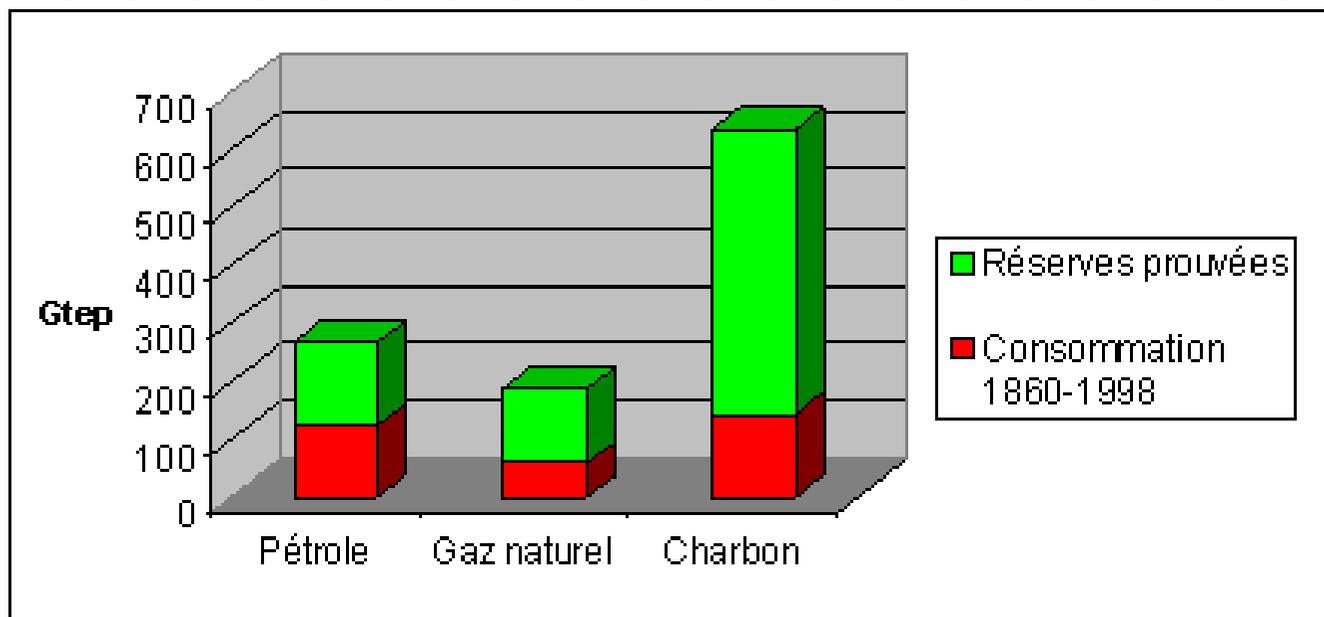


# Les Énergies

## Le charbon

# Énergies fossiles

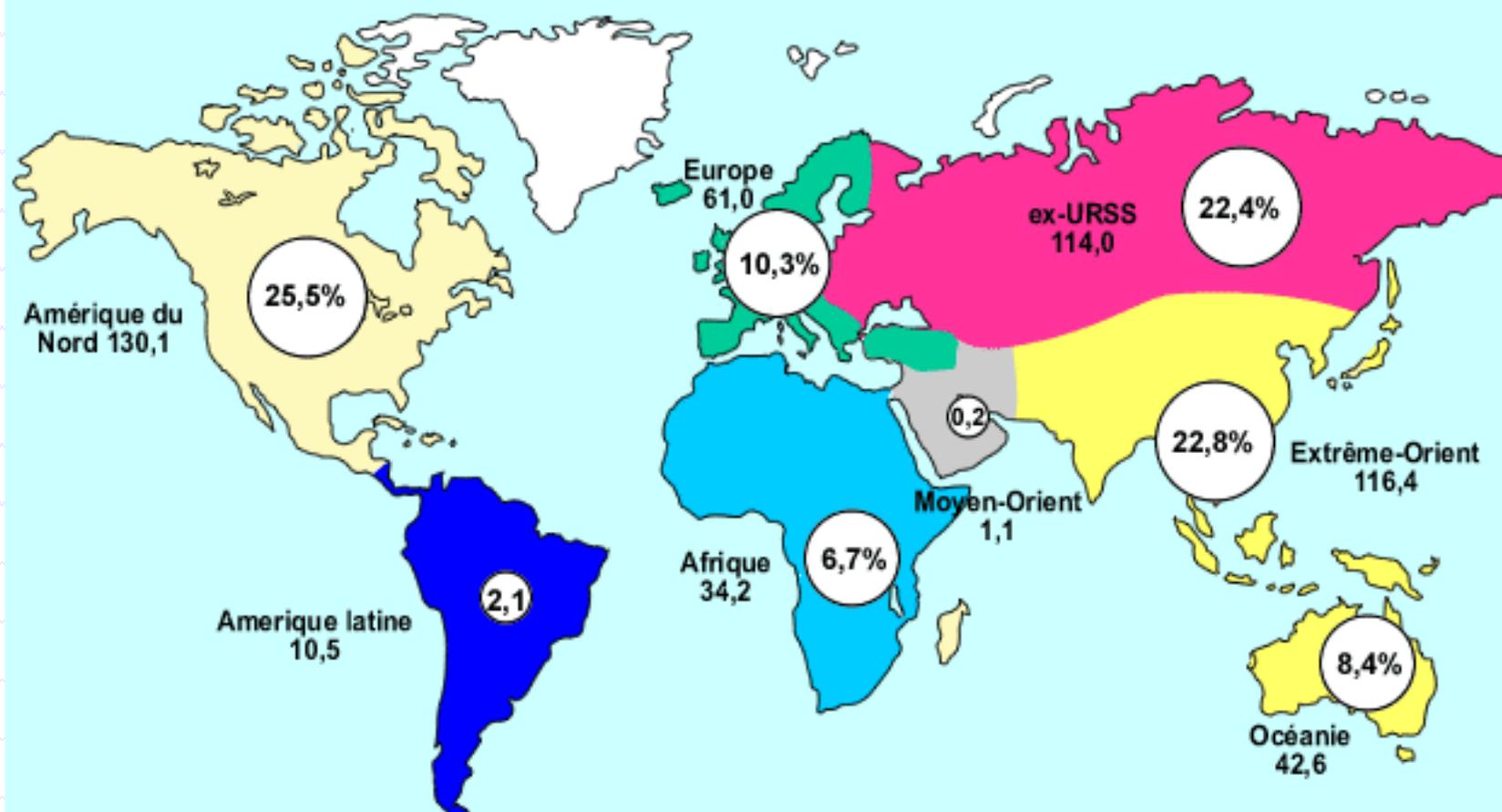


# Réserves

- ◆ Réserves = 900 milliards de tonnes
- ◆ Au rythme actuel d'exploitation = 150 ans de réserves
  
- ◆ A l'inverse du pétrole, le charbon est présent dans le sous sol de nombreux pays.
  - n 60% des réserves se trouvent en Amérique du Nord et en Asie
  - n 32% des réserves se situent en Europe, principalement en Russie, Ukraine, Pologne et Allemagne.

# Réserves mondiales prouvées de charbon (1<sup>er</sup> janvier 2000)

Unité : Milliard de tep



**Total monde 509,8**

# Carburer au charbon



- ◆ 1840 : Procédé = CTL = « coal to liquid » = procédé permettant de synthétiser du gasoil et du kérosène
- ◆ utilisé durant la second guerre mondiale
- ◆ Afrique du sud, apartheid, blocus économique en 1950

# Carburer au charbon?



2020

- ◆ capacité = 100 millions de Tep
- ◆ 4% de la demande mondiale

2050

- ◆ capacité de 660 millions de tonnes à condition d'investir dans les procédés de liquéfaction

# Procédé de liquéfaction



## Indirect

1. Le charbon est chauffé à  $1000^{\circ}$
2. Il est Gazéifié en présence de vapeur d'eau et d'oxygène : apport d' $H_2O + O_2$  è « Syngaz » = gaz de synthèse =  $H_2 + CO$
3. Complété en hydrogène pour obtenir un rapport de 2 ( $2xH_2$  pour  $1xCO$ )
4. Catalyse en présence de fer ou cobalt pour synthétiser les hydrocarbures : 30% de kérosène, 40% de gazole, 2,5% de fioul
5. = 2 à 2,5 barils par tonne de pétrole

