

Production de l'énergie électrique

Production de l'énergie électrique

L'énergie est à la base de notre société

L'évolution de la société, du mode de vie, de l'accroissement du PIB depuis le milieu du XIXème siècle est due à l'apparition de sources d'énergie très efficaces, mille à dix mille fois plus efficace que l'énergie humaine et animale et pour un coût absolument dérisoire !

L'avenir de la société sera directement lié à l'énergie disponible et aux moyens de production du futur...

Production de l'énergie électrique

L'un des **grands défis** du XXIème siècle sera de faire face à la **demande croissante d'énergie** (et en particulier d'énergie électrique) en **gérant** les ressources énergétiques **existantes** ou **nouvelles** et en respectant l'environnement

Production de l'énergie électrique

**Malheureusement l'énergie n'est plus
uniquement une question purement
économique et scientifique mais de plus en
plus l'objet de décisions politiques liées
souvent à positions doctrinaires étrangères à
la réalité !**

Production de l'énergie électrique

**On ne « produit » pas d'énergie, on
la transforme !**

(principe fondamental de la conservation de l'énergie)

Production de l'énergie électrique

Les différentes formes d'énergie

Dans la vie courante, on rencontre et **on utilise l'énergie sous bien des formes :**

- **L'énergie mécanique** : celle des moteurs, des muscles
- **L'énergie calorifique** : celle de la chaleur, du chauffage, de la cuisson
- **L'énergie cinétique** : celle de la voiture, de la balle de tennis, du vent
- **L'énergie chimique** : celle de la nourriture, des carburants
- **L'énergie lumineuse** : celle qu'on reçoit du soleil, celle des lasers
- **L'énergie nucléaire** : celle des étoiles, des centrales nucléaires

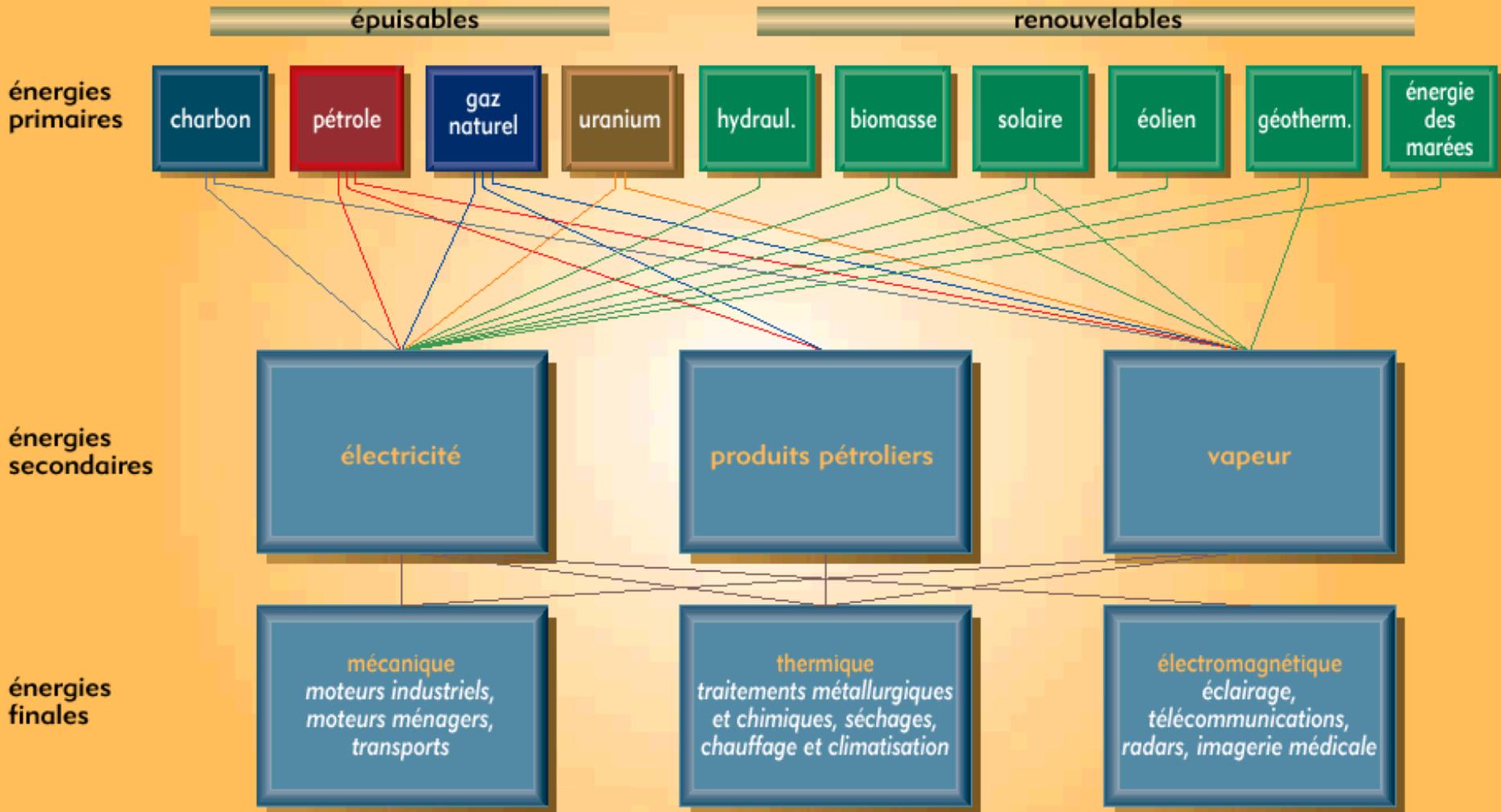
**Mais seules les énergies finales sont utilisables
directement...**

*Pour transformer les énergies primaires en énergie utile
il faut les convertir...*

Classification des sources d'énergie

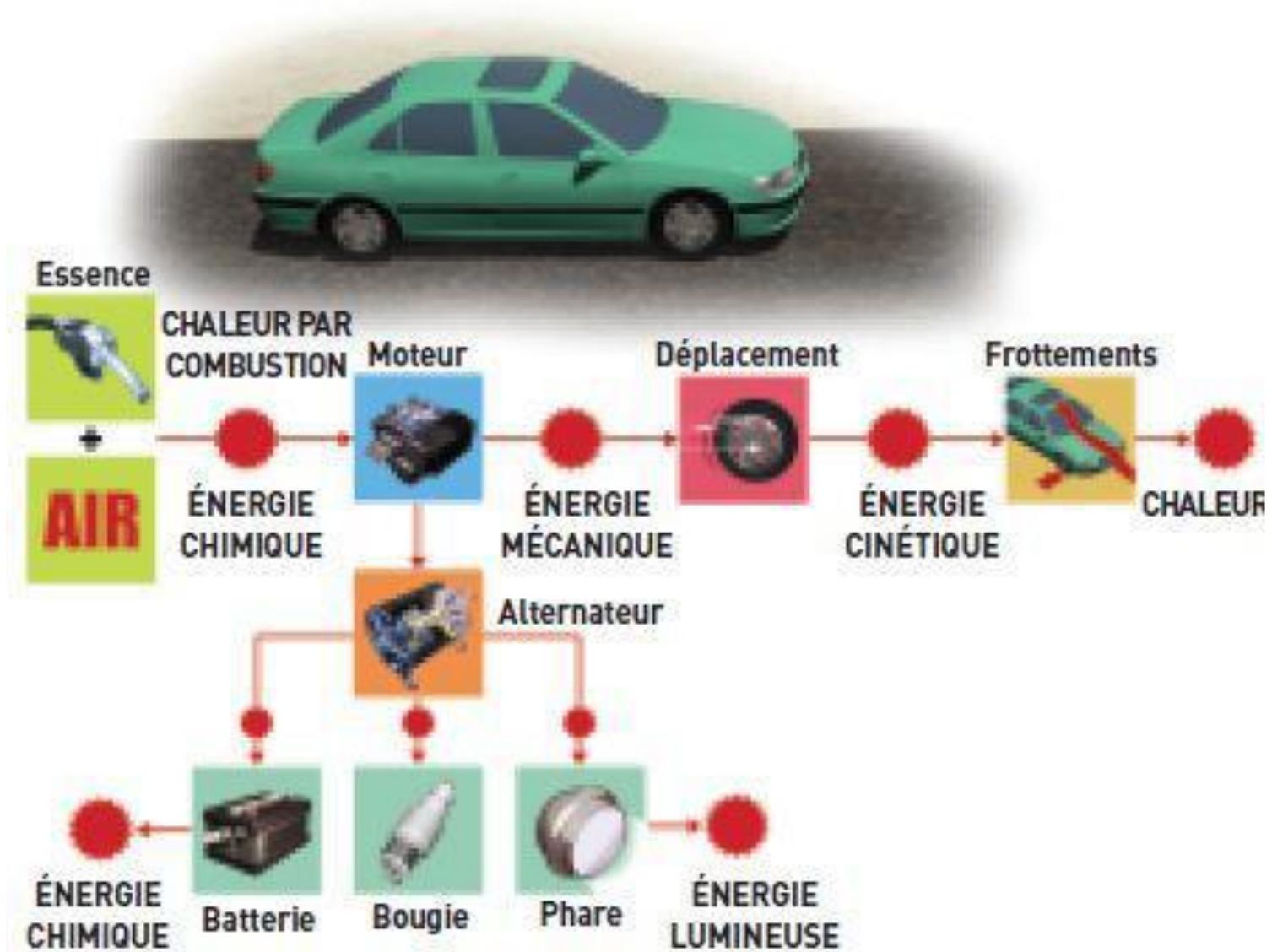
Energie de stock

Energie de flux



Un exemple de conversion d'énergie à partir du pétrole

Transformation de l'énergie



Panorama historique des différentes énergies

- Force humaine : depuis l'origine... (quelques millions d'années)
- Force animale : depuis plusieurs millénaires (cheval, boeuf, chameau...)
- Force du vent : depuis l'antiquité (voile, moulin à vent, éolienne)

Combustible :

- ✓ bois : depuis 300 000 ans
- ✓ charbon : depuis le XVIII - XIXème siècle
- ✓ pétrole : découverte XIXème siècle, utilisation massive : milieu XXème siècle
- ✓ gaz de ville (CO+H₂) : XIXème siècle
- ✓ gaz naturel (CH₄) : milieu XXème siècle

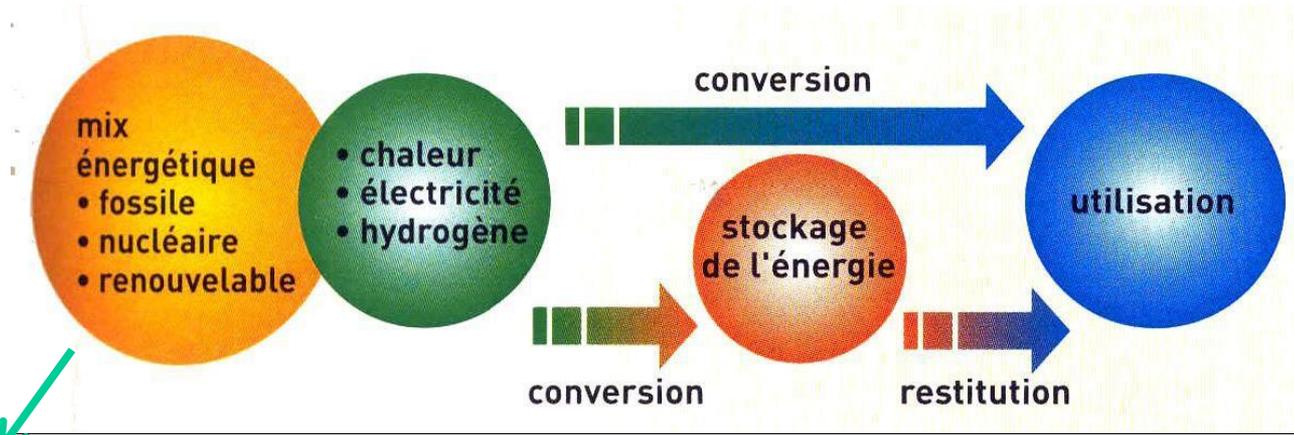
- Énergie hydraulique : quelques millénaires
- Énergie électrique : fin du XIXème siècle
- Énergie nucléaire : milieu XXème siècle
- Énergie solaire : milieu XXème siècle (*)

() mais les combustibles fossiles, la biomasse... sont des sous produits de l'énergie solaire !*

1 - il existe des énergies « gratuites »

Toutes les énergies primaires sont gratuites, mais pas les énergies finales !

