

Le Charbon

Énergie du passé ou d'avenir ?

[Passer à la
première page](#)



Une Énergie fortement associée à la Révolution Industrielle...

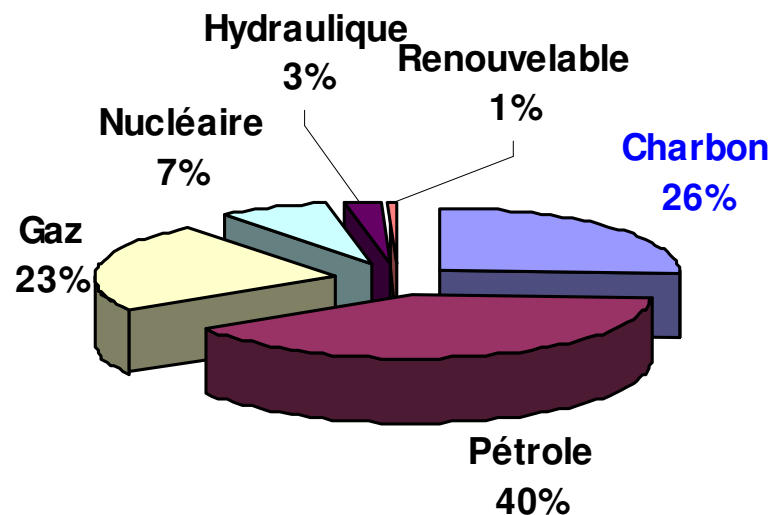


[Passer à la première page](#)

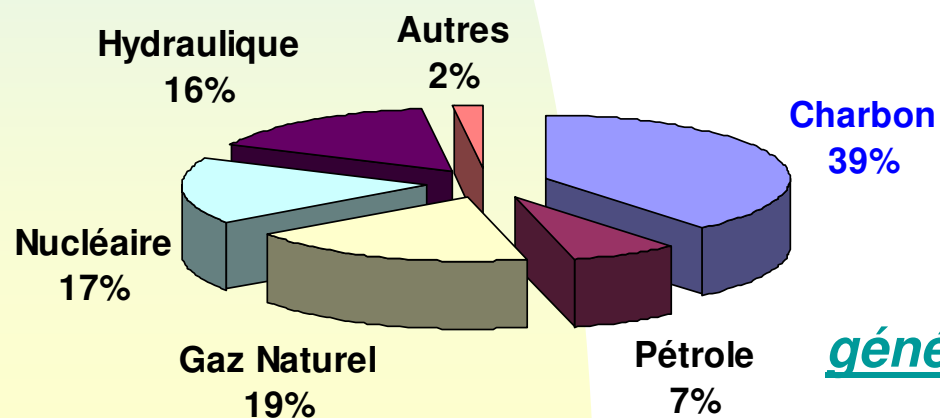


Et pourtant...

2ème source d'énergie primaire utilisée dans le Monde.



Source : L'Énergie en 2050, EDP Sciences, 2005



Source : Informations sur l'Énergie, CEA, 2005

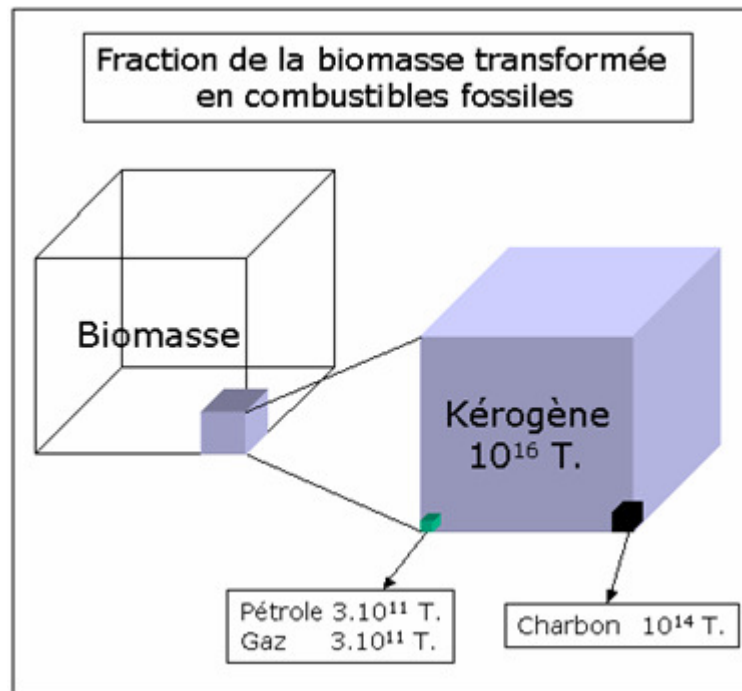
1ère source d'énergie pour la génération d'électricité dans le monde.

[Passer à la première page](#)



Origine du Charbon

Les êtres vivants sont constitués principalement de C,H,O.

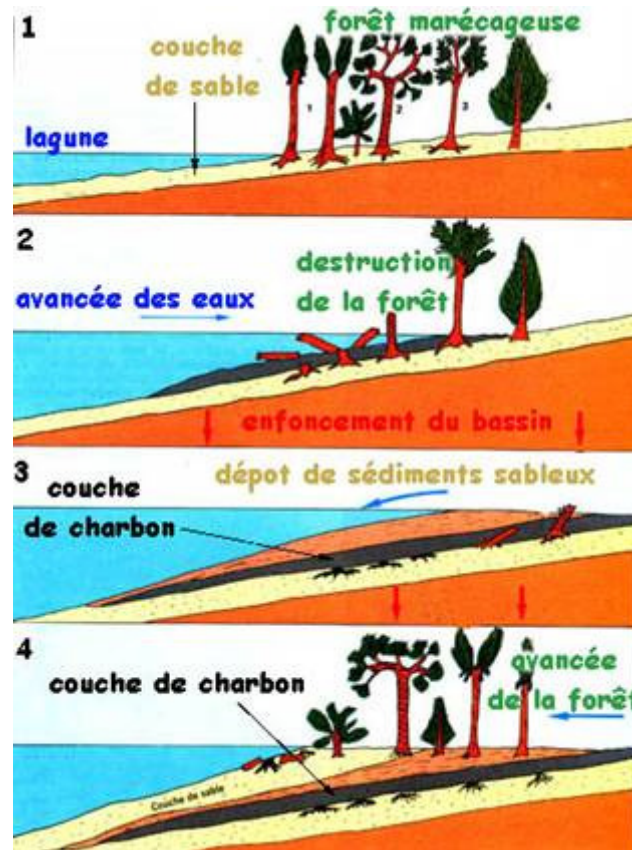


Le charbon est issu d'une variété particulière de Kérogène formée à partir de matière organique de végétaux supérieurs (arbres, fougères...).



Une formation en quatre étapes

Vers la fin de l'ère primaire (Carbonifère), il y a 200 à 300 millions d'années.



A l'abri de l'air et soumise à des conditions de pression et de température de plus en plus élevées, la couche végétale s'enrichit fortement en carbone (pyrolyse)

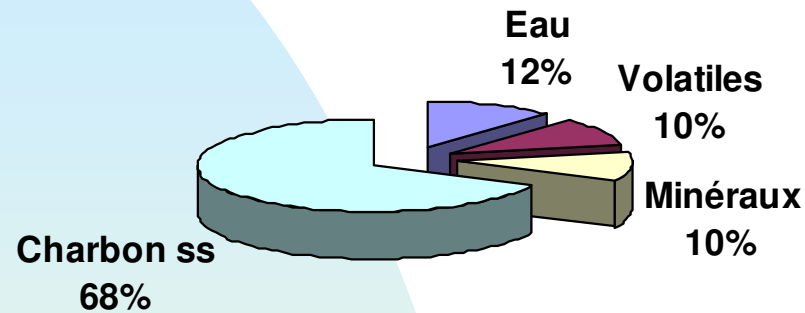
Source : Ministère de l'industrie

[Passer à la première page](#)



Composition du Charbon

Composition moyenne d'un charbon



1t de charbon ≈ 0,6 tep

(1tep =42 GJ)