# Procédé de liquéfaction

## ◆ direct

1. Le charbon est broyé et mélangé pour moitié à un solvant sous haute pression (200 bars).
2. Catalyse + incorporation progressive d'hydrogène  
→ liquide destiné au raffinage : 65 % de gazole
3. Élimination des substances : soufre, azote, oxygène, composés aromatiques (dérivés de benzènes)
4. = 3 à 5 barils par tonne de charbon

# Limites économique, écologique,

- ◆ utilisation importante d'hydrogène
  - ◆ utilisation pour moitié de solvant
  - ◆ procédé qui rejette 2,5 fois plus de CO<sub>2</sub> qu'un procédé de transformation du pétrole brut
  - ◆ Investissement : pour une unité de 50 000 barils / jour (raffinerie de FEYSIN) = 3 à 6 milliards de dollars
- 
- è Séquestrer le CO<sub>2</sub> à la base
  - è Utiliser de l'hydrogène issu de catalyse de l'eau, de la biomasse

# Sources x procédés

## procédé indirect

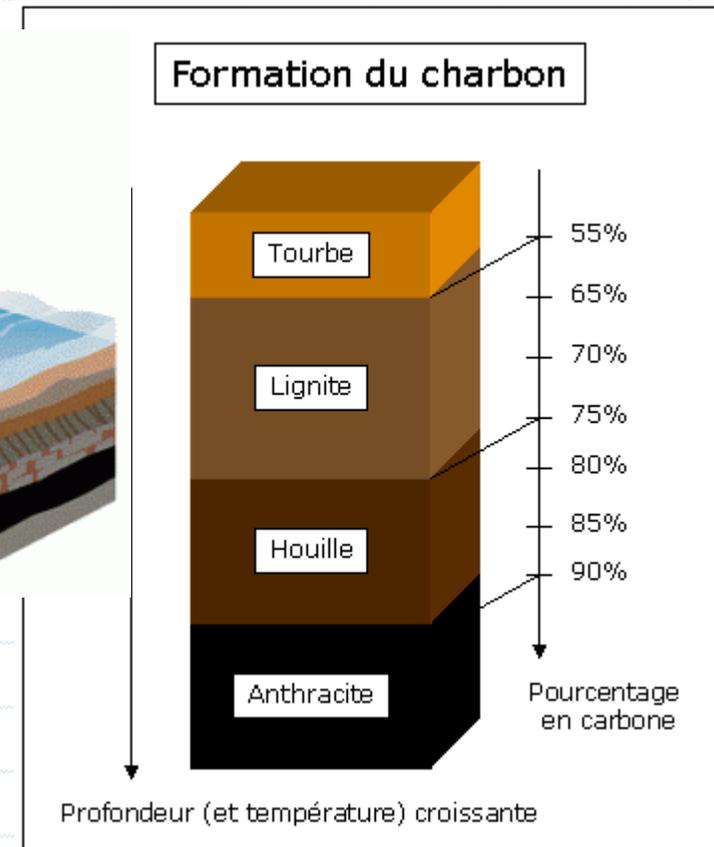
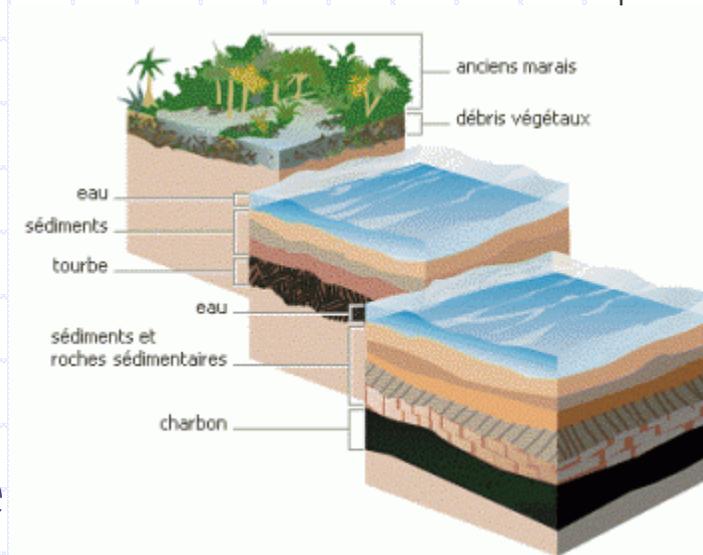
- ◆ tous types de charbon