Schéma énergétique



Énergies primaires

vent, soleil :
gratuits

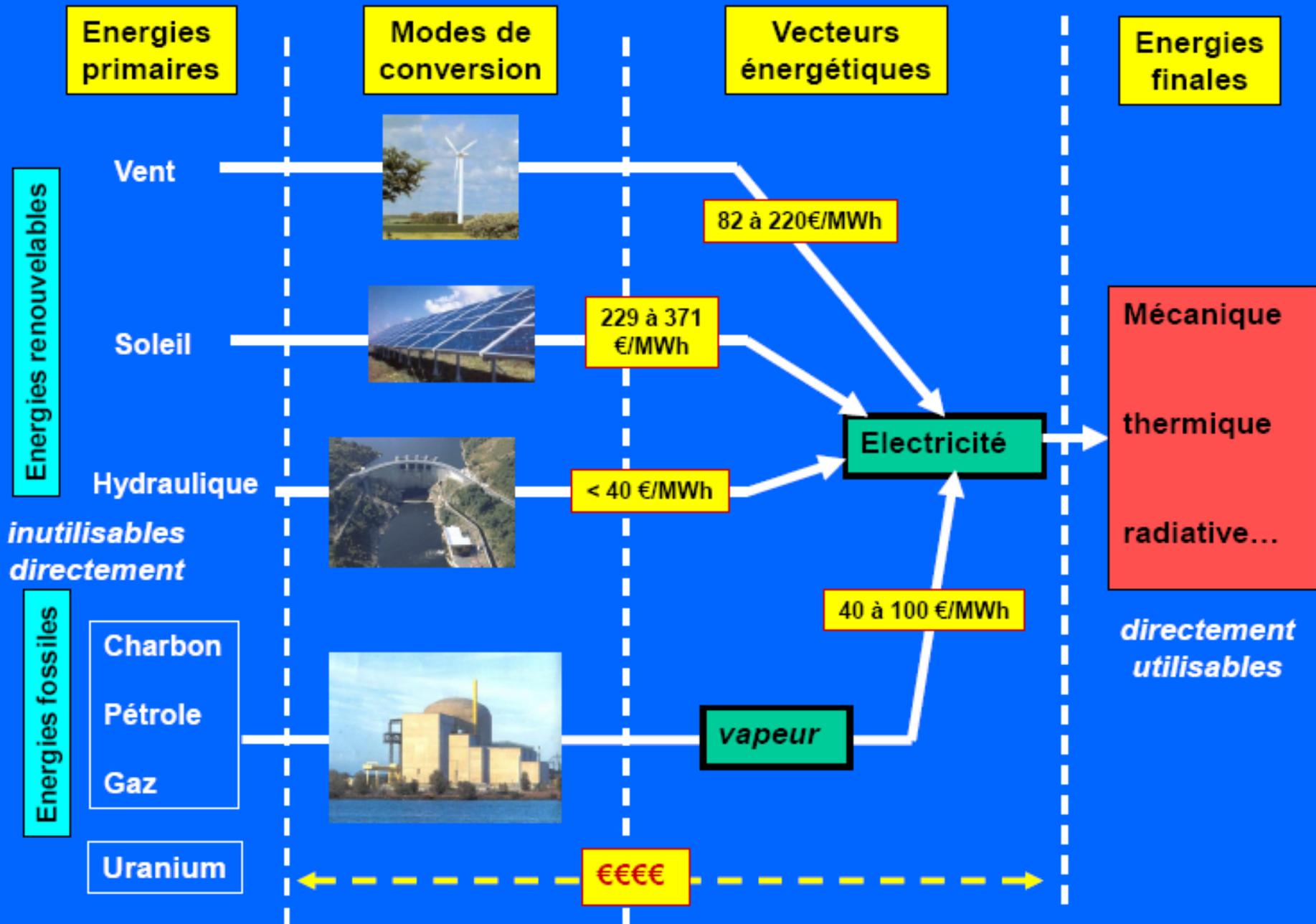
Énergie fossile :
extraction
transport
transformation...
..... □ coût

*Aérogénérateurs (éoliennes)
panneaux photovoltaïques
centrales thermiques
centrales nucléaires...*
**Dispositifs complexes donc
couteux !**

Énergies finales



Le mythe des énergies gratuites



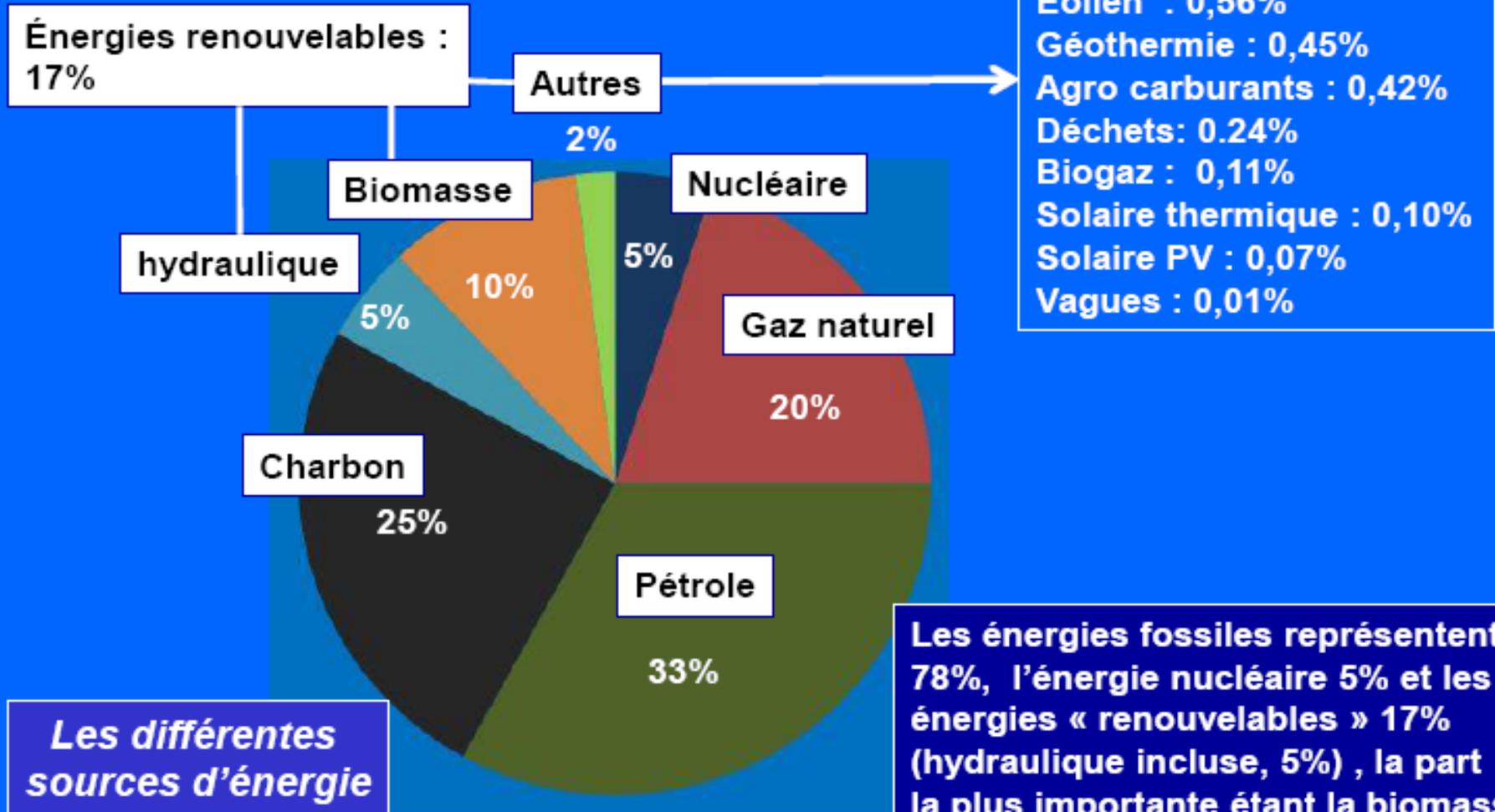
La production d'énergie électrique : *quelques généralités...*

Contrairement à une idée très répandue, l'électricité n'est pas un fluide magique (des électrons ?) qui circule dans les câbles...

On ne « produit » pas de l'électricité, on produit une « énergie » sous la forme d'une différence de potentiel... que l'on cherche à maintenir constante...

II - Production et consommation d'énergie primaire dans le monde

I-1 - Production d'énergie primaire dans le monde



Les différentes sources d'énergie primaire (2010)

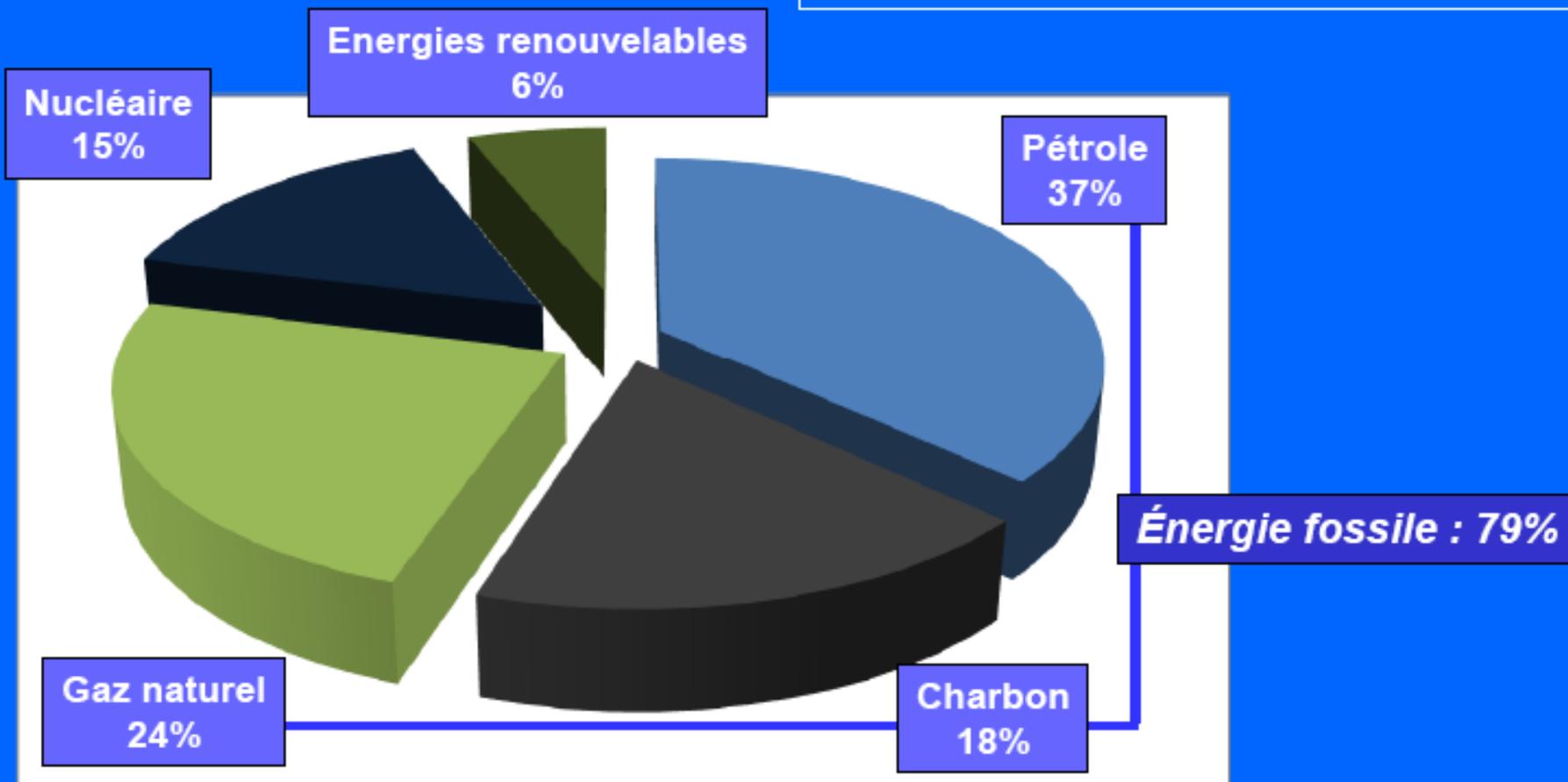
Les énergies fossiles représentent 78%, l'énergie nucléaire 5% et les énergies « renouvelables » 17% (hydraulique incluse, 5%), la part la plus importante étant la biomasse 10%. L'éolien représente 0,6% et le solaire PV moins de 1%

Production totale : 14 Gtep

accroissement : +2,2% par an

Sources d'énergie primaire (suite)