Lignite : 0,3 tep/t

Sub-bitumineux : 0,5tep/t

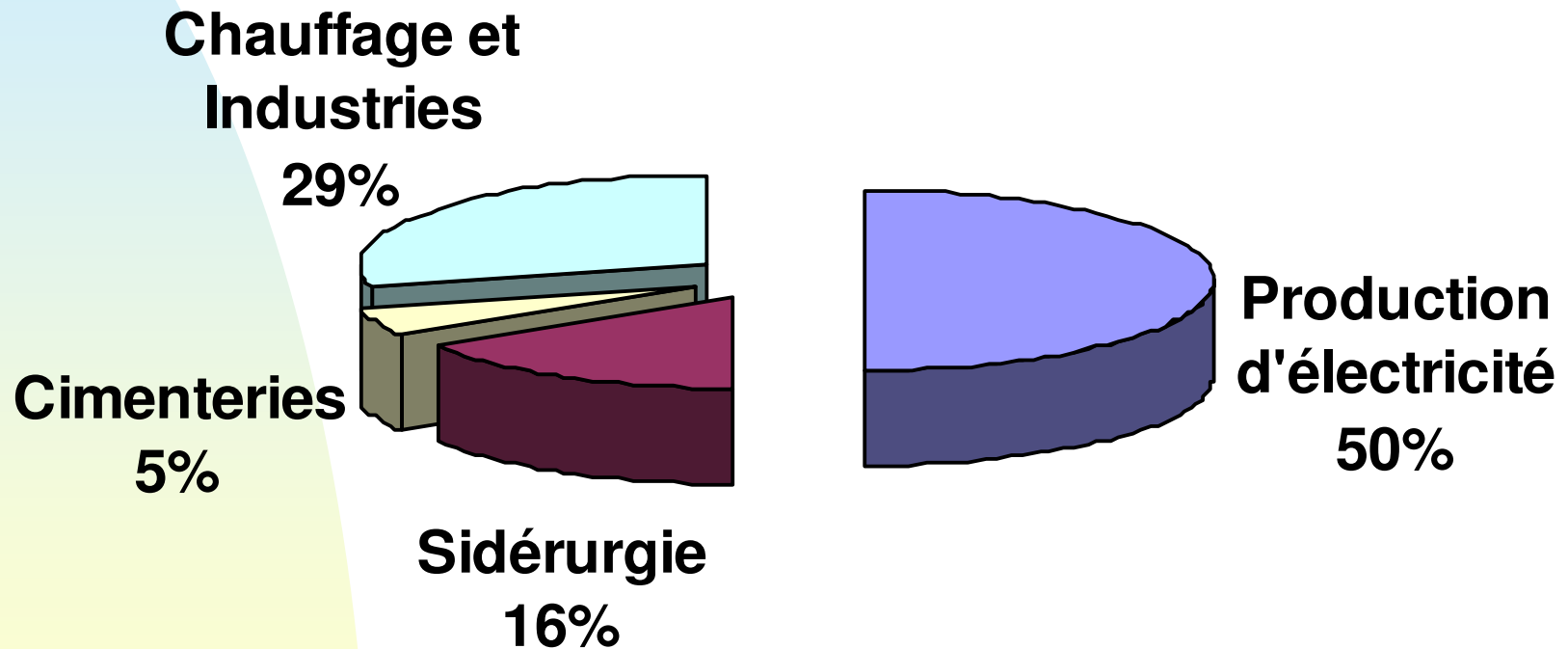
Bitumineux : 0,7tep/t

Produits	Pouvoir Calorifique (KJ/kg)	Teneur en Carbone (en %)
HOUILLE		
Anthracite	33500 – 34900	93 – 97
Charbon maigre et houille anthraciteuse	34900 – 36000	90 – 93
Charbon demi-gras ou semi-bitumineux	35000 – 37000	80 – 90
Charbon gras ou bitumineux à coke	32000 – 37000	75 – 90
Flambant	32700 – 34000	70 – 80
LIGNITE	<25110	50 – 60
TOURBE	12555	< 50

[Passer à la première page](#)



Les utilisations actuelles du charbon dans le Monde



Une production mondiale en forte croissance

<u>Grands producteurs</u> (en millions de tonnes de houille)			
	2001	2002	2002-2001
Total monde	3787	3902	+115
Chine	1268	1398	+130
États-unis	950	917	-33
Inde	320	333	+13
Australie	264	273	+9
Afrique du sud	230	227	-3

<u>Grands exportateurs</u> (en millions de tonnes de houille)	
Australie	203
Chine	84
Indonésie	74
Afrique du sud	69
Russie	43
Etats-Unis	36
Colombie	35

- ❖ Hausse de la production mondiale de houille de 1,2% en 2002 après une croissance de 5% en 2001.
- ❖ Chine et Inde = moitié de l'augmentation de la production de charbon.
- ❖ Croissance également importante en Australie et Indonésie (grands exportateurs).


Source : statistiques préliminaires de l'AIE (Coal information, 2003)

[Passer à la première page](#)



PRINCIPAUX EXPORTATEURS EN 2004

TOTAL : 754,9 Mt



	<u>Total (Mt)</u>	<u>Coke</u>	<u>Vapeur</u>
■ Australie	218,4	111,7	106,7
■ Indonésie	107,4	17,1	90,3
■ Chine	86,6	6,4	80,2
■ Russie	65,2	13,8	51,4
■ Afrique du Sud	63,7		63,7
■ Colombie	51,7	0,5	51,2
■ US	43,3	24,3	19
■ Canada	27,1	26	1,1
■ Kazakhstan	22		22
■ Pologne	19,6	3	16,6

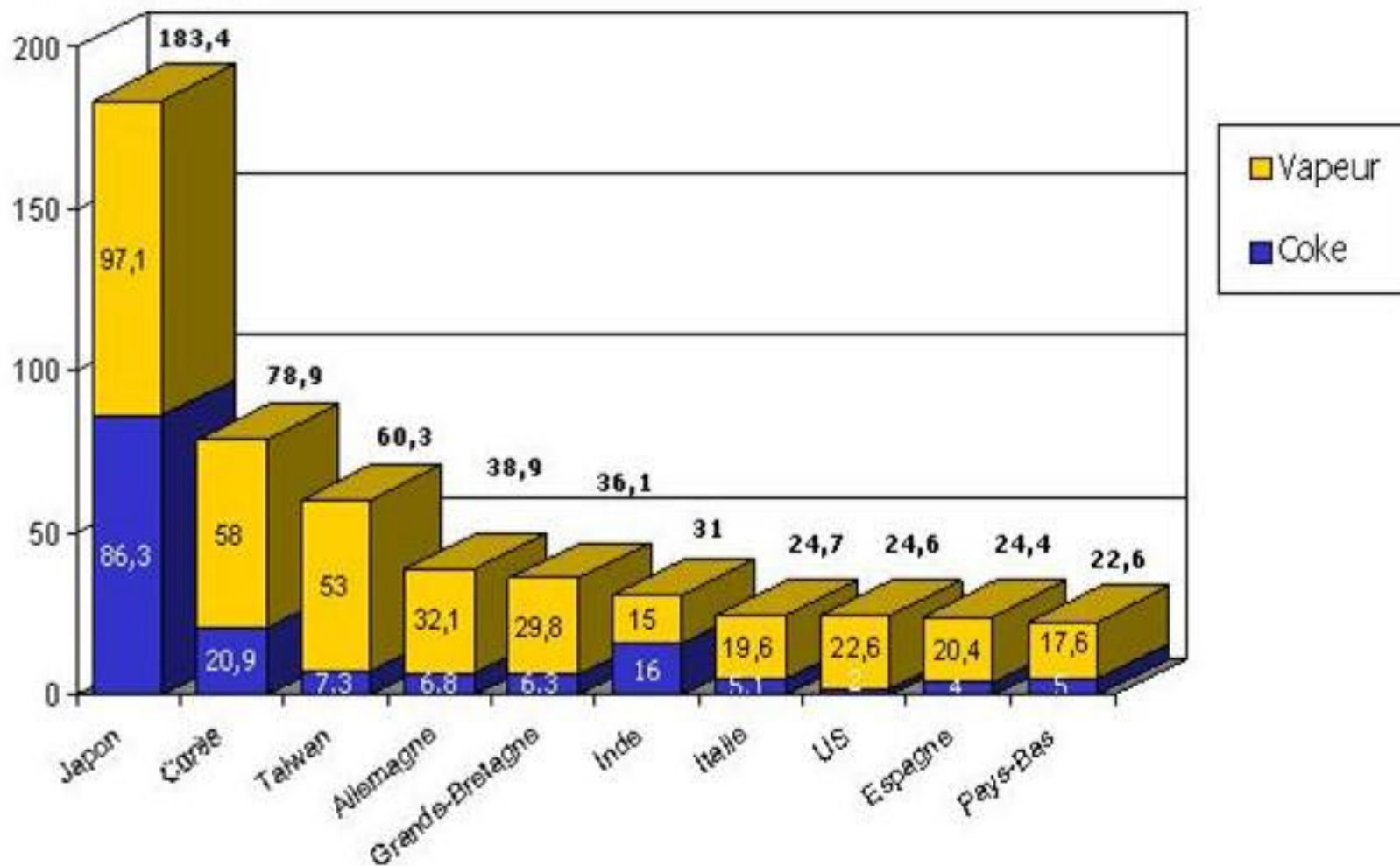
Source : Charbonnages de France

[Passer à la
première page](#)



PRINCIPAUX IMPORTATEURS EN 2004

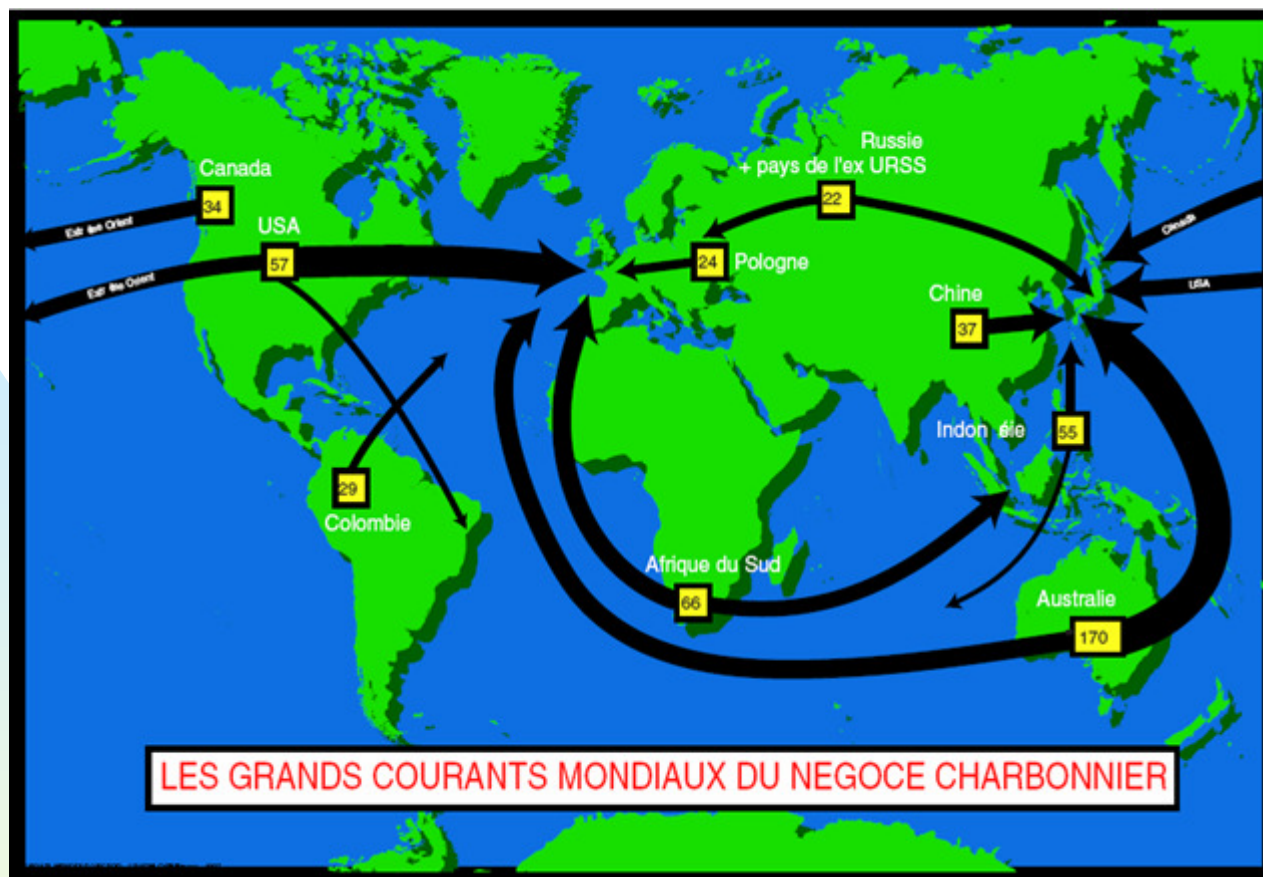
(En millions de tonnes)



Source : Charbonnages de France

[Passer à la première page](#)





❖ 75 % des échanges par voie maritime.