## procédé directs

- ◆ charbon bitumeux ou sub-bitumeux

# Types de charbon

- ◆ Tourbe
- ◆ Houille
- ◆ Lignite
- ◆ Anthracite
- ◆ Sub-bitumeux
- ◆ Bitumeux





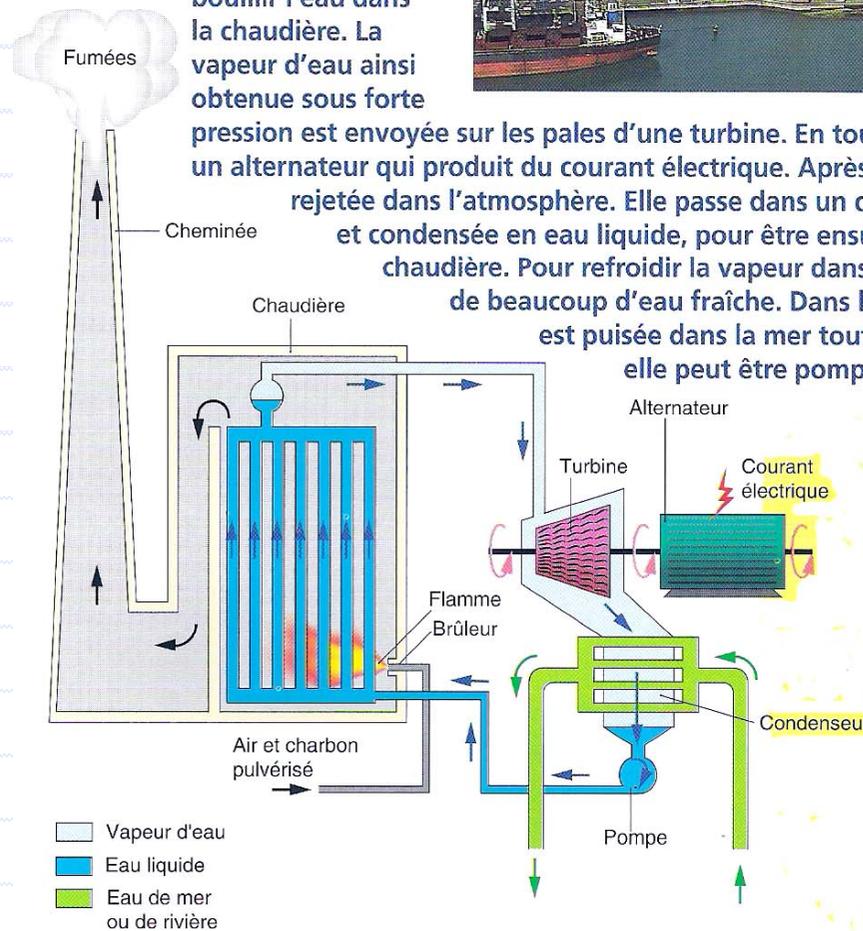
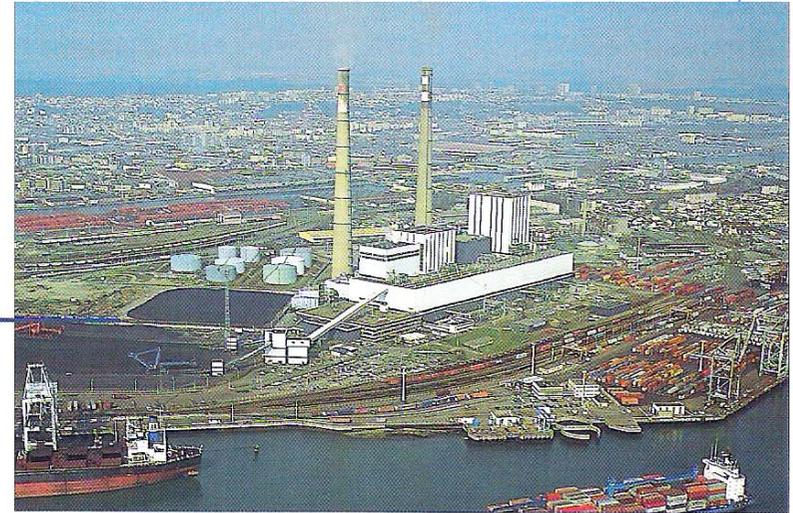
# Les Énergies

Le charbon propre, mythe ou  
réalité ?