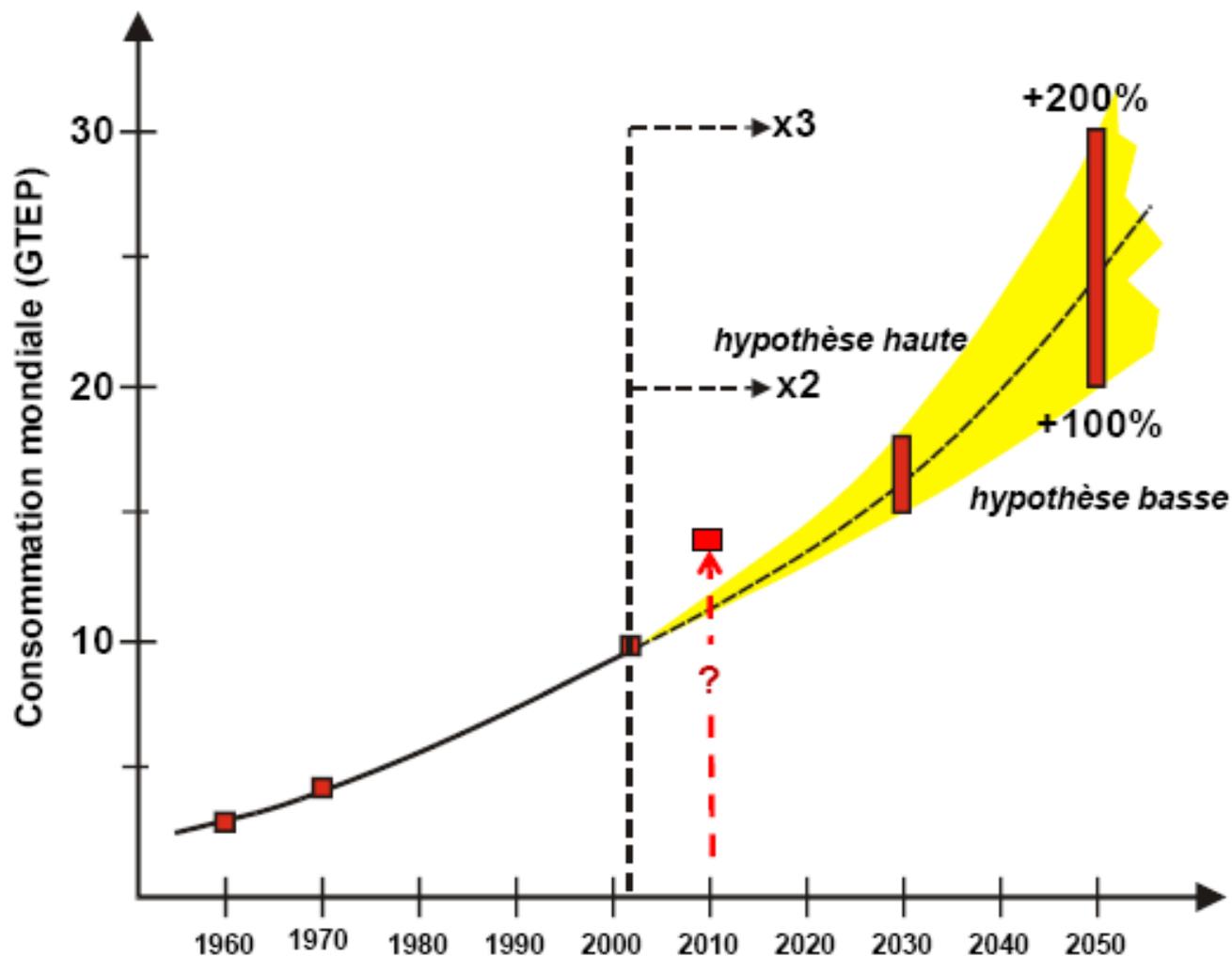
Dans l'Union Européenne des 27



Dépendance énergétique : 59%

75 % du pétrole importé
60 % du gaz naturel importé
40 % du charbon importé

Les besoins mondiaux en énergie vont croître de façon considérable dans les années à venir !



1960 : 3 Gtep

1970 : 4,4 Gtep

1973 : 4 Mds hab. 1,5 tep/hab.

2008 : 6 Mds hab. 1,8 tep/hab.

2011 : 7 Mds hab. 2 tep/hab.

2002 : 9,4 Gtep

2006 : 11 Gtep (14 en 2010)

2030 : 15 à 18 Gtep ?

2050 : 20 à 30 Gtep ?

Consommation énergétique – données 2010

en Mtep

Chine	2493
USA	2249
Inde	692
Russie	682
Japon	488
Allemagne	330
Brésil	263
France	262
Canada	258
Corée du sud	249
Grande Bretagne	204
Italie	168
Espagne	129

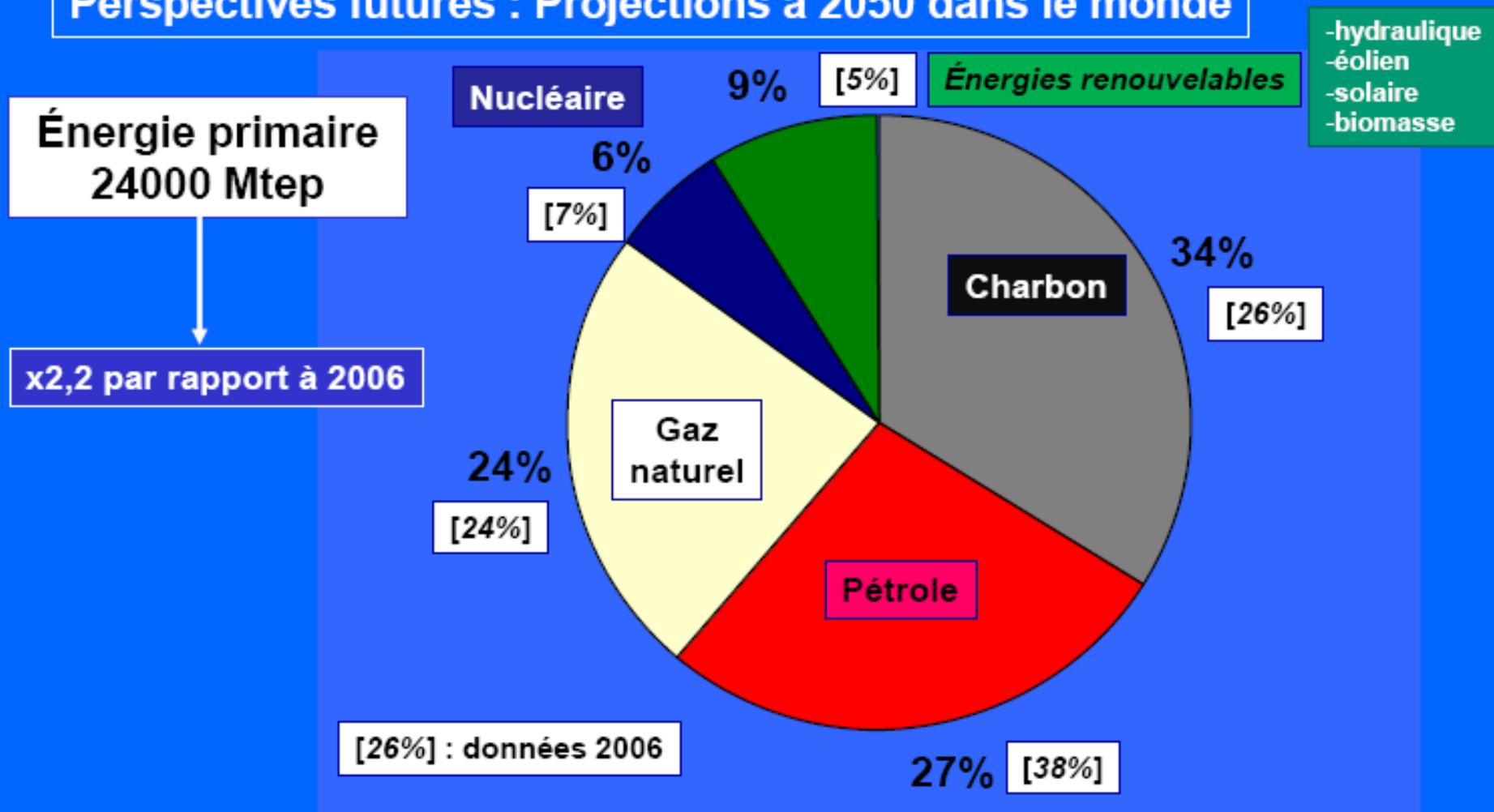
BRIC



Asie	4799	} 4419
Amérique nord	2507	
Europe	1912	
CEI	1025	
Amérique sud	795	
Afrique	670	
Moyen Orient	654	
Pacifique	151	

- La Chine a dépassé les USA
- L'Asie consomme autant que Europe+USA

Perspectives futures : Projections à 2050 dans le monde



1 - Les énergies fossiles restent prépondérantes

(augmentation de la part du charbon, baisse de celle du pétrole)

2 – Les énergies renouvelables restent marginales (<10%)

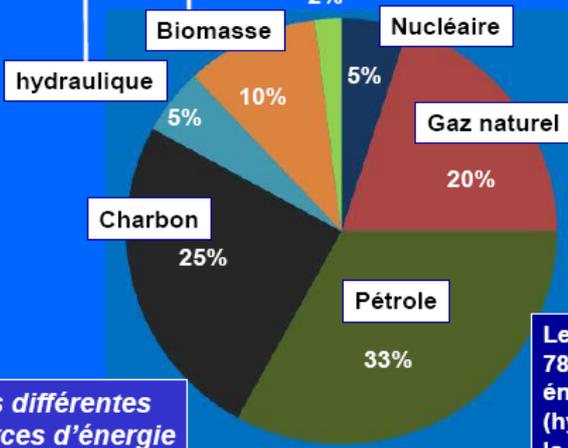
3 – Malgré une nette augmentation de la puissance installée, la proportion du nucléaire reste faible (6%)

I-1 - Production d'énergie primaire dans le monde

Énergies renouvelables : 17%

Autres 2%

- Eolien : 0,56%
- Géothermie : 0,45%
- Agro carburants : 0,42%
- Déchets: 0,24%
- Biogaz : 0,11%
- Solaire thermique : 0,10%
- Solaire PV : 0,07%
- Vagues : 0,01%



Les différentes sources d'énergie primaire (2010)

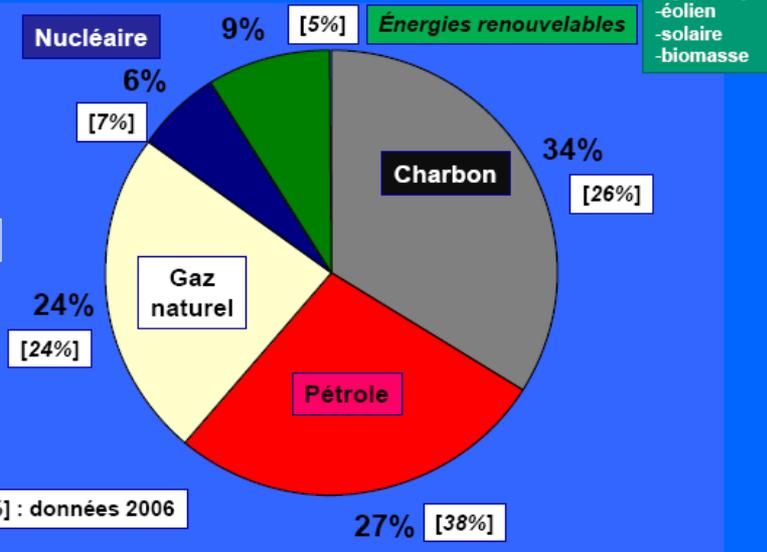
Production totale : 14 Gtep

Les énergies fossiles représentent 78%, l'énergie nucléaire 5% et les énergies « renouvelables » 17%. Les énergies « renouvelables » (hydraulique) sont la plus importantes à 10%. L'éolien et le solaire PV sont marginaux.

Perspectives futures : Projections à 2050 dans le monde

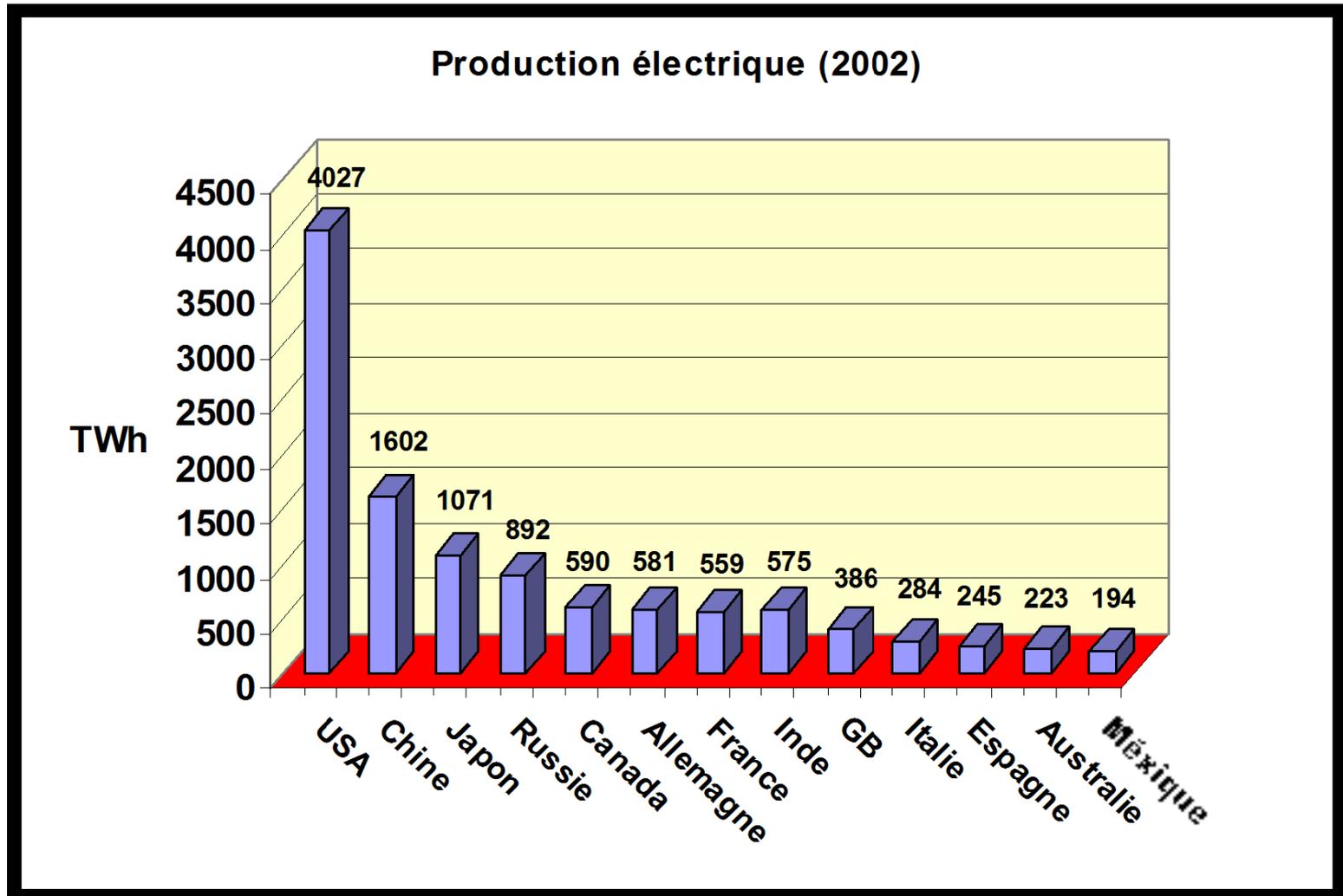
Énergie primaire 24000 Mtep

x2,2 par rapport à 2006



- 1 - Les énergies fossiles restent prépondérantes (augmentation de la part du charbon, baisse de celle du pétrole)
- 2 - Les énergies renouvelables restent marginales (<10%)
- 3 - Malgré une nette augmentation de la puissance installée, la proportion du nucléaire reste faible (6%)