❖ 25 % sur terre, par rail ou route.



Le Charbon en France au fil du temps

- ❖ Arrêt de la production nationale en 2004 (mine de la Houve)
- ❖ Record de production historique de 60,3 Mt en 1958.

Jusqu'en 2004, 4465 Mt de charbon extraites en France :

- 2 275 Mt dans le Nord-Pas-de-Calais ;
- 693 Mt en Lorraine ;
- 1497 Mt dans le Centre Midi.

Évolution de la part des énergies dans la production d'électricité en France (hors énergies renouvelables) en %

	1973	1979	1990	2003	2004
Charbon	16,2	26,2	7,3	4,6	4,2
Pétrole gaz	48,6	28,4	3,9	6	5,8
Nucléaire	8	16,4	74,4	77,5	78,1
Hydraulique	27,2	29	14,3	11,9	11,9

Les raisons de l'arrêt du charbon en France :

- ✓ *Épuisement des gisements ;*
- ✓ *Conditions géologiques de + en + difficiles ;*
- ✓ *Concurrence des pays à bas coûts de production ;*
- ✓ *Choix stratégique du nucléaire pour assurer l'indépendance énergétique.*

[Passer à la première page](#)



Cas du Bassin Houiller Gardois

Début de l'exploitation au Moyen-âge (Cendras, XIIIème siècle)

3 grandes phases d'exploitation :

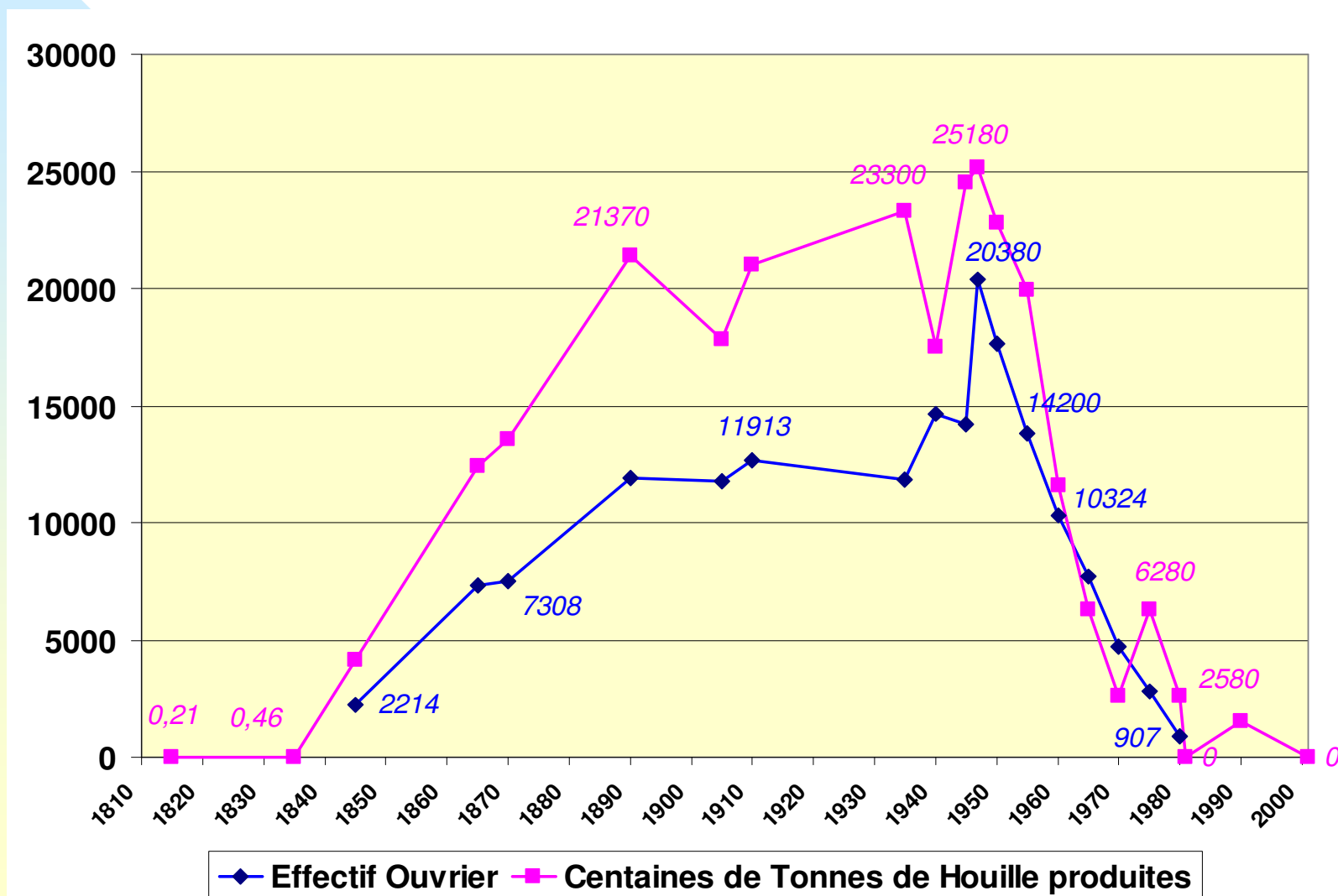
- Phase artisanale (1259-1841)
- Phase Industrielle avec la ligne La Grand-Combe-Alès-Nîmes-Beaucaire (1841-1950)
- De la nationalisation à la fin (1950-2001)



[Passer à la première page](#)



Évolution Effectif Ouvrier / Production dans le Bassin Alésien



Source : AGAR, Jean-Pierre Rolley, EMA

[première page](#)



1967 Création de la SOFIREM

Des Fermetures Programmées

	HBNPC	HBL	HBCM
1990	Escarpelle, Oignies		
2001		Vouters Dressants	<u>Découvertes :</u> Gard (Cévennes), Aumance (Auvergne), Decazeville (Aveyron)
2003		Merlebach	Gardanne (Provence)
2004		La Houve	

But : favoriser la mobilité et la conversion du personnel

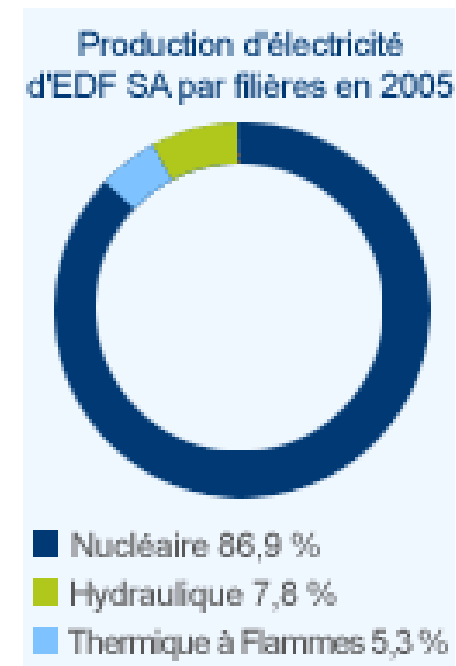
- ✓ Conversion à EDF ou autres entreprises ;
- ✓ Transferts internes à CdF ;
- ✓ Aide à la création d'entreprise ;
- ✓ Reconversion dans BTP par exemple après formation ;
- ✓ Retraites anticipées.

[Passer à la première page](#)

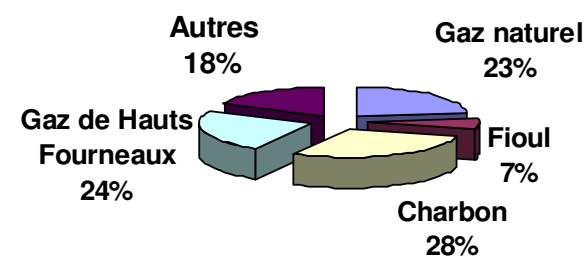


La place du Charbon en France aujourd'hui

Répartition de la consommation de charbon (2004, Mt)	
Consommation de la branche énergie	11,4
<i>Dont centrales électriques</i>	9,2
Consommation énergétique par secteur	9,8
<i>Dont sidérurgie</i>	7
<i>Dont reste de l'industrie</i>	2,1
<i>Dont résidentiel et tertiaire</i>	0,6
Divers	0,2
Total	21,4 (dont 21,1 importées)



Combustibles consommés en 2003 pour la
génération d'électricité (en % du total)



Source : Observatoire de l'Énergie

[Passer à la
première page](#)



Les mutations du marché du Charbon

[Passer à la
première page](#)



Une utilisation qui s'est déplacée d'Europe vers l'Asie

Les <u>Grands Consommateurs</u> de charbon (en millions de tonnes de houille)			
	2001	2002	2001-2002
Total Monde	3744	3900	+157
Chine	1200	1323	+123
États-unis	889	897	+8
Europe OCDE	366	360	-6
Inde	348	362	+14
Afrique du sud	156	161	+5

Source : Ministère de l'Industrie et des Finances, d'après AIE-OCDE, 2002

[Passer à la première page](#)



Le paradoxe de la CECA

- ❖ Production de houille en chute libre
240 Mt en 1989 \Rightarrow 85 Mt en 2000
(essentiellement : Allemagne, RU, Espagne et France).
- ❖ Mais 160 Mt importées en 2000.



Une demande de charbon en hausse

- ❖ Entre 2000 et 2004, la demande a augmenté de 27 % pour atteindre 4 620 Mt.
- ❖ La Chine est la première responsable de cette hausse. Chaque année, elle construit autant de centrales électriques qu'en comptent la France et le Canada réunis.
- ❖ La Chine est le 2^{ème} consommateur d'électricité au Monde juste derrière les USA. Près de 80 % de cette électricité est produite à partir du charbon.