# Comment ça marche ?

## La centrale thermique du Havre

La combustion du charbon produit de la chaleur et fait bouillir l'eau dans la chaudière. La vapeur d'eau ainsi obtenue sous forte pression est envoyée sur les pales d'une turbine. En tournant, la turbine entraîne un alternateur qui produit du courant électrique. Après la turbine, la vapeur n'est pas rejetée dans l'atmosphère. Elle passe dans un condenseur où elle est refroidie et condensée en eau liquide, pour être ensuite renvoyée vers la chaudière. Pour refroidir la vapeur dans le condenseur, il faut disposer de beaucoup d'eau fraîche. Dans la centrale du Havre, cette eau est puisée dans la mer toute proche. Dans d'autres cas, elle peut être pompée dans une rivière.



# Comment ça marche ?

- ◆ Le combustible est brûlé avec de l'air, ce qui produit du gaz de combustion chaud, appelé aussi gaz de fumée.
- ◆ Le gaz de combustion réchauffe l'eau du générateur de vapeur, produisant ainsi de la vapeur très chaude à haute pression.
- ◆ En aval du générateur de vapeur, le gaz de combustion est amené à l'installation de traitement et est rejeté dans l'atmosphère par une cheminée en même temps que la vapeur de la tour de refroidissement.
- ◆ L'énergie de la vapeur est convertie en mouvement de rotation dans les turbines pour produire de l'électricité dans les générateurs.
- ◆ En aval de la turbine, la vapeur de faible énergie est condensée par échange de chaleur et est ensuite remise en circulation dans le cycle par les pompes à eau de condensation et d'alimentation.
  
- ◆ Durant la conversion de l'énergie chimique du charbon en énergie électrique, les pertes d'énergie les plus importantes ont lieu dans le cycle de vapeur lors de la condensation par déperdition de chaleur.

# Centrale pilote à charbon propre

- ◆ Dans le Brandebourg (Allemagne)
- ◆ Fonctionnant au lignite,
- ◆ Délivrera une puissance électrique de 30MW.
- ◆ 70 millions d'euros d'investissement
- ◆ cherche à démontrer la faisabilité technique du piégeage et de la séquestration du CO<sub>2</sub> (technologie CCS) lors du processus de combustion du lignite.
- ◆ L'option technologique retenue est l'oxycombustion qui permet de produire des fumées très riches en dioxyde de carbone, en vue de faciliter le traitement CCS de ce gaz à effet de serre.



# Centrale pilote à charbon propre

- ◆ 2015 : projet d'une centrale de "démonstration" de 300 MW.
- ◆ Horizon 2020 : construction envisagée d'une première centrale rentable commercialement, de plus de 1600 MW si les incertitudes technologiques sont levés.
- ◆ Sur le plan législatif, il n'existe pas de projet de loi pour la capture, le transport et le stockage géologique de dioxyde de carbone
- ◆ la Commission européenne a déjà présenté un projet de loi en janvier 2008.



# Avenir ?

- ◆ Sans la capture du CO<sub>2</sub>, l'avenir des centrales thermiques à charbon est compromis
- ◆ Les projets de construction de centrales à charbon classiques se heurtent de plus en plus à l'opposition de riverains ou au veto des élus politiques locaux, régionaux ou nationaux.