La production électrique dans le monde



**Production électrique en TWh des principaux pays producteurs
de 600 TWh en 1945 à 20.000 TWh en 2012**

La production électrique

La production électrique dans le monde (2006)



Hydraulique
16% (20%)

16% (20%)

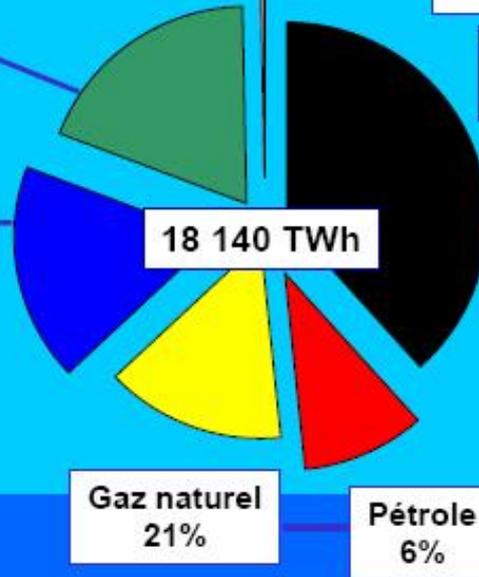
↓
% puissance
installée



Énergies renouvelables
(hors hydraulique)
2%

Biomasse 1,27%
Eolien : 0,64%
Géothermie : 0,31%
Solaire : 0,03%
E. mer : 0,003%

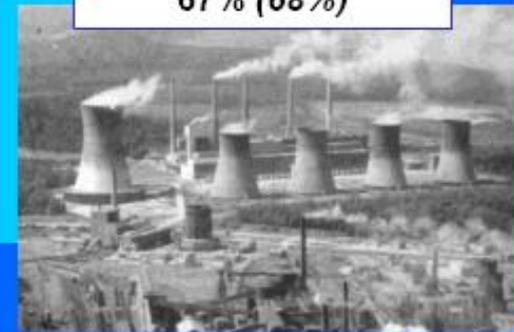
Nucléaire
15% (10%)



18 140 TWh

Charbon
40%

Thermique classique
67% (68%)



les énergies fossiles dominent largement...

La production électrique

Production électrique : Perspectives futures : Projections à 2050 dans le monde

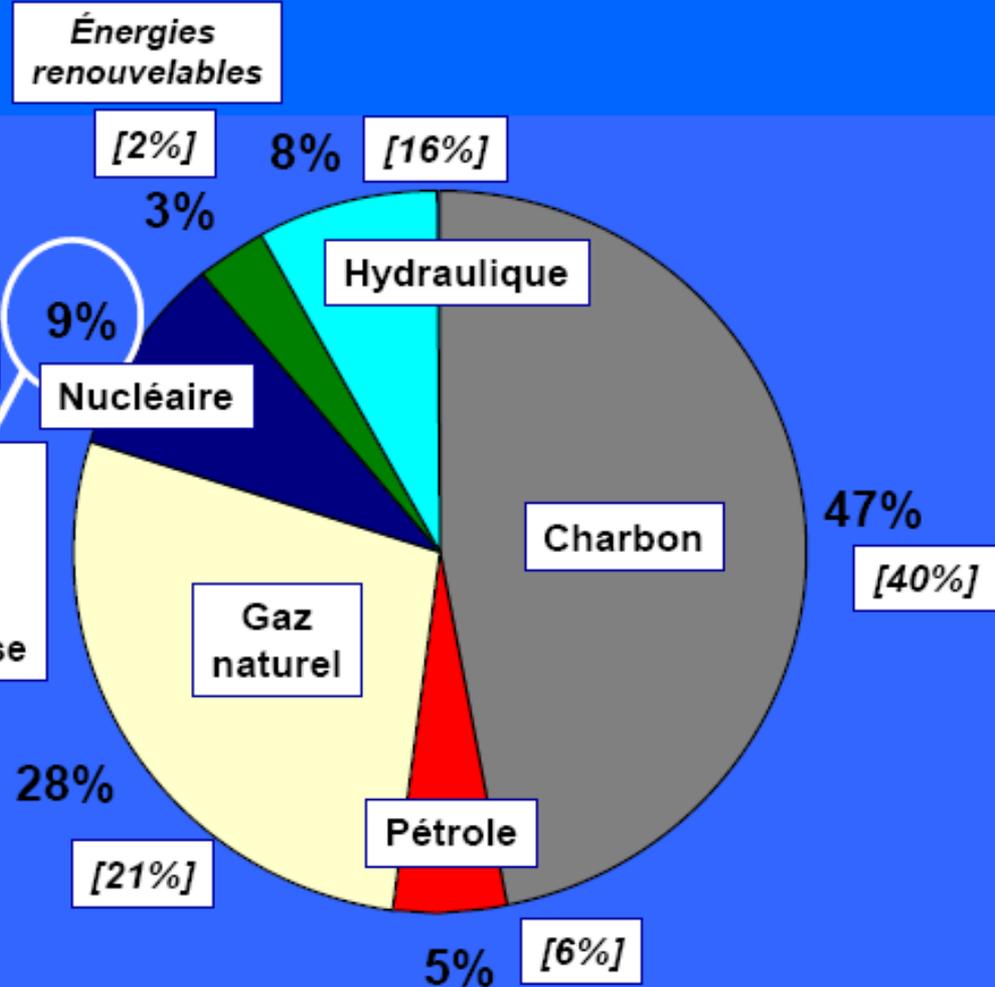
[40%] : données 2006

Production électrique
46 600 TWh

x2,6 par rapport à 2006

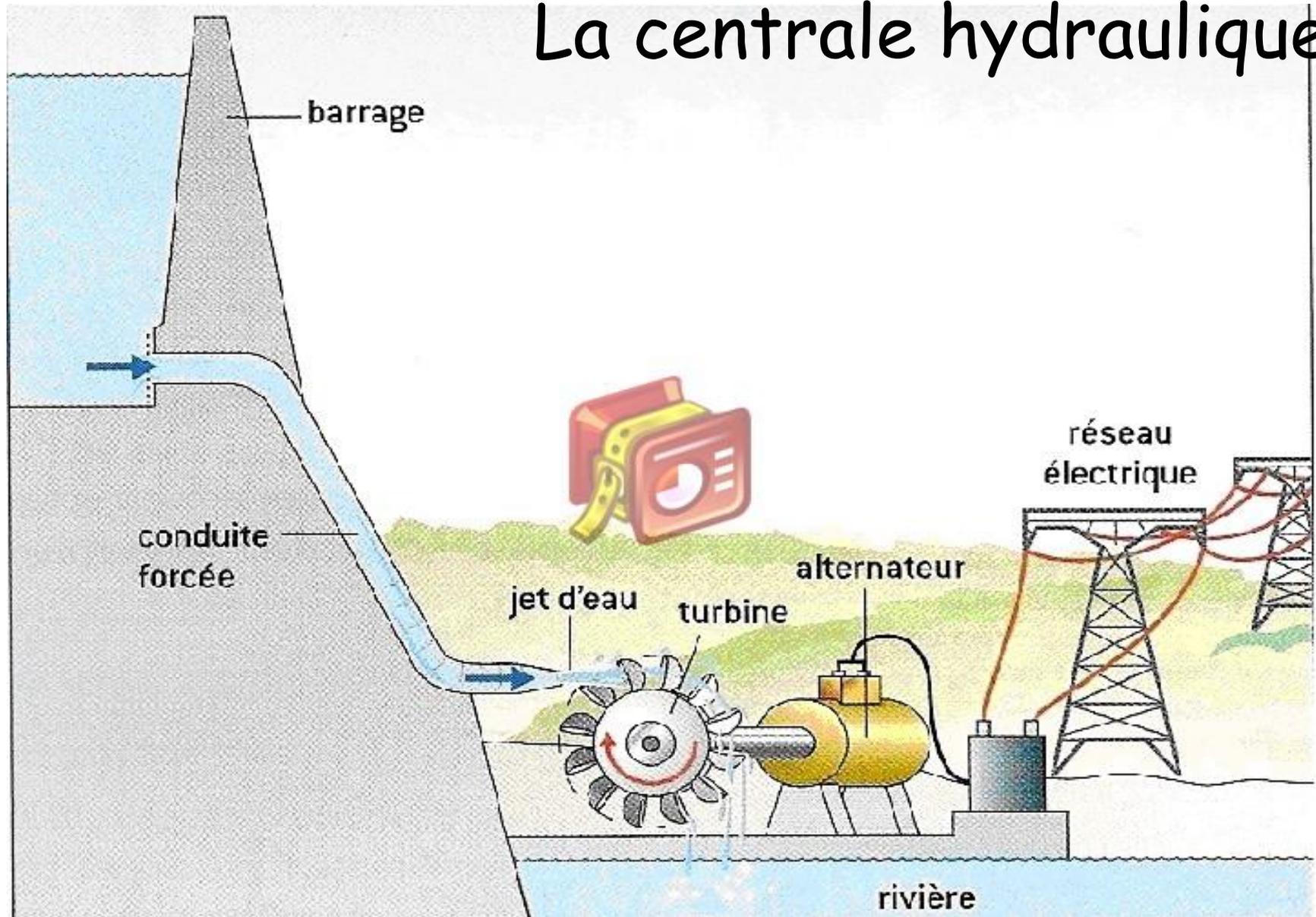
La part du :
Charbon, gaz naturel : en hausse
Pétrole : constant
Nucléaire, hydraulique : en baisse
Énergies renouvelables : légère hausse

*En 2050 la Chine envisage
d'exploiter plus de 500 réacteurs
nucléaires (jusqu'à 1500...)*



comment produit-on l'énergie électrique ?

La centrale hydraulique

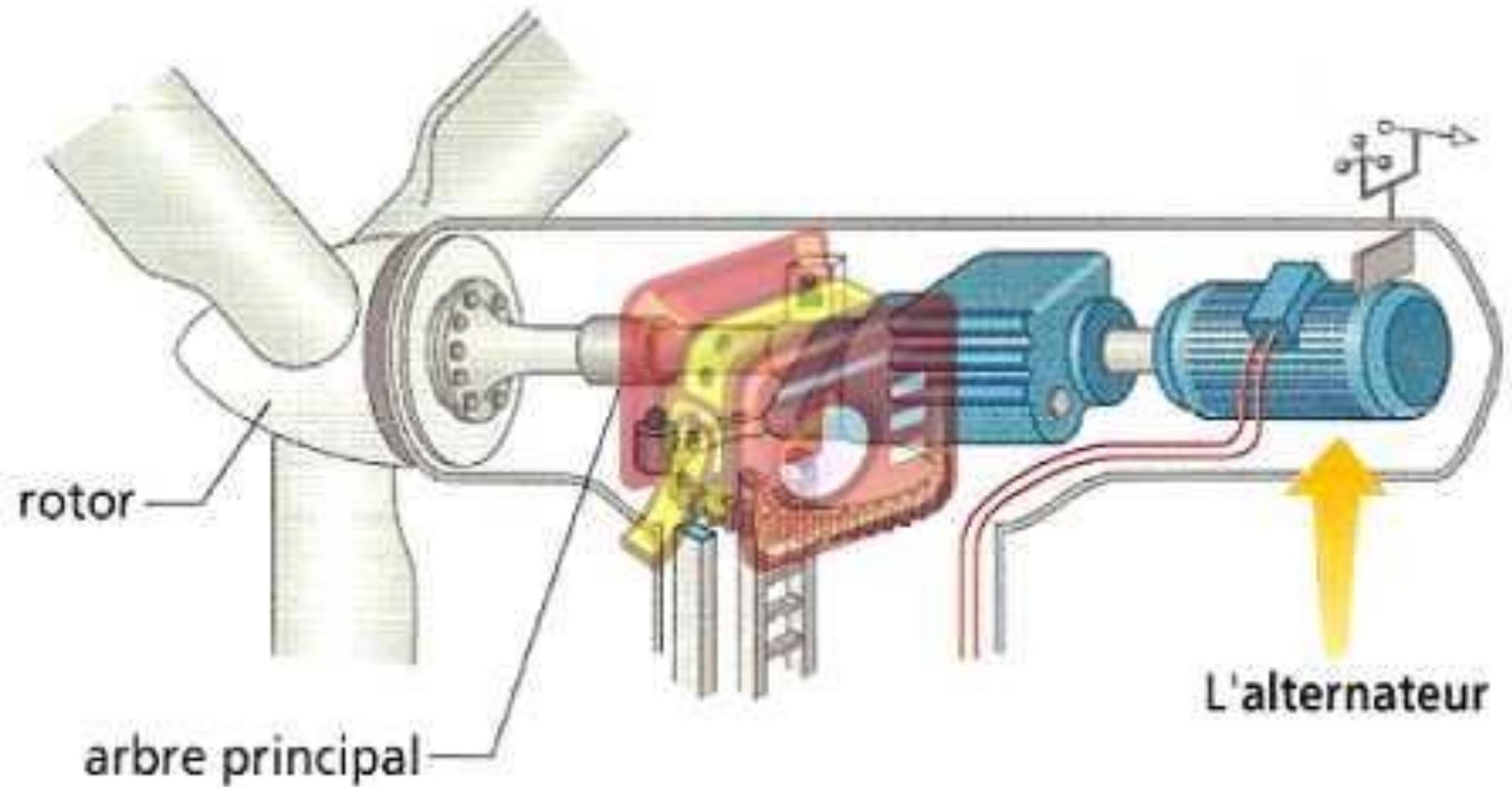


La production électrique

La production électrique

Centrale hydraulique :

La force de l'eau met en mouvement une turbine qui entraîne un alternateur qui produit de l'énergie électrique.