Un Boum du Charbon pour la génération d'électricité

❖ Pour la première fois depuis plus de vingt ans, plus de commandes pour des centrales au charbon qu'au gaz.

➡ Entre 1997 et 2001, 60 à 70% au gaz et 20 à 30% au charbon.

➡ En 2006, 120 GW commandés, 20 à 30% au gaz, 30 à 40% au charbon.

Source : *Financial Times*, début 2006



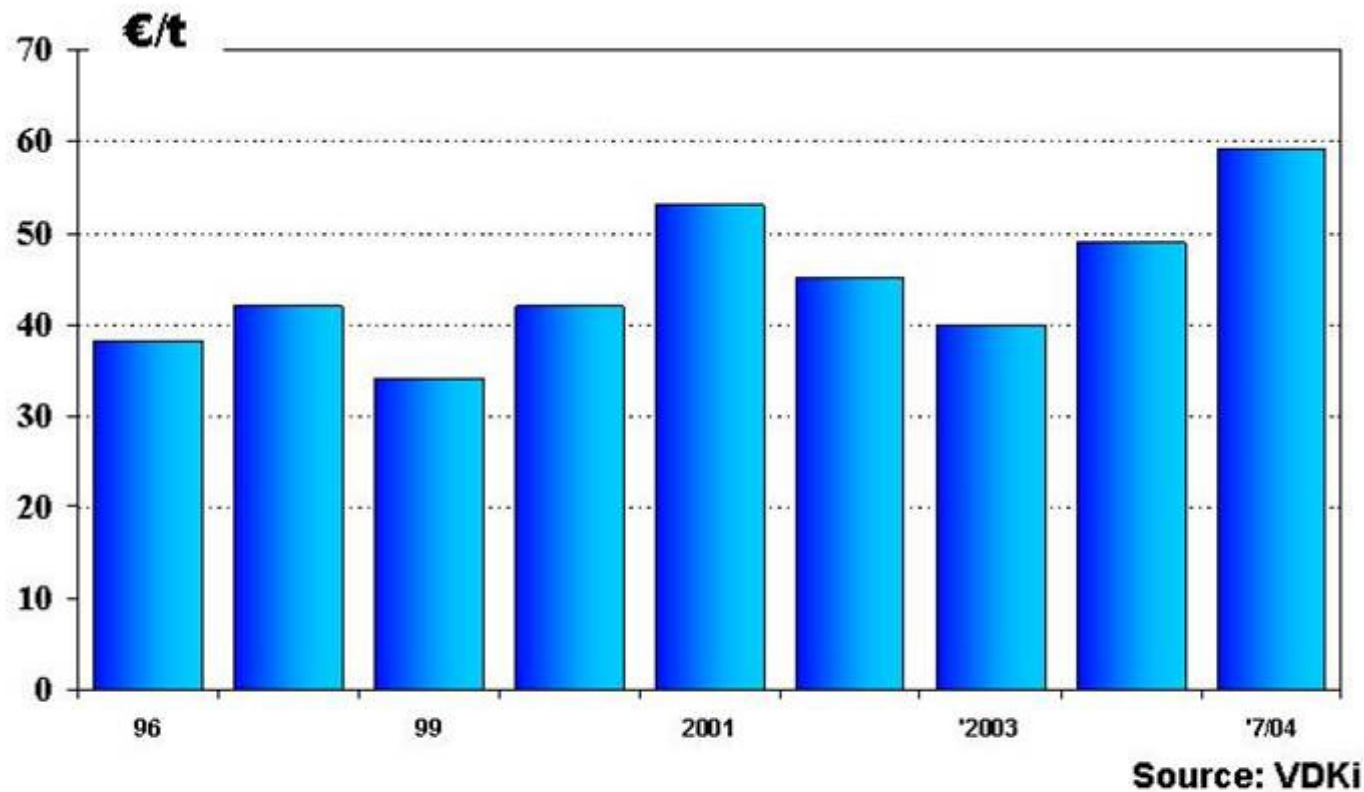
Une flambée des prix en 2003

Doublement du prix spot CAF du charbon vapeur sur le marché ARA entre 2002 et 2004 (35euros/T→59euros/T)

- Élément déclencheur : forte demande de la Chine en matières premières mal anticipée
 - ✓ croissance de 9% entre 2002 et 2004 ;
 - ✓ 75% d'électricité à base du charbon en 2001 ;
 - ✓ progrès de 44% de la production d'acier en deux ans.
- Entre 2001 et 2004, bond de 23 % de la consommation mondiale de Charbon (59% pour la Chine !) soit 2,5 fois celle du gaz naturel et 4 fois celle du Pétrole.
- Indisponibilité passagère des cargos → augmentation du Fret (niveaux records fin 2003 et début 2004).
- Depuis début 2005, accalmie et tendance baissière des coûts du fret et du FAB (franco à bord).



Une flambée toutefois relative



Prix moyen du charbon-vapeur en € par tonne

[Passer à la première page](#)



❖ **Chute de la production américaine en 2002 et donc forte diminution de sa présence à l'exportation ⇒ pas de *swing producer*.**

Chine et Russie peuvent jouer ce rôle mais il existe des doutes sur la transparence des prix chinois et la Russie doit encore s'établir en fournisseur stable.

❖ **Le poids de l'Afrique du Sud décline au profit de l'Asie.**

Source : AIE

[Passer à la première page](#)



Une Faiblesse : Une Mauvaise image

À cause de la Sécurité :

À Cause de ses rejets dans l'environnement

← **Le Charbon**

1906 : 805 morts à Courrières (Nord-Pas-de-Calais)

← **Rejets Solides** : 12 morts à Barakova (Ukraine)

14 Février 2005 : 214 mort à Fuxin (Liaoning, Chine)
cendres et mâchefer recyclés (cimenteries, VHD)

← **La Silicose.**

← **Résidus de lavage des charbons.**

Des lavages dans le Monde : 500 000 cas et 24 000 décès
entre 1991 et 1995 en Chine et 9000 silicosés au Vietnam.

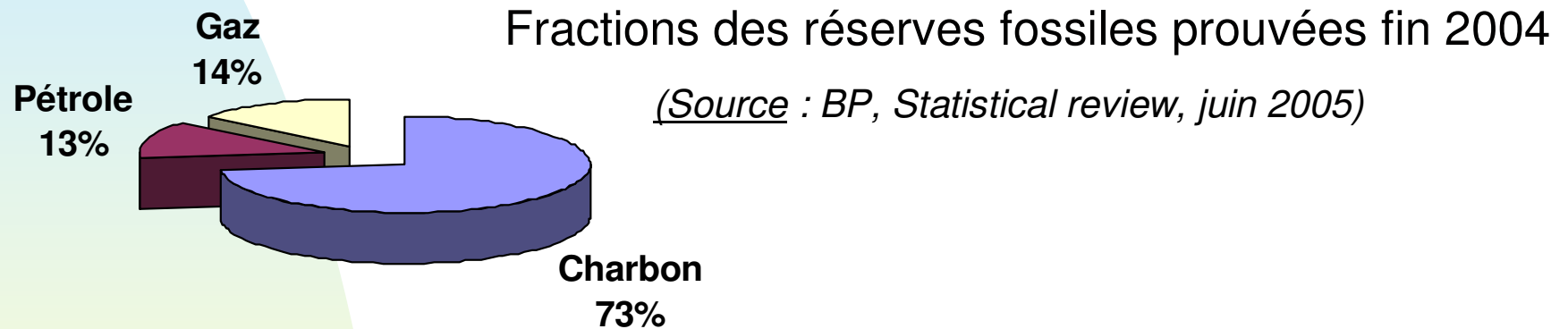
← **Cendres volantes** (normes imposées : 100mg/m³ pour centrales
En France : 2270 cas entre 1970 et 1991 à Lille (INRS)
< 500MW 50mg/m³ pour centrales >500MW)

← **Rejets Gazeux** : Méthane (CH₄), **CO₂ (GES)**, NO_x et SO₂ (Pluies acides)