# Agenda technologique

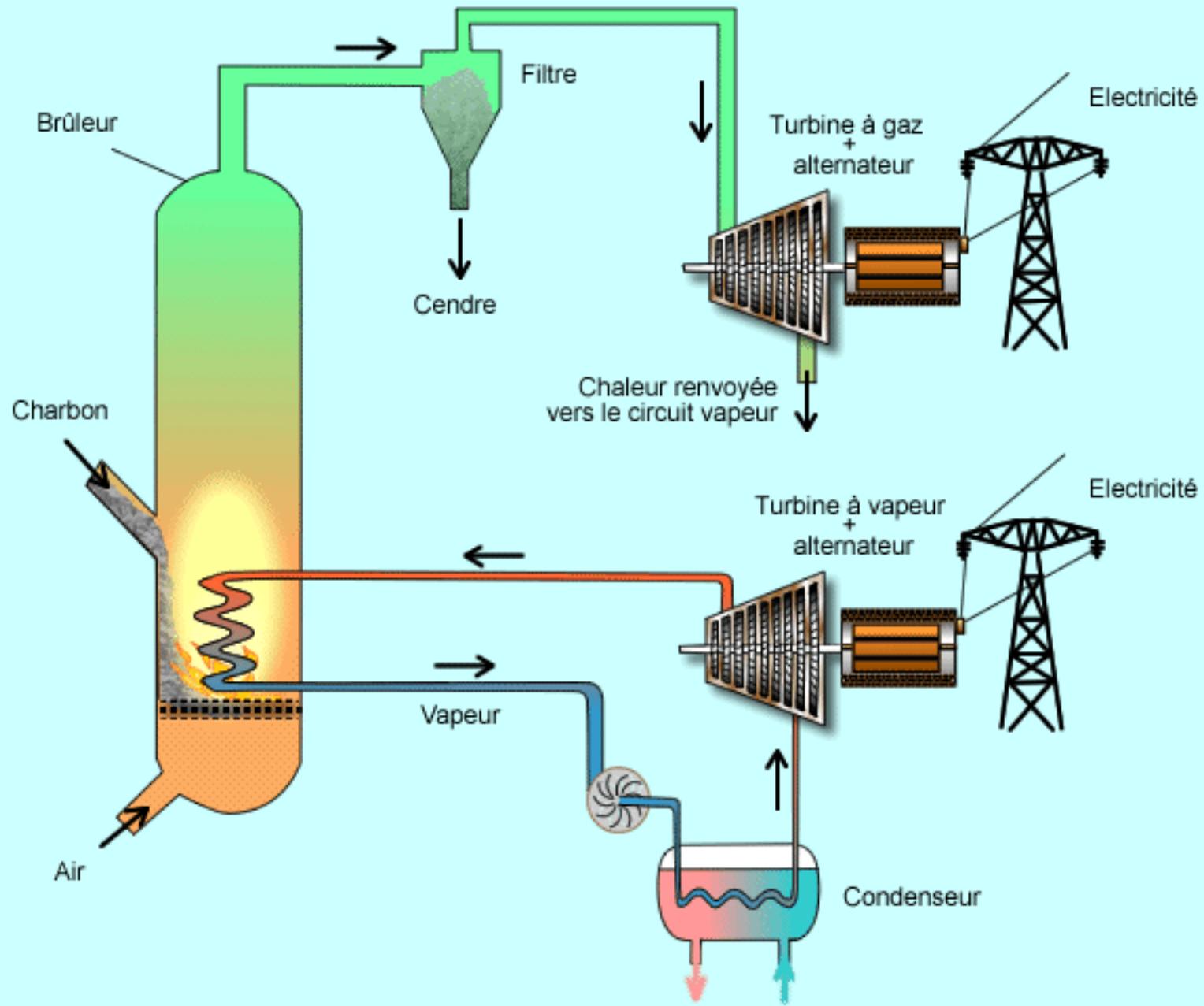
Réduction induite des émissions de CO<sub>2</sub> grâce à l'augmentation du rendement des centrales électriques à cycle de vapeur

- ◆ Combustion par lit fluidisé (CLF)

Les technologies encore peu déployées

- ◆ Cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC).
- ◆ Combustion de charbon pulvérisé sous pression (PPCC)
- ◆ Combustion à lit fluidisé sous pression (CLFP)
- ◆ Cycle combiné à combustion externe (EFCC)

# Centrale thermique au charbon gazéifié à cycle combiné



# Avancées

- ◆ Augmentation des rendements
- ◆ Réduction des pertes de gaz d'échappement du générateur de vapeur
- ◆ Innovation dans l'aubage des turbines vapeur, mécanique des fluides, matériaux
- ◆ Cycles combinés associant charbon et gaz naturel ou gaz de synthèse
- ◆ Captage du  $\text{CO}_2$  avant la combustion :  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  → Pile à combustible