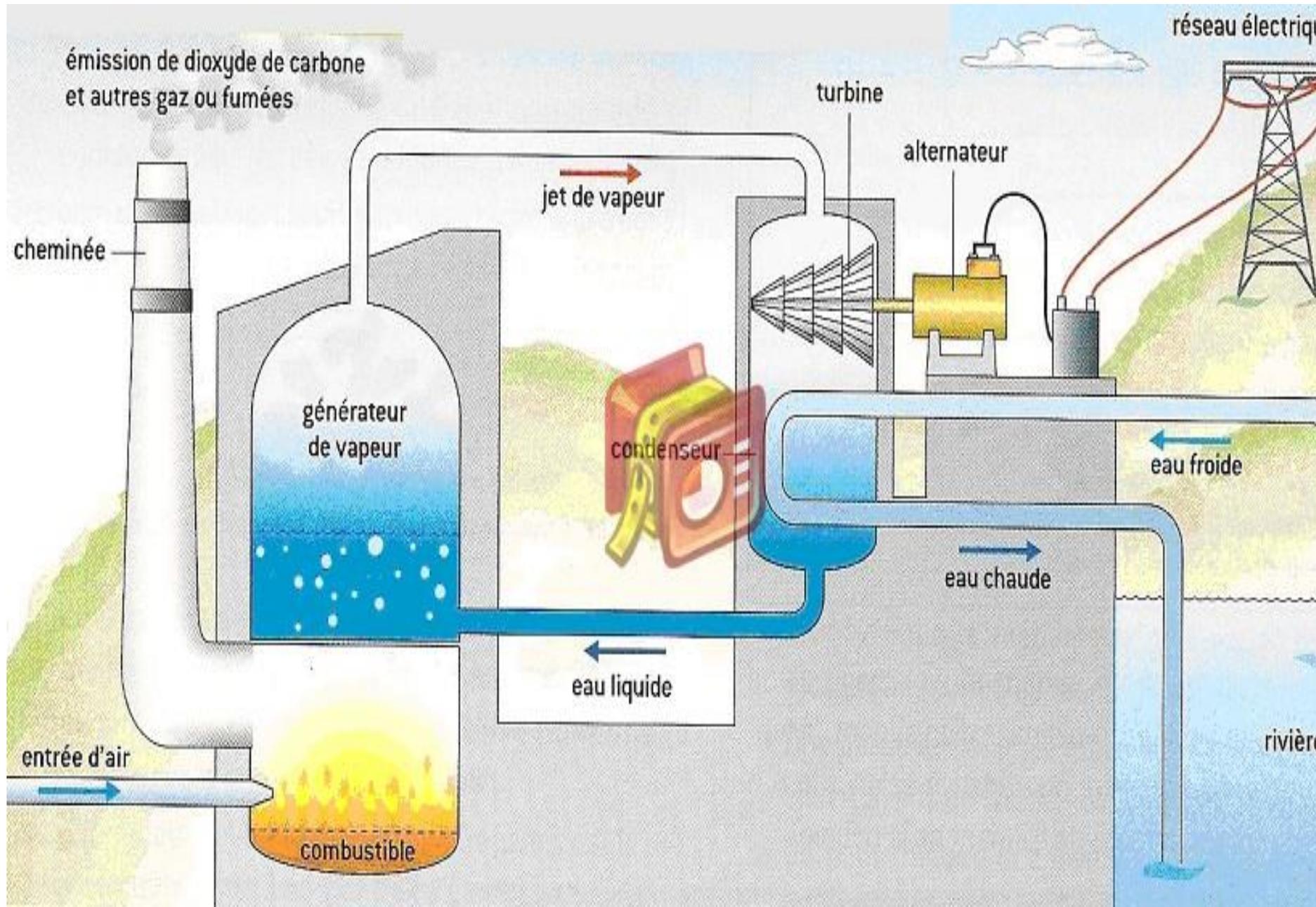
La production électrique

Centrale éolienne :

La force du vent met en mouvement des pales (hélices) qui entraîne grâce à un axe de rotation un alternateur qui produit de l'énergie électrique.

La production électrique

La centrale thermique



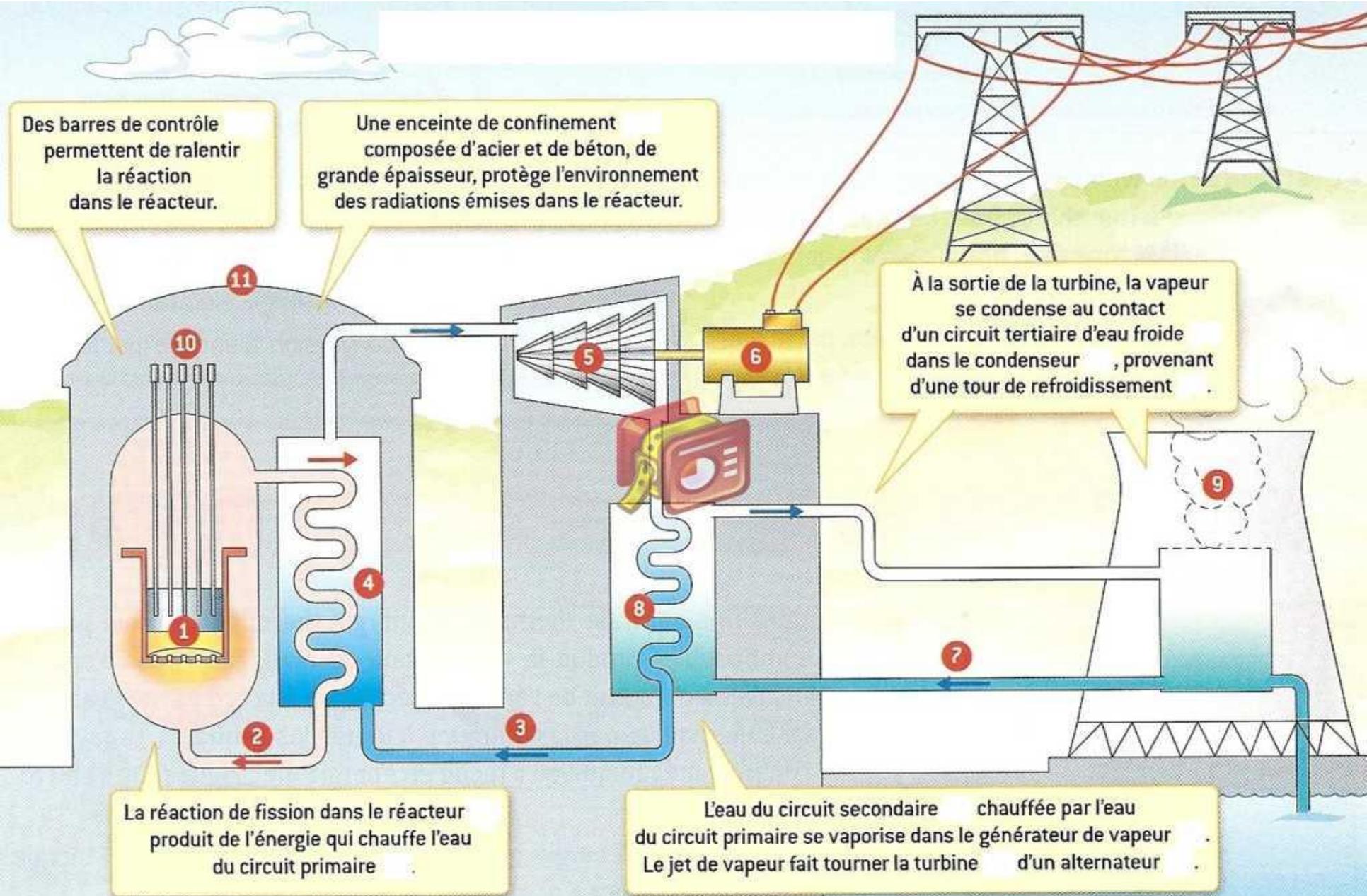
La production électrique

Centrale thermique :

Dans la centrale thermique , la chaudière permet de chauffer de l'eau qui se transforme en vapeur. La force de cette vapeur met en mouvement une turbine qui entraîne un alternateur qui produit de l'énergie électrique.

La production électrique

La centrale nucléaire



La production électrique

Centrale nucléaire :

Dans le réacteur, la fission de l'uranium permet de chauffer de l'eau qui se transforme en vapeur d'eau. La force de cette vapeur met en mouvement une turbine qui entraîne un alternateur qui produit de l'énergie électrique.

Centrale	Rendement
Thermique	45 %
Nucléaire	35 %
Hydraulique	80 %
Éolienne	20 %



Tableau • Rendement de quatre types de centrale.

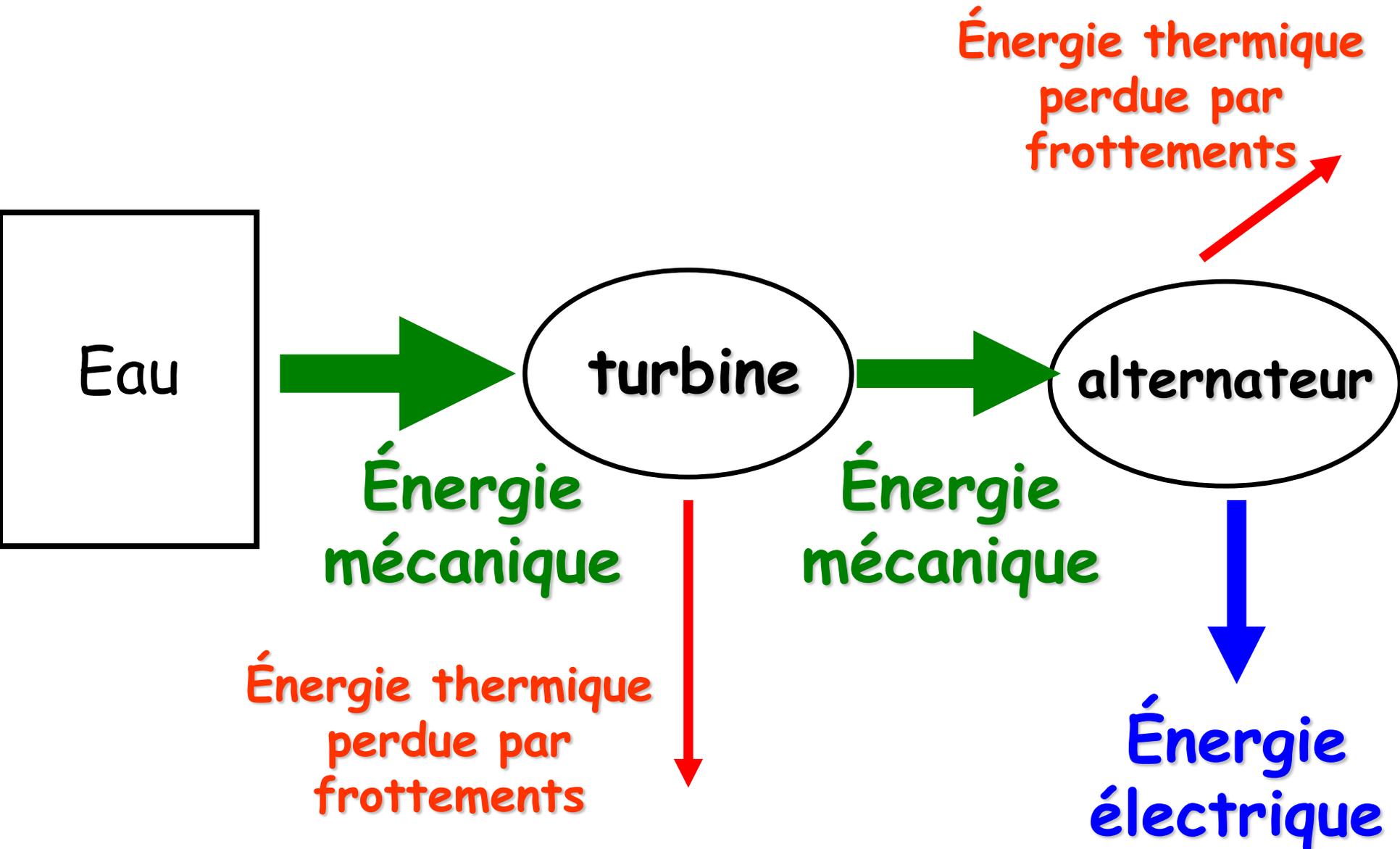
Vocabulaire

Un *rendement de 45 %* signifie que 45 % de l'énergie de départ a été convertie en énergie électrique.