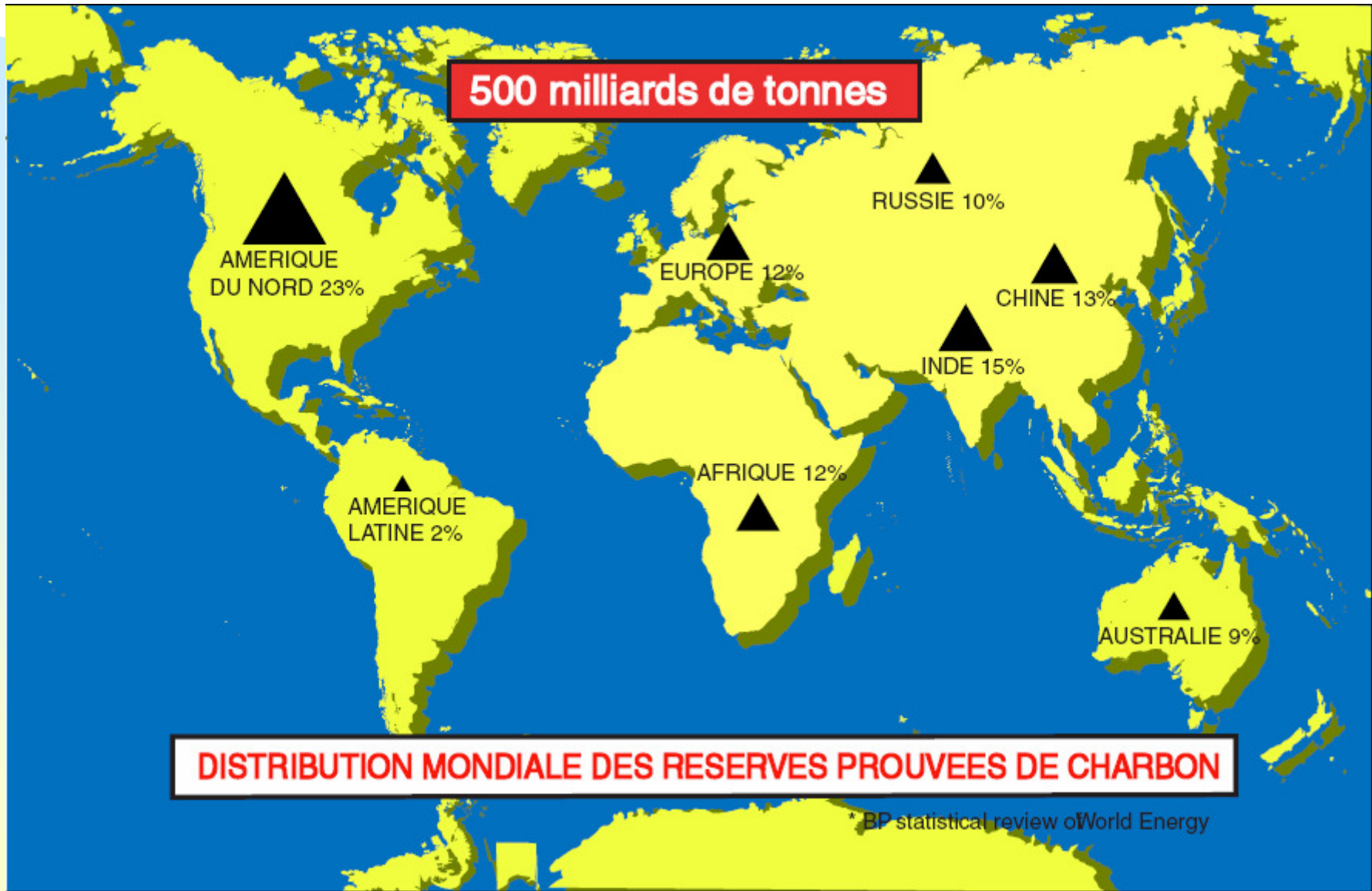
Deux atouts

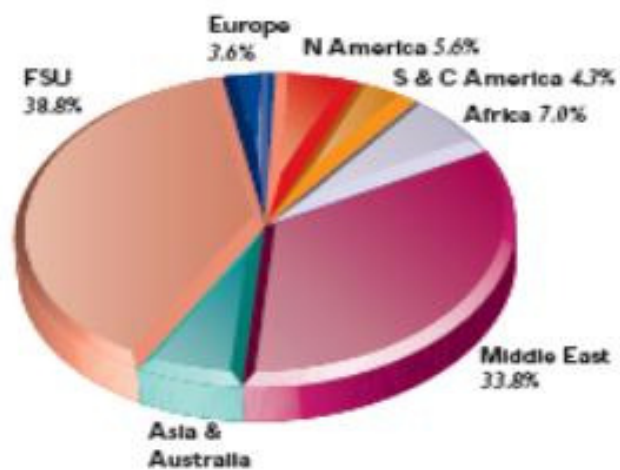
❖ **Des ressources immenses** avec des réserves prouvées pour 200-250 ans (507 Gtep hors lignite).



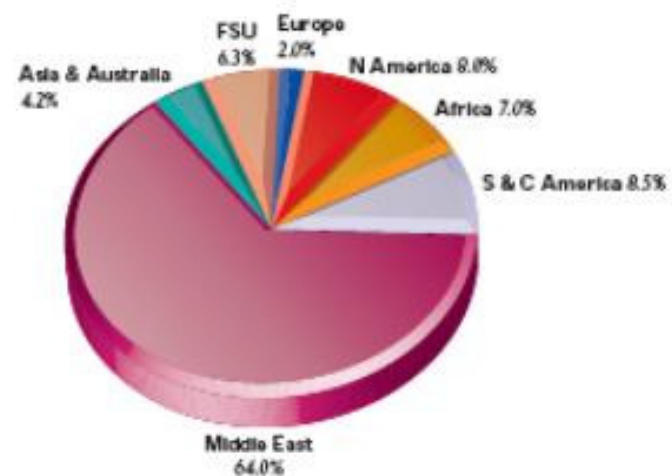
❖ **Des réserves mondiales bien réparties** sur près de 80 pays garantissant des prix plus stables que le gaz et le pétrole).



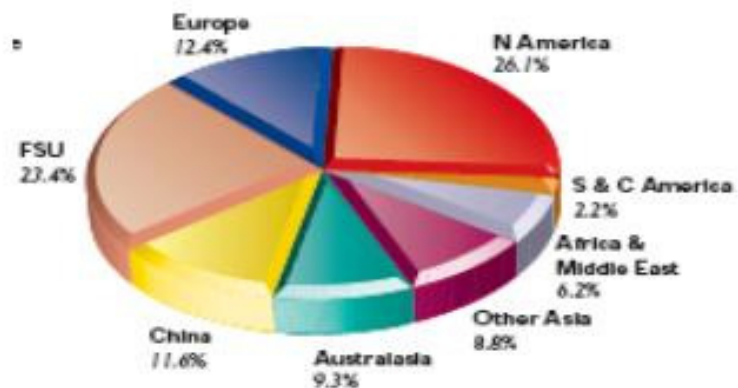




Gaz



Pétrole



Charbon

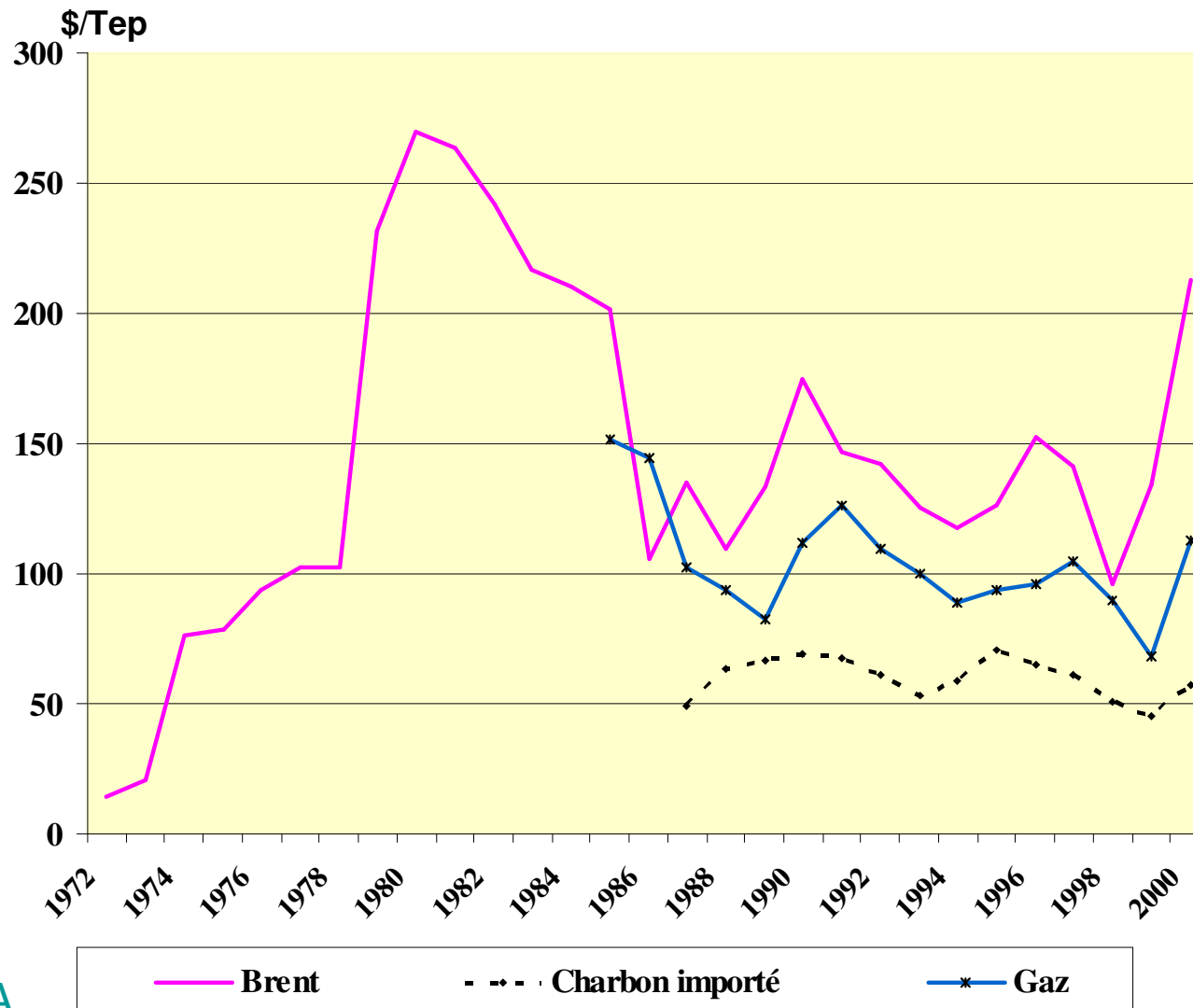
Répartitions géographiques des réserves

Source : charbonnages de France

[Passer à la première page](#)



Prix du Pétrole, du gaz et du Charbon en Europe



Source : ENA



une source d'énergie géopolitiquement attrayante

- ✓ Stratégie intéressante pour les pays qui détiennent des stocks importants ou qui sont en plein développement tels que USA, Chine et Inde (respectivement 27%, 13% et 15% des réserves mondiales).
- ✓ Un intérêt croissant en Europe pour maintien de la diversité des sources de fourniture d'électricité, notamment les pays qui n'ont pas recours au nucléaire.



Plus la dépendance énergétique repose sur les hydrocarbures, plus le coût moyen du kilowattheure augmente.

Source : étude de l'Institut Italien RIE (Ricerche industriali ed energetica).

Pays	Électricité au charbon (%)	Électricité au gaz naturel (%)	Prix du KWh (cte)
<u>Italie</u>	<u>17</u>		<u>20</u>
<u>Pologne</u>	<u>95</u>	<u>2</u>	<u>17</u>
<u>Grèce</u>	<u>60</u>	<u>15</u>	<u>8</u>



Quelles perspectives pour le charbon ?

Entre 2005 et 2050, la production de charbon triplerait et deviendrait la ressource majoritaire en énergie primaire (34% contre 26 %actuellement).

Production d'électricité	Génération (en TWh)	
	2000	2030
Production totale d'électricité	<u>14865</u>	<u>34716</u>
Energie thermique dont	9 299	25803
- combustion conventionnelle charbon et lignite	<u>5516 (37 %)</u>	<u>4325</u>
- techniques avancées de combustion (1)	<u>0</u>	<u>11331</u>
- gaz	2418	8542
- biomasse	197	423
(1) Gazéification intégrée en cycles combinés de deuxième génération (Integrated Gas Combined Cycles : IGCC) et installation supercritiques haute température. (2) CHP Combined Heat and Power		

Sources : - European Commission. - World, technology and climate policy outlook 2030. *Office for official publications of the European Communities, 137 p (2003).*
 - AIE

[Passer à la première page](#)



Charbon et émissions de CO2 en 2030

D'ici 2030, La consommation de charbon devrait augmenter de 39%

Quelles conséquences sur les émissions de CO2 liée à la production d'électricité?

