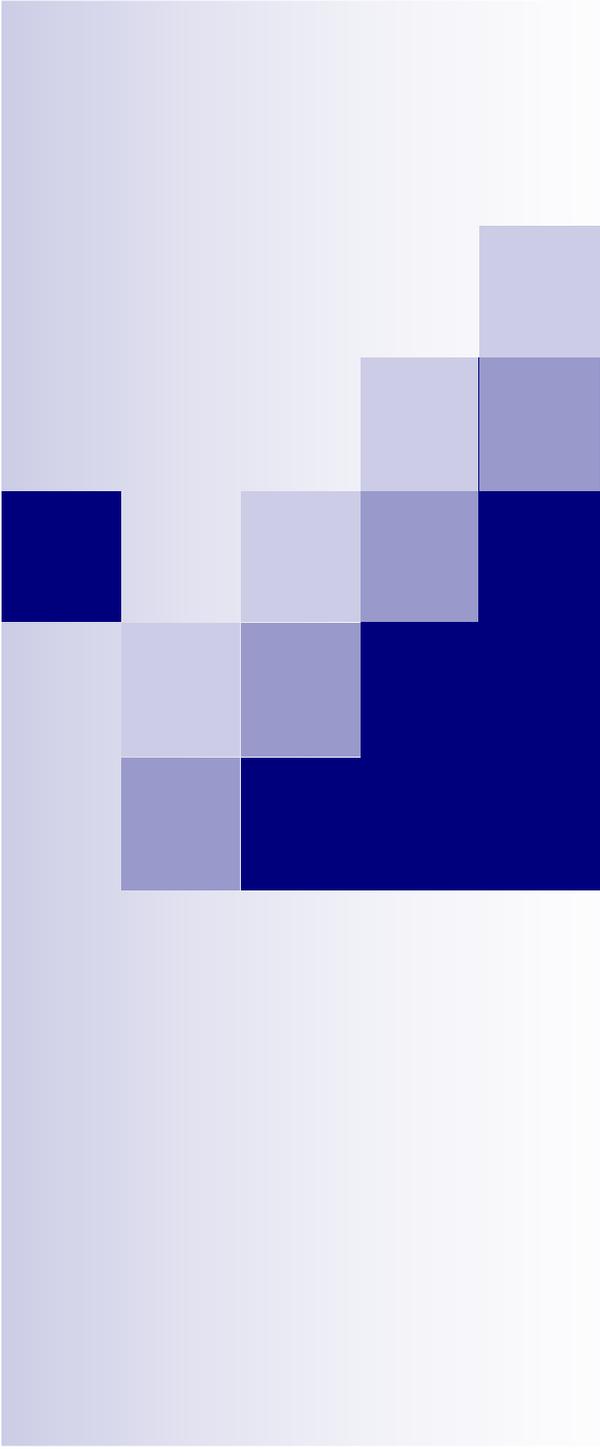


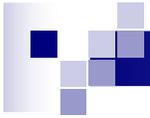
Fig. 2 - Danish electricity balance 2017

## Décarbonation de l'énergie : tient-on le cap?

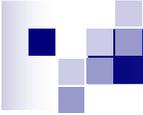


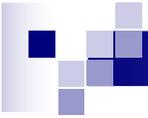


# CONCLUSIONS



- Très vite, d'ici 2020, **le Charbon va perdre sa première place** de génération mondiale d'électricité, **depassé par les énergies décarbonnées** ( hydro + nucléaire + ENR) .  
**En 2050**, la part du charbon devrait **chuter à 25 %**, il sera en grande partie remplacé par du gaz .
- Dans le monde le **Solaire et l'Eolien** vont progresser très rapidement, **couplés avec de l'hydroelectricité**, en particulier avec des STEP.
- La **production traditionnelle d'énergie hydraulique** peut quasiment doubler en passant de **4 000 à 7 000 TWh/an** .
- Tandis qu'en **France**, elle peut se maintenir vers 60 TWh/an avec une très faible marge d'augmentation .

- 
- La production **d'énergie marémotrice ou d'hydrolien marin** pourrait atteindre 1 000 TWh au niveau mondial ( ..à quel prix ???...).
  - La France a de grands sites **potentiels** et la meilleure expérience mondiale en marémoteur (La Rance), mais peut être une **utopie ?**
  - La **capacité des STEP mondiales** représente 10 % de la capacité de la production hydraulique dans le monde, mais elle pourrait l'égaliser (50 %) **afin d'équilibrer l'éolien et le solaire, ceci en 2050 .**
  - Tandis qu'en **France**, la capacité des **STEP** pourrait **doubler ou tripler** d'ici 2050 suivant la part prise par le nucléaire. Mais la PPE ne semble pas aller dans ce sens, **ni pour leur flexibilité .**
  - *La France dispose d'un énorme atout grâce à son électricité propre et bien distribuée ; il faut se battre pour conserver cet héritage fruit des efforts des générations passées .*



Assèchement  
de la mer d'Aral

**Merci pour votre attention**

Jean Jacques HEROU

Mars 2019