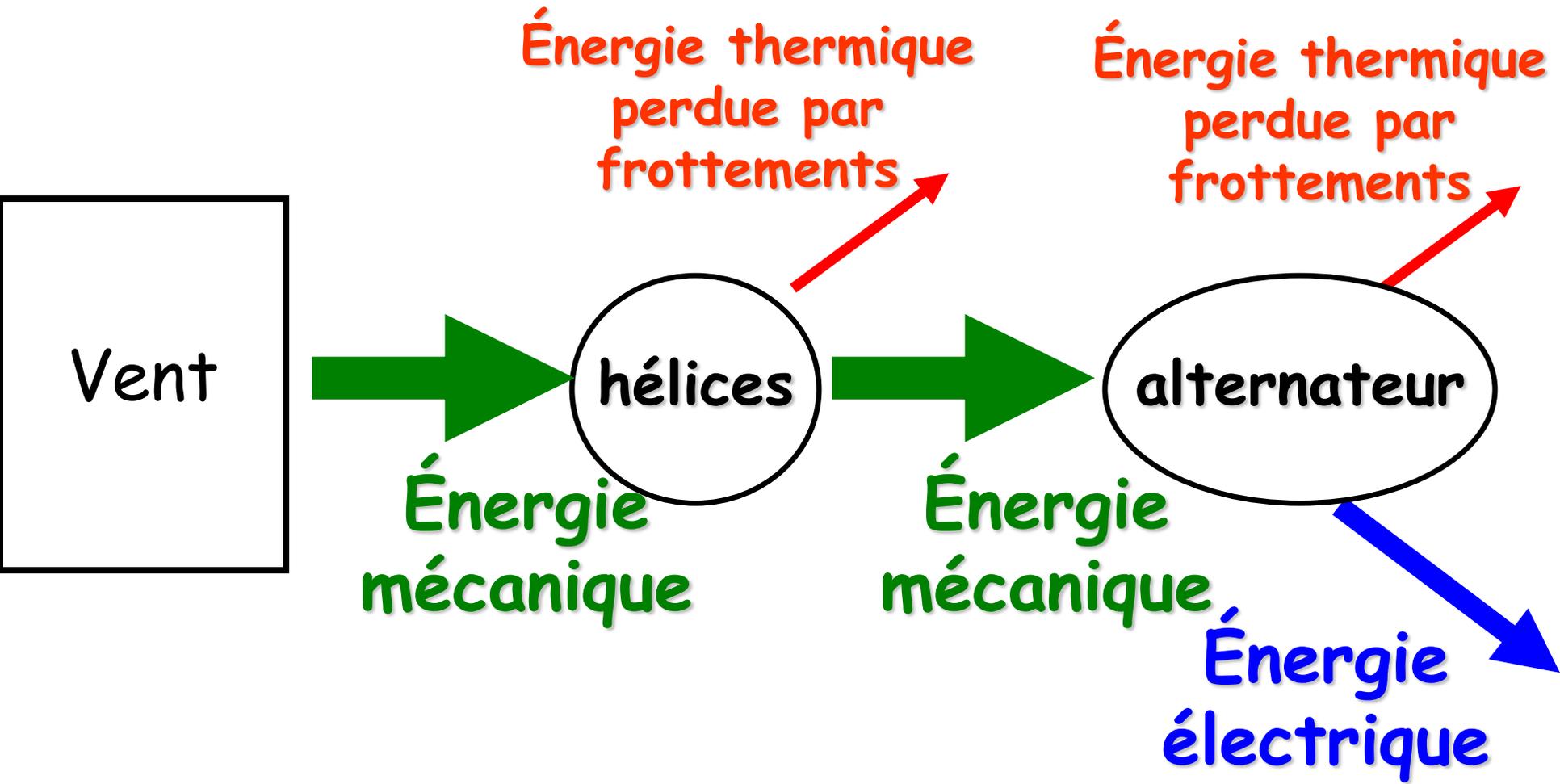
La production électrique

- 4) C'est la centrale hydraulique qui a le meilleur rendement énergétique : 80% de l'énergie de l'eau est convertie en énergie électrique.
- 5) C'est l'alternateur qui est l'élément commun à toutes les centrales.
- 6a) L'alternateur convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique.

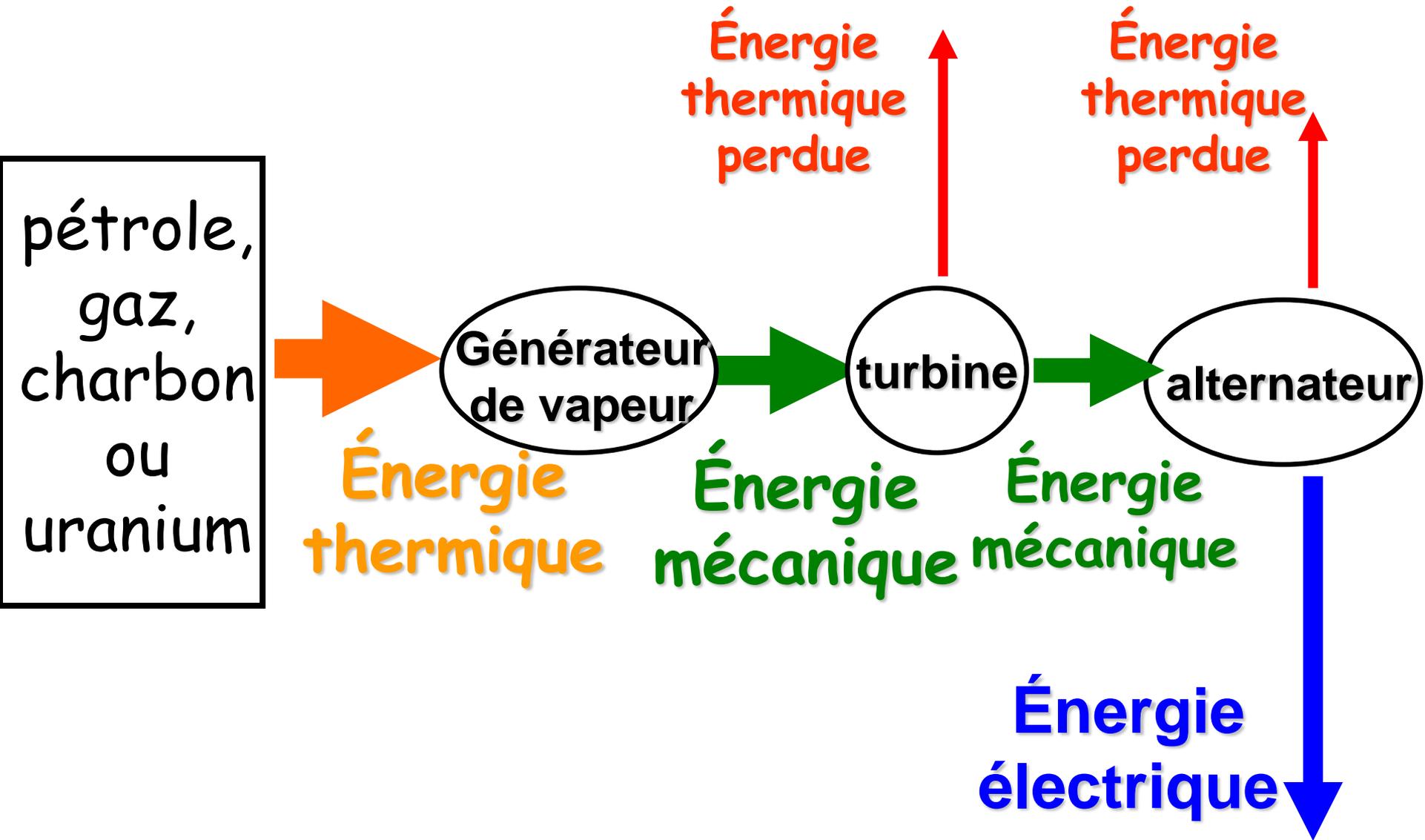
Chaîne énergétique de la centrale hydraulique



Chaîne énergétique de la centrale éolienne



Chaîne énergétique de la centrale thermique ou nucléaire

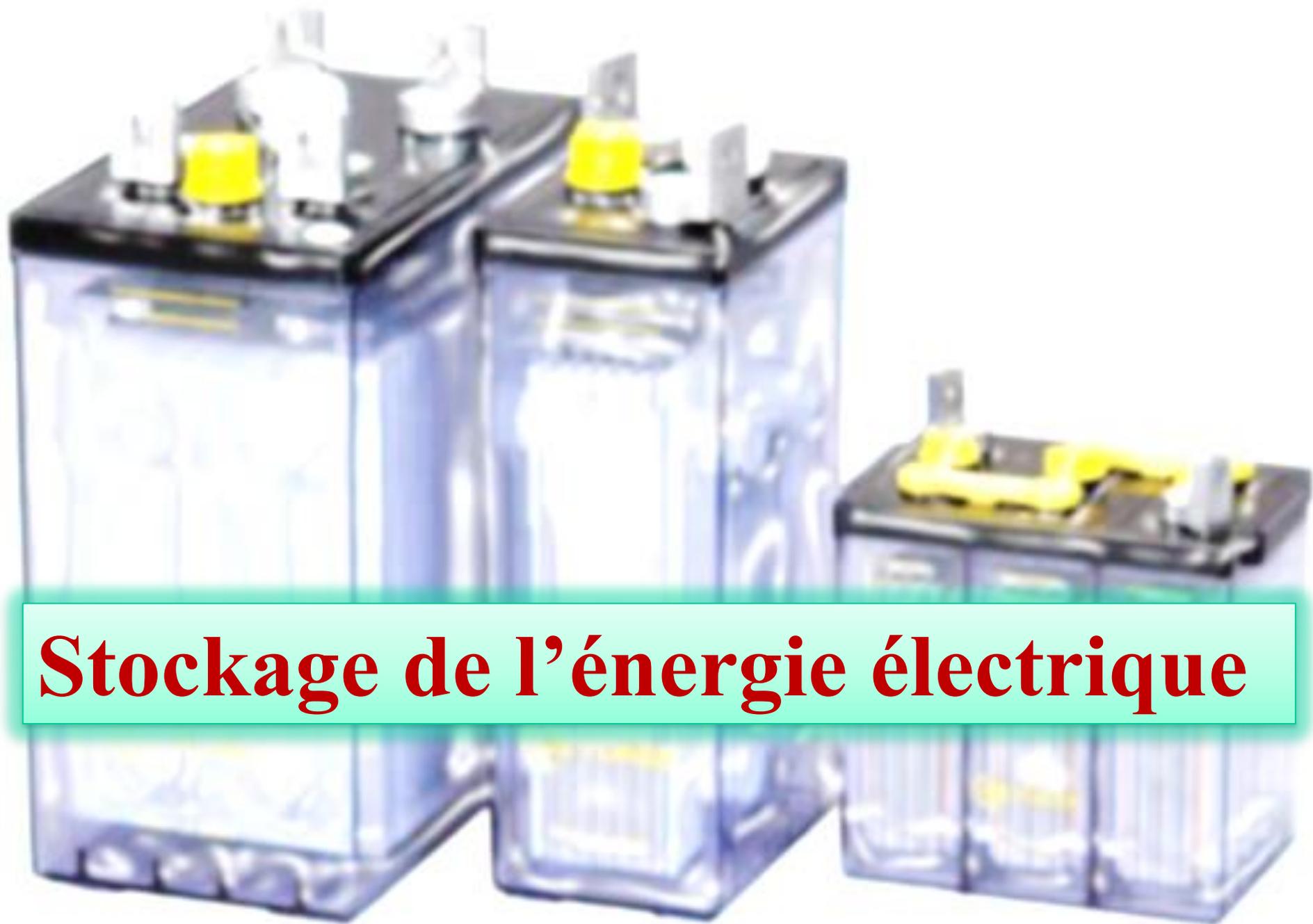


7) Il existe aussi des centrales solaires à panneaux photovoltaïques et à miroirs.



7) Il existe aussi des centrales solaires à panneaux photovoltaïques et à miroirs.