	2030 (progression / SR) Gt	2050 (progression / SR) Gt
Scénario de référence (aucun progrès technologique d'ici 2030)	11,3	23
1er scénario (meilleures technologies disponibles)	9,4 (-17%)	16,4 (-29%)
2ème scénario (meilleures technologies disponibles à l'avenir)	8,4 (-26%)	13,4 (-42%)
3ème scénario (captage et stockage du CO2, 50% de l'augmentation de produc° d'électricité à partir du gaz substitué par nucléaire)		-79%

Source : Données de l'AIEA

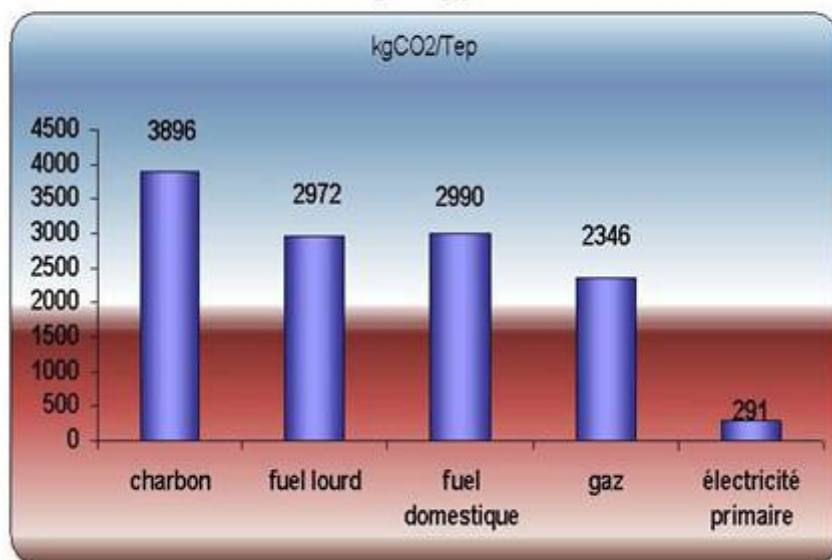
[Passer à la
première page](#)



Un enjeu de taille

Améliorer la performance environnementale

Émissions de CO2 par type de combustible



	Part dans l'offre d'énergie primaire (%)	Part dans les émissions de CO2 (%)
Charbon	24,4	38,4
Pétrole	34,4	40,8



Les différentes technologies actuelles

☛ **Centrales subcritiques à injection** (la majorité, charbon pulvérisé et séché dans foyer à 1400 °C, rendement moyen 37%)

☛ **Centrales PCI* à cogénération** (récupération de chaleur après turbinage de la vapeur, rendement pouvant atteindre 55%)

☛ **Centrales PCI* supercritiques** (conditions thermodynamiques particulières, 50% des centrales construites actuellement, rendements jusqu'à 47%)

PCI : Injection de Charbon Pulvérisé*



Des solutions pour un Charbon plus propre

- ❖ **Technologies à émissions zéro**
 - ❖ **Séquestration et stockage du Carbone**
 - ❖ **capture du méthane dans les mines**
- Principe : Augmenter le rendement et le taux de conversion de l'énergie charbon en énergie électrique = première contribution à la réduction des émissions en CO2*



Les technologies « Emission Zéro »

[Passer à la
première page](#)



La Combustion en Lit Fluidisé Circulant.

(PFBC : Pressurised Fluidised Bed Combined cycle)

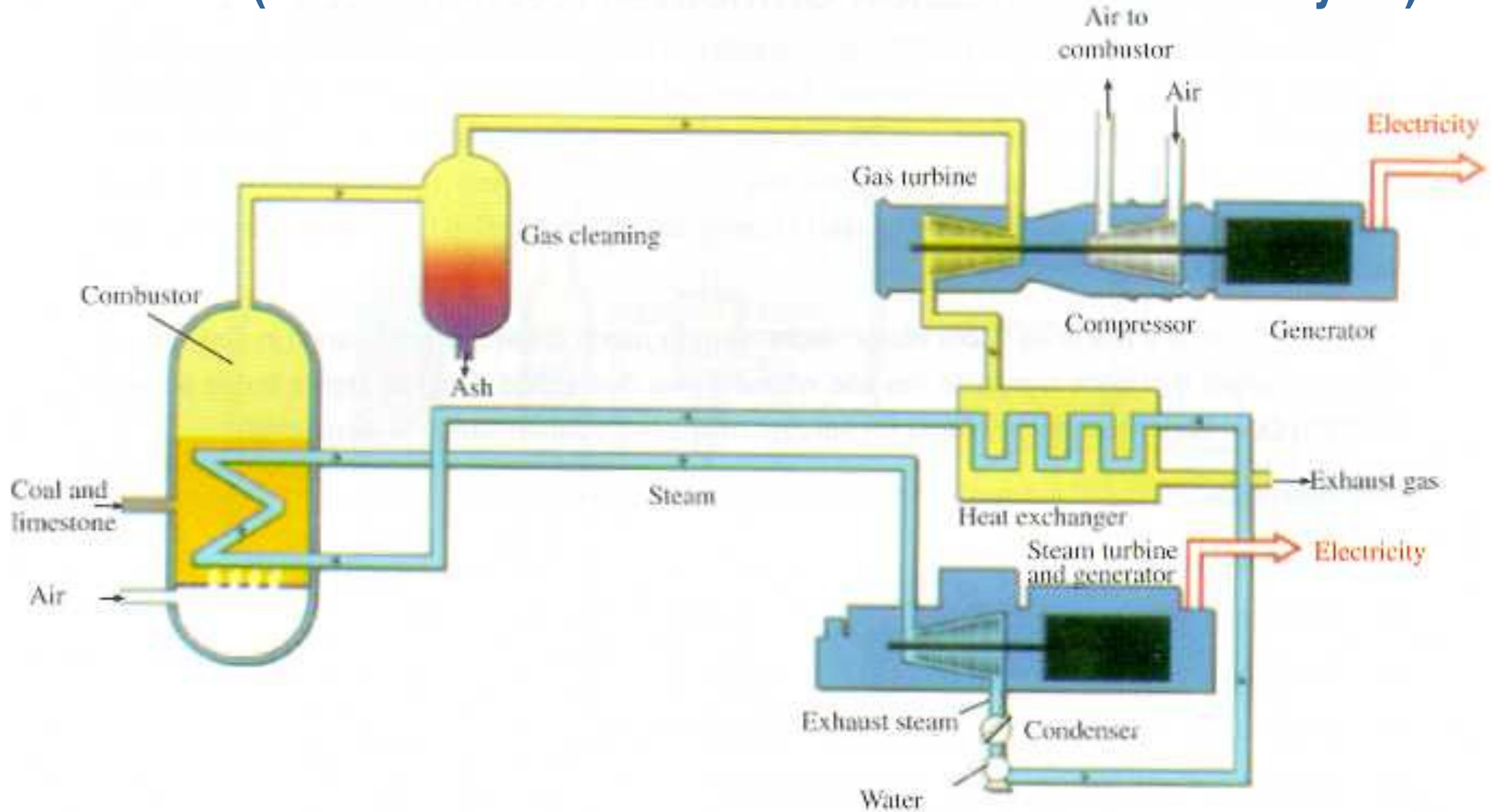
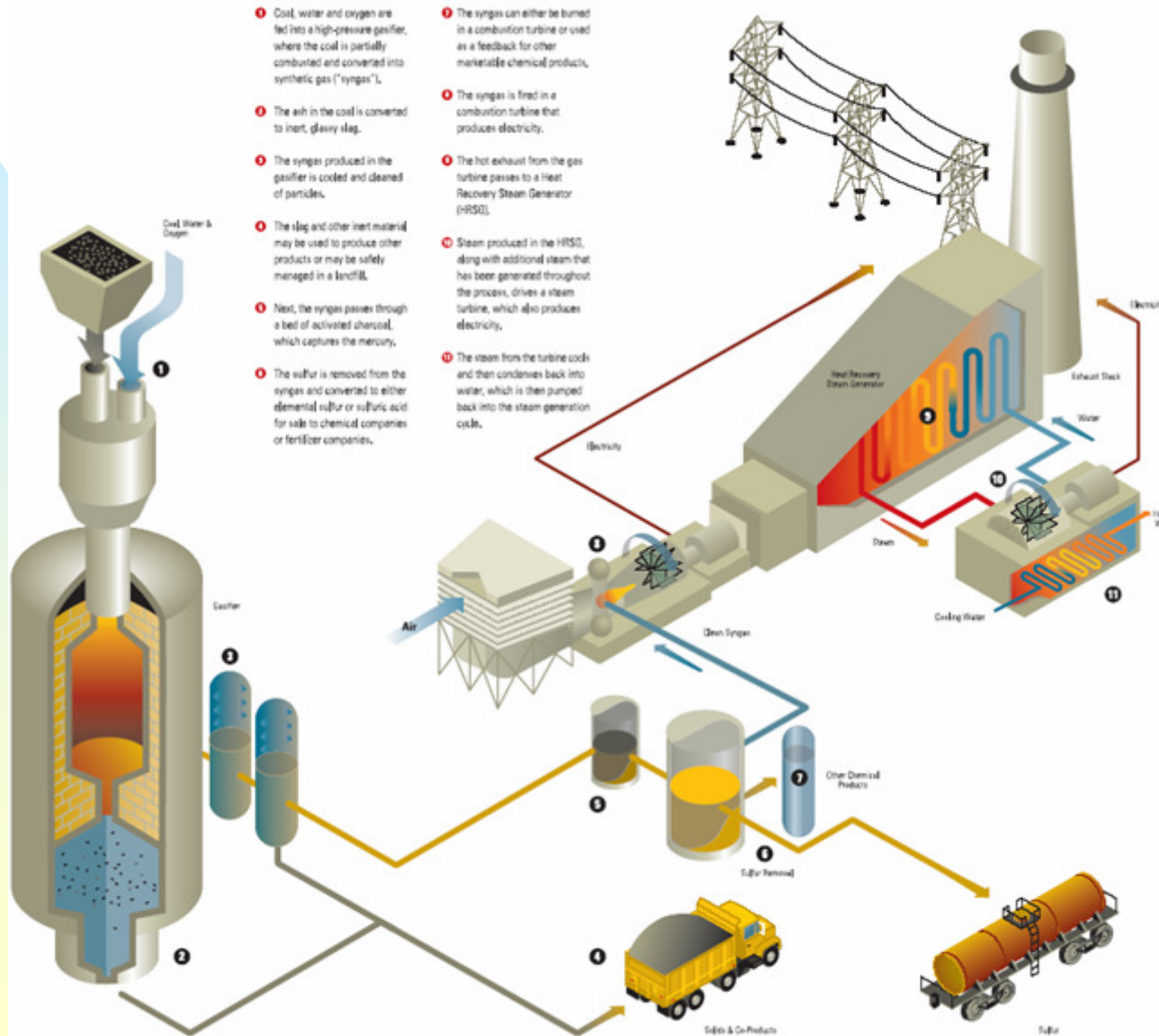


Fig. 8 Pressurised Fluidised Bed Combined Cycle

Source : Coal power for progress (4th edition) World Coal Institute

La Gazéification intégrée à un Cycle Combiné.

IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle

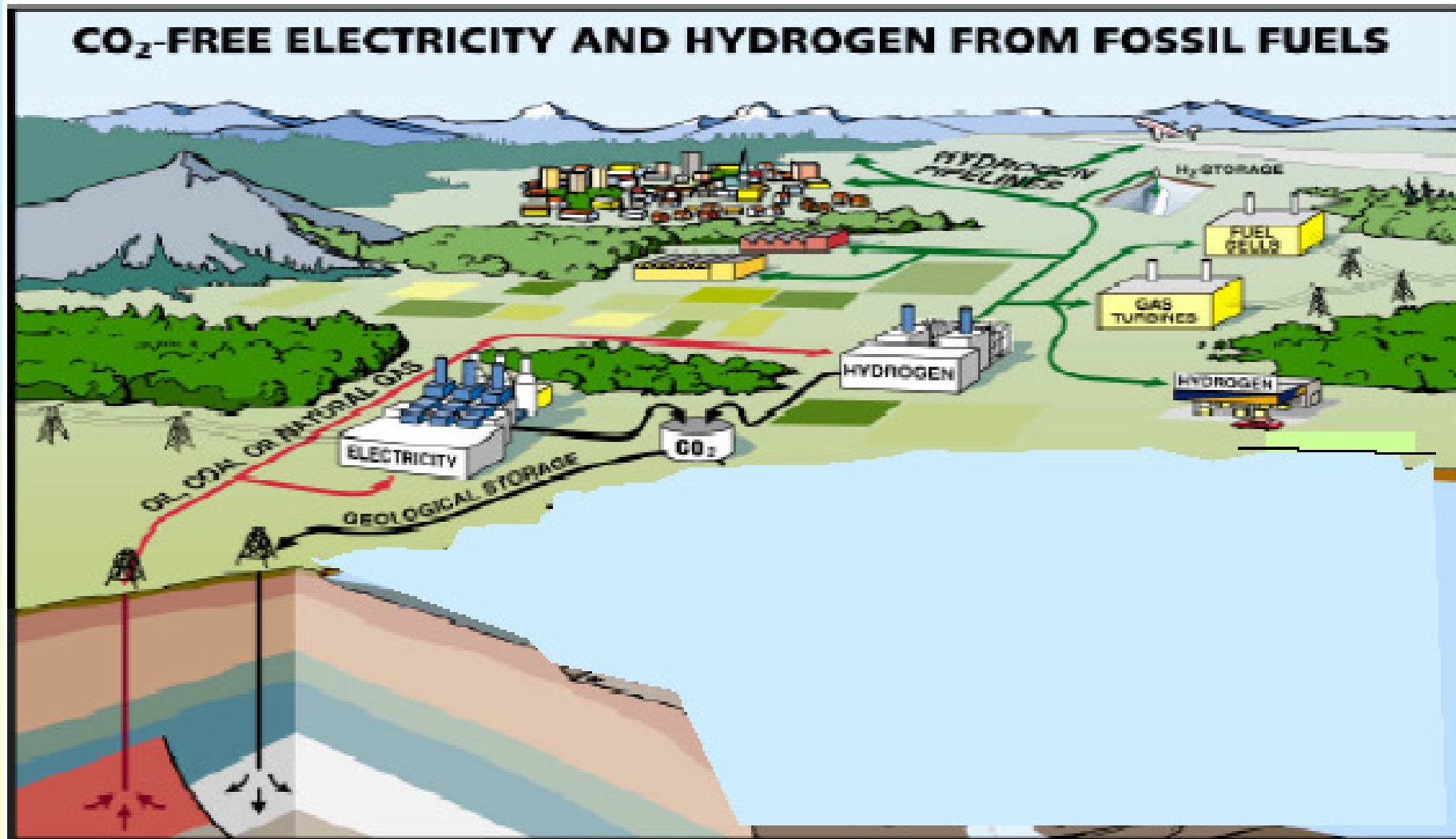


- 1 Coal, water and oxygen are fed into a high-pressure gasifier, where the coal is partially combusted and converted into synthetic gas ("syngas").
- 2 The ash in the coal is converted to inert, glassy slag.
- 3 The syngas produced in the gasifier is cooled and cleaned of particles.
- 4 The slag and other inert material may be used to produce other products or may be safely managed in a landfill.
- 5 Next, the syngas passes through a bed of activated charcoal, which captures the mercury.
- 6 The sulfur is removed from the syngas and converted to either elemental sulfur or sulfuric acid for sale to chemical companies or fertilizer companies.

- 7 The syngas can either be burned in a combustion turbine or used as a feedstock for other marketable chemical products.
- 8 The syngas is fired in a combustion turbine that produces electricity.
- 9 The hot exhaust from the gas turbine passes to a Heat Recovery Steam Generator (HRSG).
- 10 Steam produced in the HRSG, along with additional steam that has been generated throughout the process, drives a steam turbine, which also produces electricity.
- 11 The steam from the turbine cools and then condenses back into water, which is then pumped back into the steam generation cycle.



Le Futur du Charbon

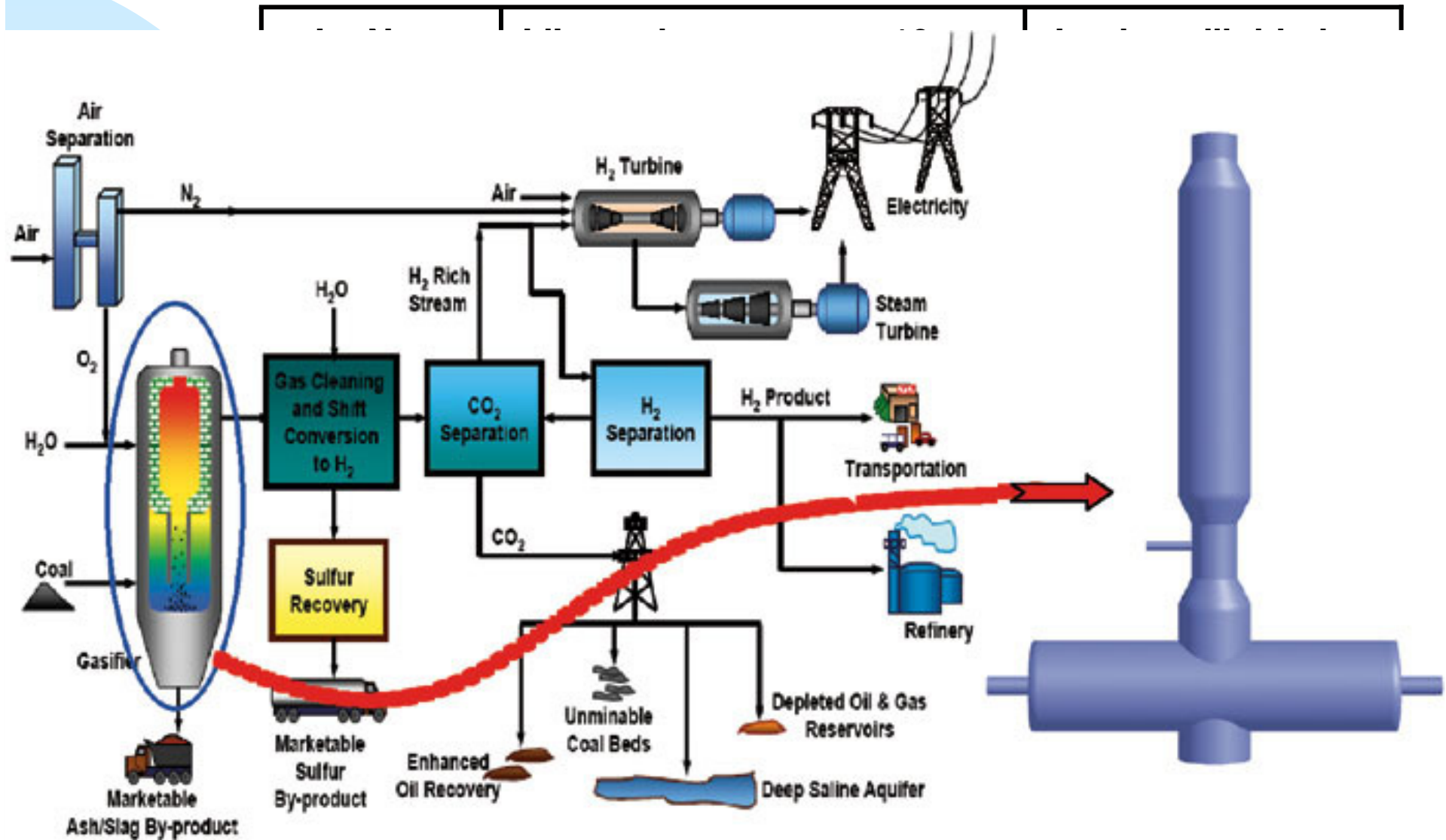


Source : IEA, *Coal's Future? World Coal Institute Workshop, Coal for Sustainable Energy: Clean Development and Climate Change*, New Delhi, Wednesday 17 May, Preston S. Chiaro Chief Executive Energy, www.riotinto.com