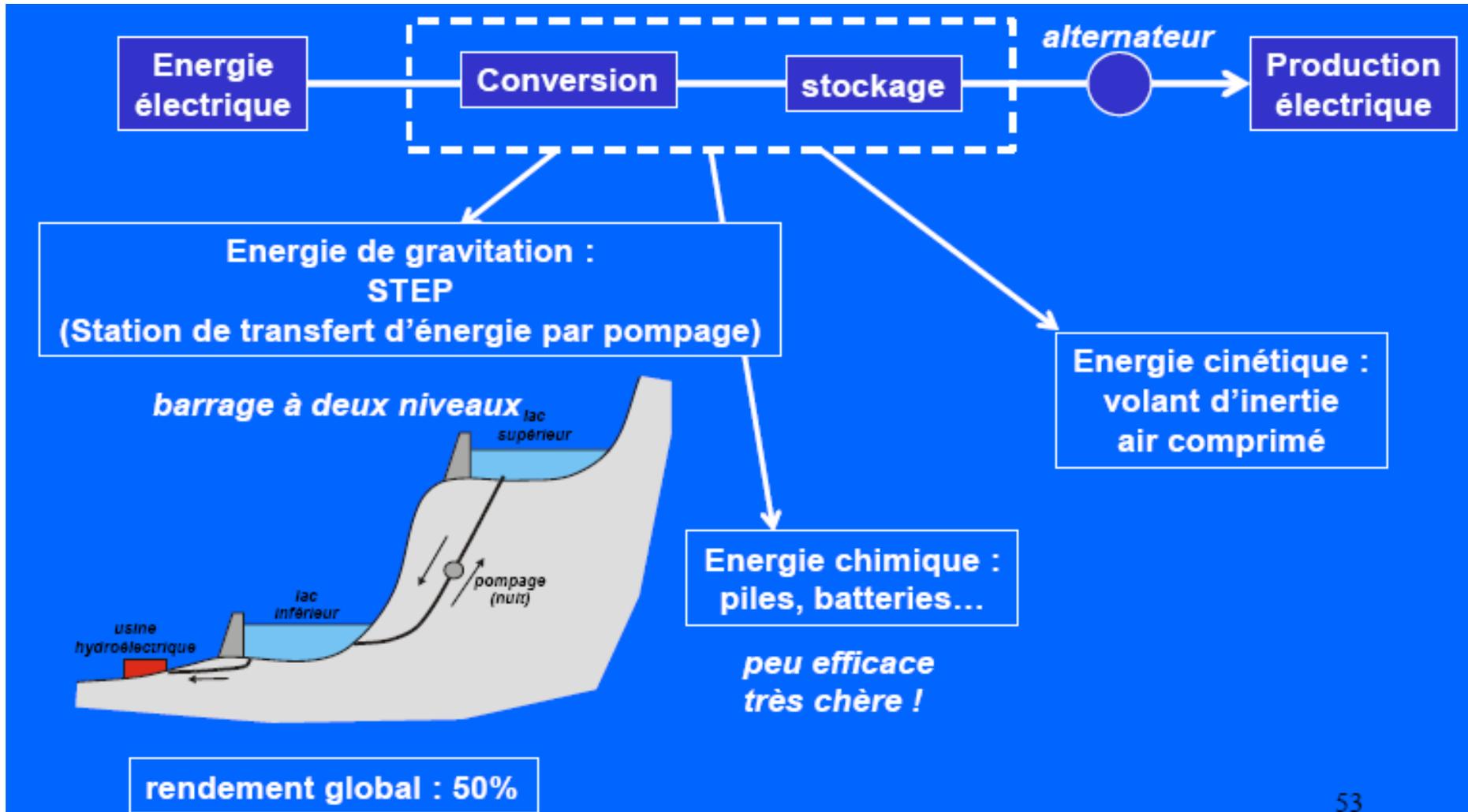
Stockage de l'énergie électrique

Règles de base :

- 1 - L'énergie électrique ne peut être stockée... (ou très difficilement)**
- 2 – La production doit être adaptée en permanence à la demande**

Stockage de l'énergie électrique

L'énergie électrique ne peut être stocker directement, elle doit être convertie en une autre forme d'énergie ! (*rendement global ?*)



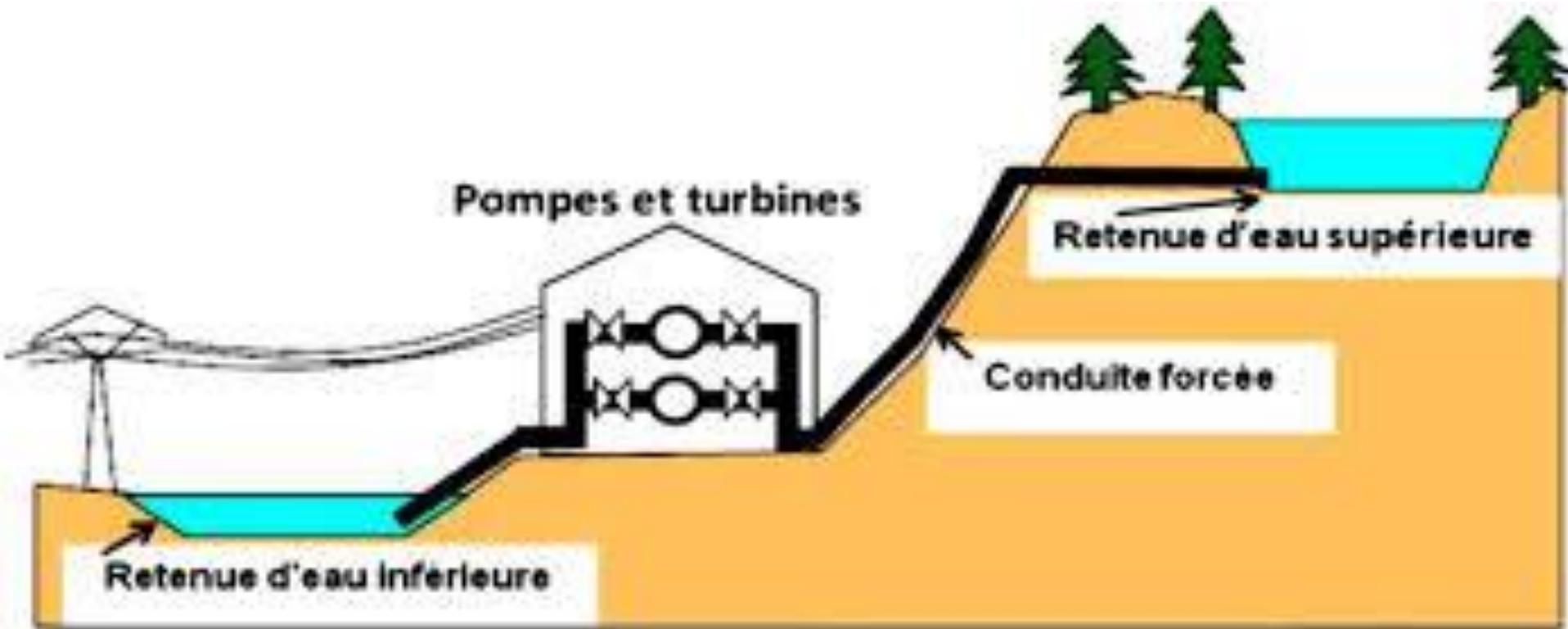
Stockage de l'énergie électrique

Différents moyens de stockage

- Stations de transfert par pompage (STEP) :
- Air comprimé :
- Batteries NaS
- Batteries plomb
- Batteries Li :
- Batteries NiCd :
- Volants d'inertie
- Batteries Redox

Stockage de l'énergie électrique

Station de transfert par pompage

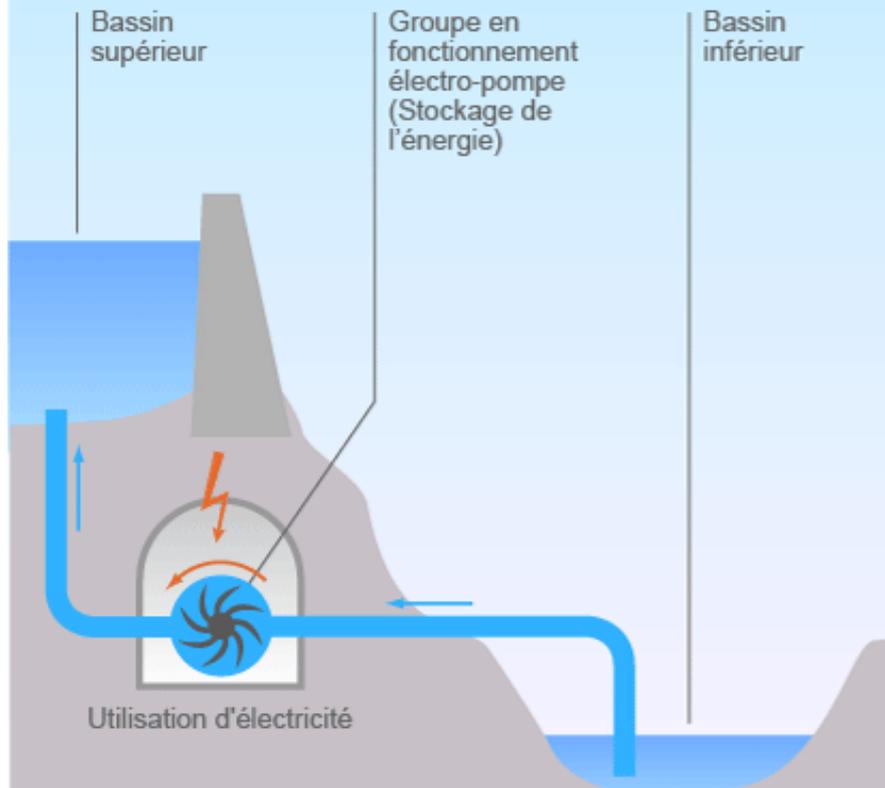


Stockage de l'énergie électrique

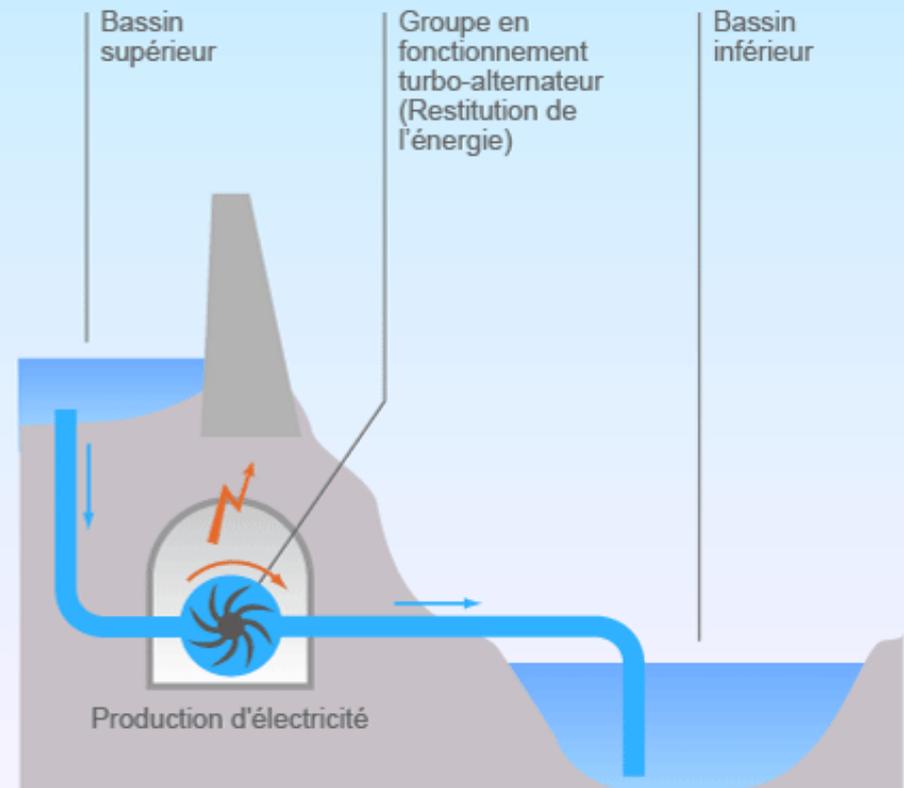
Station de transfert par pompage

Principe de fonctionnement d'une centrale STEP (Station de Transfert d'Énergie par Pompage)

Phase de stockage d'énergie

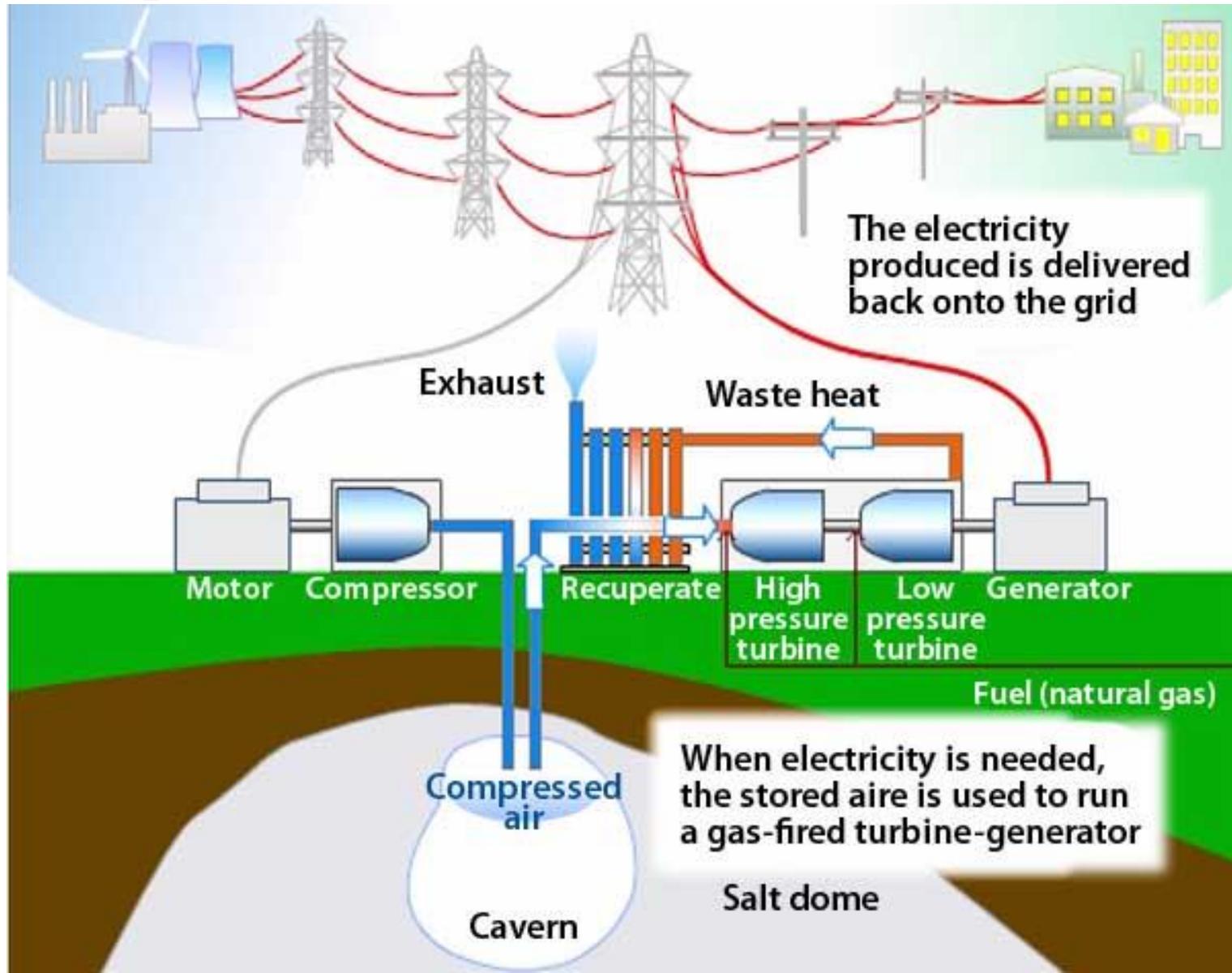


Phase de restitution d'énergie



Stockage de l'énergie électrique

Air Comprimé



Stockage de l'énergie électrique

batteries sodium-soufre

Les batteries sodium-soufre (Na-S) sont des batteries à base de sodium (Na) et de soufre (S) présentant en général une bonne densité énergétique (100-110Wh/kg) et des rendements de 89 % à 92 %.