[Passer à la première page](#)



Deux projets internationaux « Clean Coal »



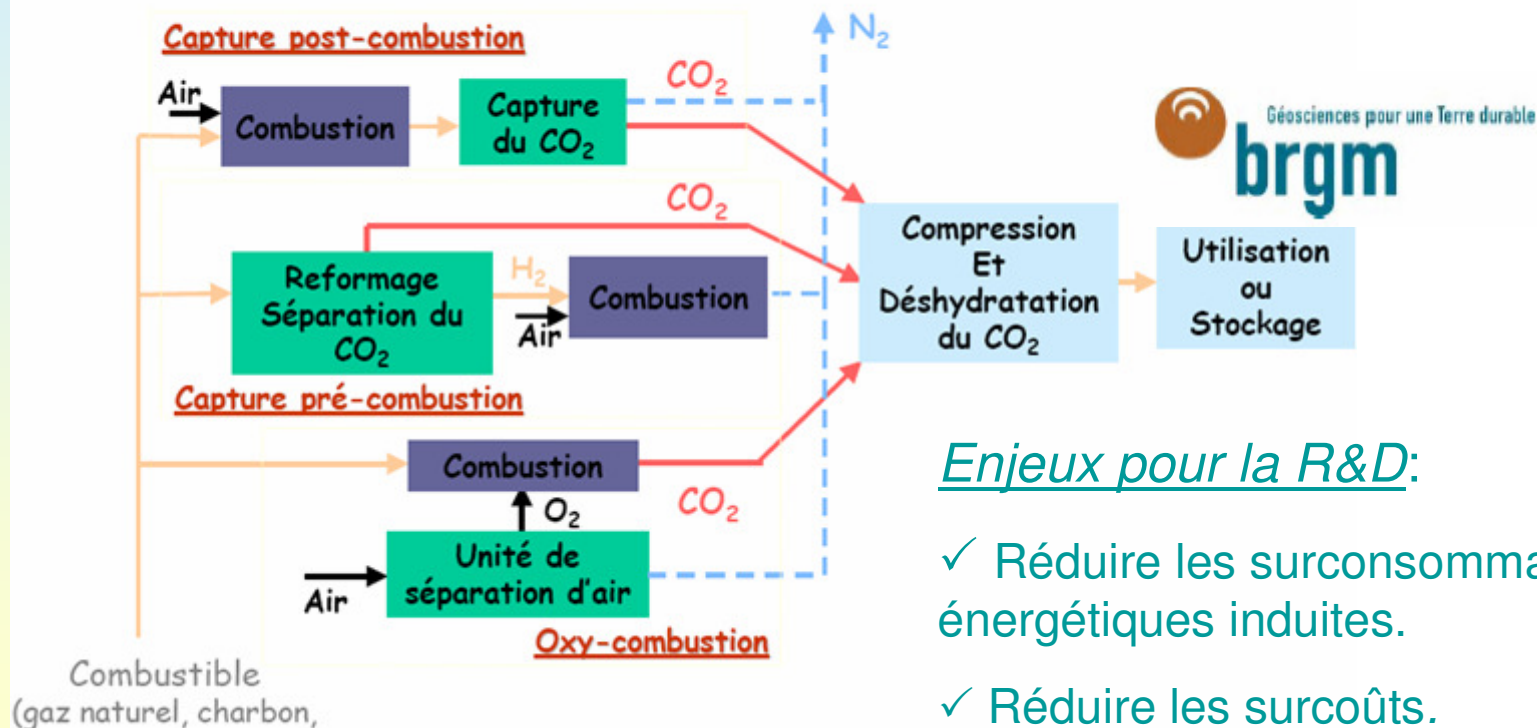
[Passer à la première page](#)



Capture et Stockage de CO₂ (CCS)

La Séquestration Industrielle de CO₂

La capture du CO₂ : différentes options envisageables



Enjeux pour la R&D:

- ✓ Réduire les surconsommations énergétiques induites.
- ✓ Réduire les surcoûts.

[Passer à la première page](#)



Le transport du CO2

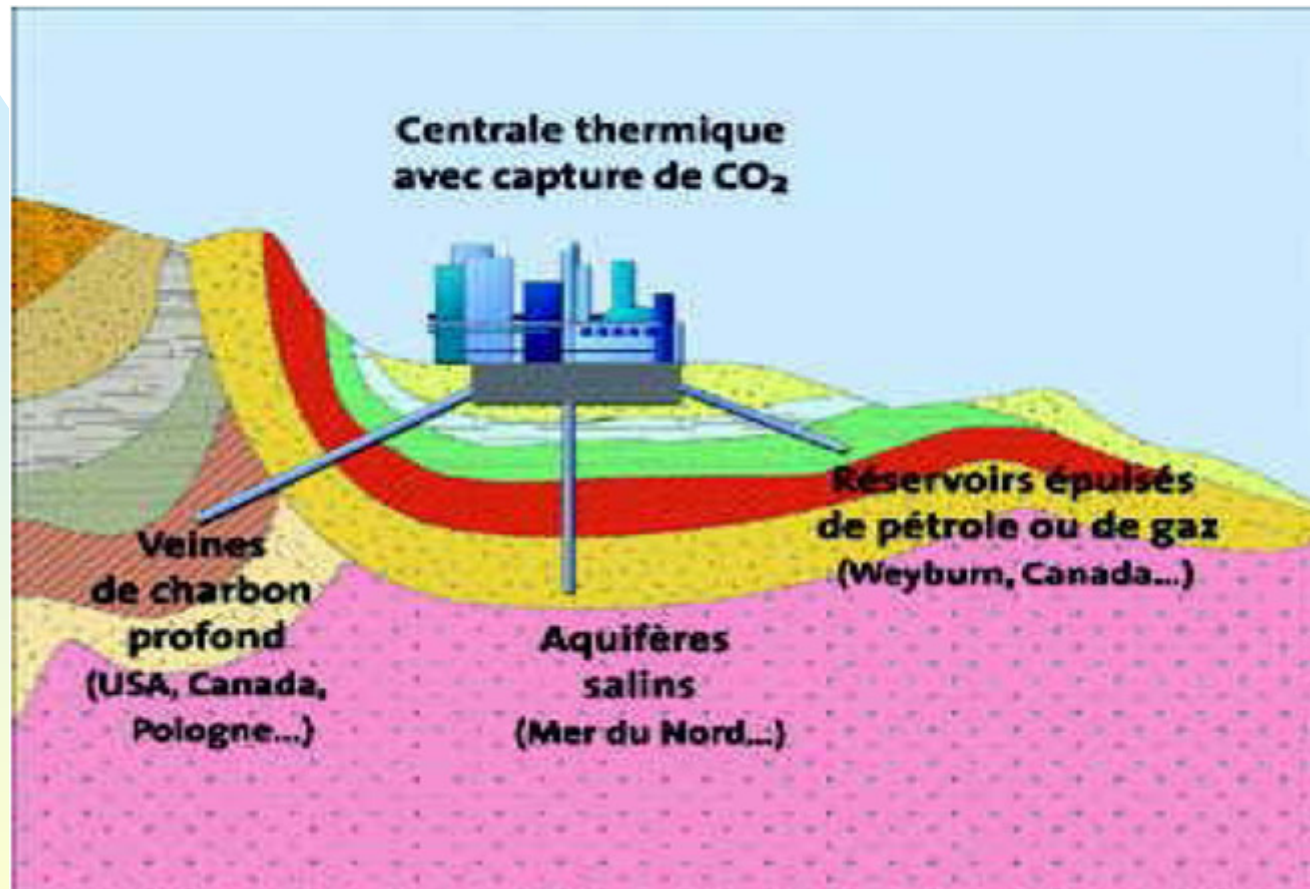
✓ Par pipelines (3000 km de Pipelines de CO2 opérationnels dans le Monde)



✓ Par bateaux



Le stockage géologique du CO₂



Les deux premières applications industrielles et les programmes de recherche impliqués

- **SLEIPNER
(SACS/SACS2/CO2STORE)**
séquestration en aquifère
site de Sleipner, mer du Nord, Norvège



1 Mt CO₂/an depuis oct. 1996

- **WEYBURN**
séquestration & récupération assistée de pétrole
champ pétrolier de Weyburn, Saskatchewan, Canada



1,8 Mt CO₂/an depuis sept. 2000

Où en est-on ?

- ✓ Difficultés uniquement techniques : optimisation de la chaîne de production d'H et d'isolation du CO₂.
- ✓ Sécurité du stockage (et le problème de l'acceptabilité...)
Les Technologies de capture et séquestration du CO₂ commercialisables en 2020.
- ✓ Américains plus mûrs pour la recherche de sites de stockage, Européens plus avancés pour la mise en œuvre.
- ✓ Lancement du projet Dynamis en 2006 : études de conception, faisabilité et choix techniques préliminaires d'HypoGen



D'autres solutions Alternatives

Liquéfaction du Charbon

(Hydrogénation pour obtenir des produits pétroliers)

✓ Liquéfaction directe (projet pilote financé par la CEE, produits hydrocarbonés extraits à l'aide d'un solvant, rendement thermique 65%, prix de revient du baril 25-35\$)

✓ Liquéfaction indirecte ou Procédé Fischer-Tropsch (hydrogénation catalytique après gazéification à 1000 °C sous 5 atmosphères, rendement thermique 60%, prix de revient 20-25\$ par baril)

❖ Demande de gros investissements, mais coûts opératoires compétitifs par rapport au pétrole.

❖ 2 projet de centrales en Chine (1Mtep d'ici 2020)

❖ USA pourraient également se lancer.



En guise de conclusion

- ☛ Charbon = enjeu stratégique très important pour la production d'électricité dans les décennies à venir
 - ✓ *utilisation avantageuse en co-combustible associé avec lignite, tourbe, rebuts d'hydrocarbures lourds ou biomasse.*
 - ✓ *abondance des réserves*
 - ✓ *multiplicité des sources d'approvisionnement gage de stabilité des prix et de sécurité des fournitures*
- ☛ La Séquestration du carbone n'est pas la solution miracle (nécessité d'un cadre réglementaire, d'un management de la demande énergétique, de l'amélioration de l'efficacité et d'un mix énergétique).
- ☛ Charbon devrait rester compétitif même si prix est multiplié par trois et malgré les surcoûts de gestion.