Stockage de l'énergie électrique

batteries sodium-soufre

Elles peuvent être utilisées pour de grandes capacités (plusieurs MW), ce qui permet de les utiliser pour des systèmes de stockage en soutien aux réseaux électriques.



Stockage de l'énergie électrique

batterie au plomb

Une batterie au plomb est un ensemble 'accumulateurs au plomb-acide sulfurique raccordés en série, afin d'obtenir la tension désirée, et réunis dans un même boîtier.



Stockage de l'énergie électrique

batterie au plomb

Ce système de « stockage » d'électricité est largement utilisé dans l'industrie, dans l'équipement des véhicules ferroviaires et automobiles mais aussi à chaque fois que l'on a besoin d'une énergie électrique immédiatement disponible (avion, satellite, etc.).



Stockage de l'énergie électrique

batterie lithium-ion

Une batterie lithium-ion, ou accumulateur lithium-ion est un type d'accumulateur lithium.

Ses principaux avantages sont une énergie massique élevée ainsi que une auto-décharge relativement faible par rapport à d'autres accumulateurs.

Cependant le coût reste important et associe le lithium aux systèmes de petite taille.

Stockage de l'énergie électrique

batterie lithium-ion



Stockage de l'énergie électrique

accumulateur nickel-cadmium

Un accumulateur nickel-cadmium ou Ni-Cd est un accumulateur électrique rechargeable utilisant de l'oxyhydroxyde de nickel et du cadmium comme électrodes.



Stockage de l'énergie électrique

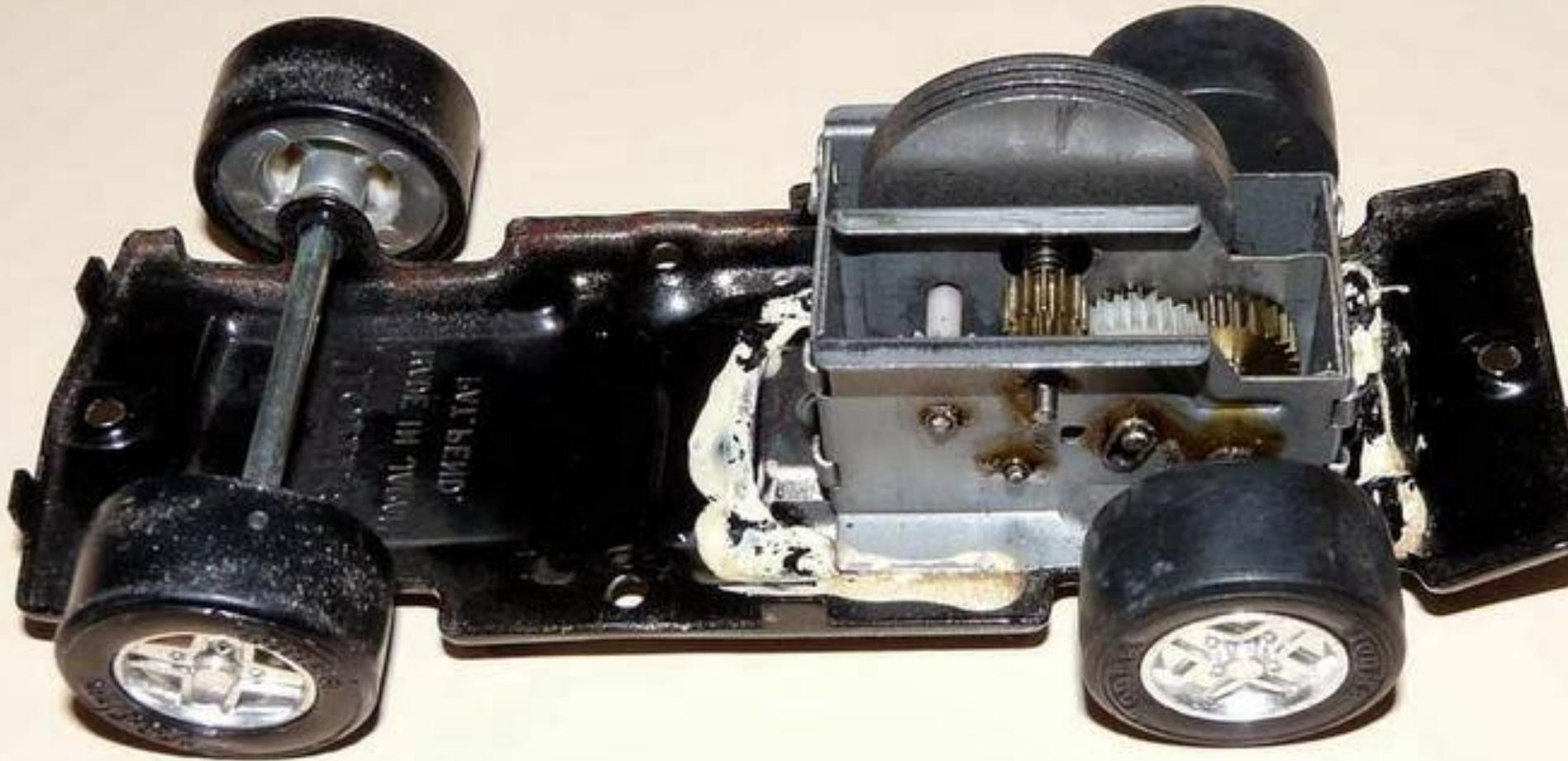
Stockage d'énergie par volant d'inertie

Longtemps utilisé pour la régulation des machines à vapeur, le principe du volant d'inertie permet aujourd'hui de stocker temporairement l'énergie sous forme de rotation mécanique.

Le stockage d'énergie par volant d'inertie ou système inertiel de stockage d'énergie (SISE) est utilisé dans de nombreux domaines : régulation de fréquence, lissage de la production éolienne et solaire, stockage et restitution de l'énergie de freinage des véhicules

Stockage de l'énergie électrique

Stockage d'énergie par volant d'inertie



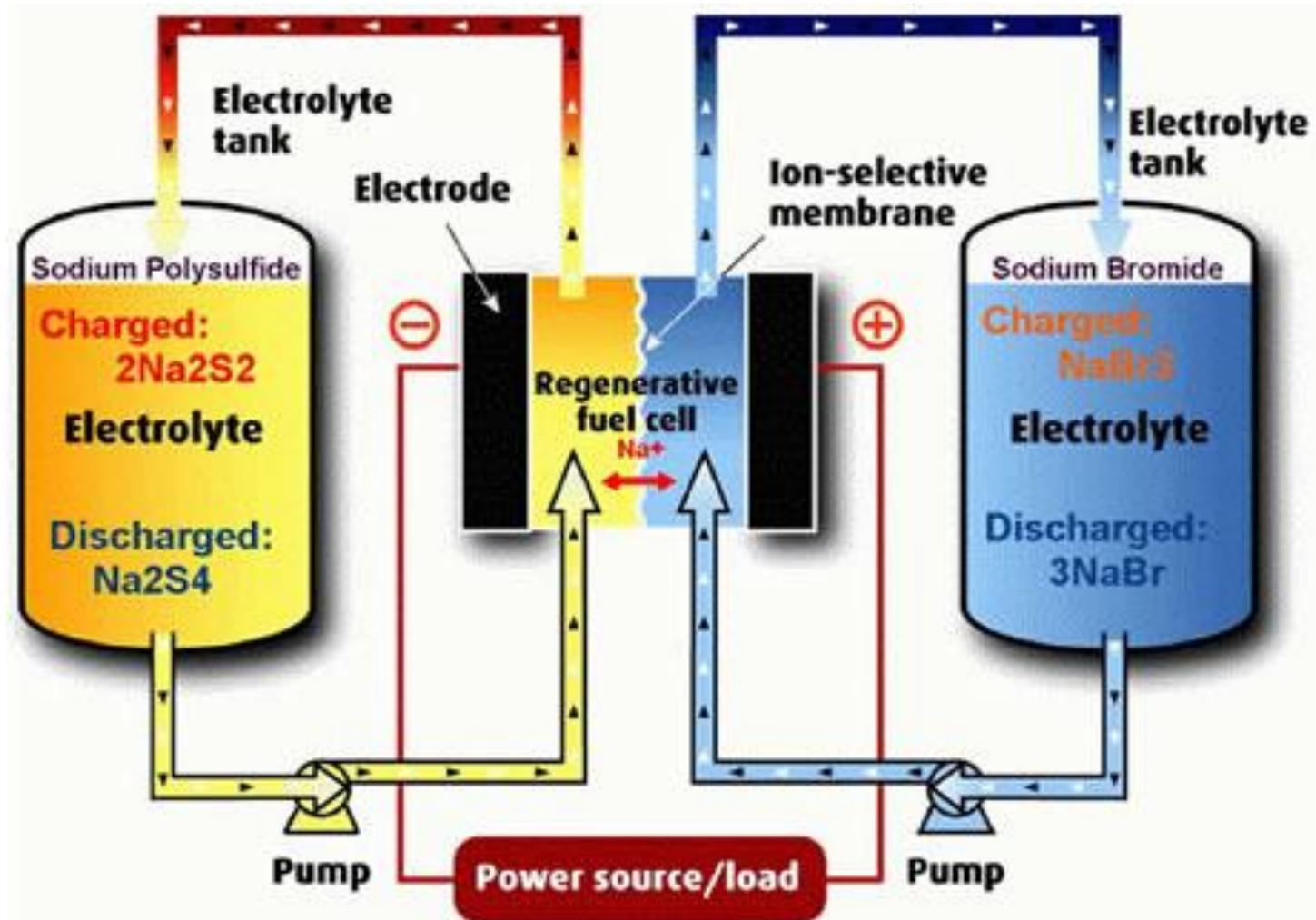
Stockage de l'énergie électrique

batterie redox vanadium

Une batterie redox vanadium (ou batterie à oxydoréduction au vanadium), est un type de batterie rechargeable à flux qui utilise le vanadium dans différents états d'oxydation pour stocker l'énergie potentielle chimique. Un brevet allemand de batterie à flux au chlorure de titane avait déjà été enregistré et accepté en 1954, mais la plupart des développements ont été réalisés par les chercheurs de la NASA dans les années 70. L'utilisation du vanadium avait déjà été suggérée, mais la première démonstration réelle et le développement commercial de toutes les batteries vanadium à flux travaillant avec une solution d'acide sulfurique ont été réalisés par Maria Skyllas-Kazacos et collaborateurs à l'université de Nouvelle-Galles du Sud en Australie. La forme actuelle (électrolytes à l'acide sulfurique) a été brevetée par l'université de Nouvelle-Galles du Sud en 1989¹.

Stockage de l'énergie électrique

batterie redox vanadium



Stockage de l'énergie électrique

Le stockage d'électricité en 2010

En 2010 la puissance électrique installée dans le monde était d'environ 4.400.000 MW. Les stockages opérationnels pour la production centralisée d'électricité étaient approximativement les suivants

- Stations de transfert par pompage (STEP) : 140.000 MW
- Air comprimé : 430 MW (Allemagne et US)
- Batteries NaS : 400 MW (Japon)
- Batteries plomb : 45 MW
- Batteries Li : 45 MW
- Batteries NiCd : 40 MW
- Volants d'inertie : 40 MW (US)
- Batteries Redox : 3 MW

Puissance totale des moyens de production : 4.400 GW

Puissance des moyens de stockage : 141 GW (3%)

→ Une centrale électrique réalise une **chaîne énergétique** : une **énergie primaire** subit une ou plusieurs conversions, pour finalement devenir de **l'énergie électrique**.

→ Il y a deux types d'énergies primaires :

- les énergies dites **renouvelables** : elles proviennent de **sources inépuisables à l'échelle humaine**.

Exemples :

- énergie mécanique du vent ou **des marées**
- énergie thermique de la Terre (la **géothermie**)
- énergie lumineuse du Soleil (centrale à panneaux photovoltaïques)

- les énergies **non renouvelables** : elles proviennent de **sources épuisables** dont les réserves sont limitées.

Exemples :

- Les énergie fossiles : uranium, pétrole, gaz, charbon).