

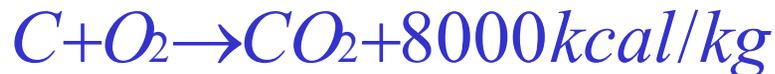
Le Charbon, le gaz et leur usage:

Réactions



énergie par CO₂=6,21eV

Expression en kcal/kg:

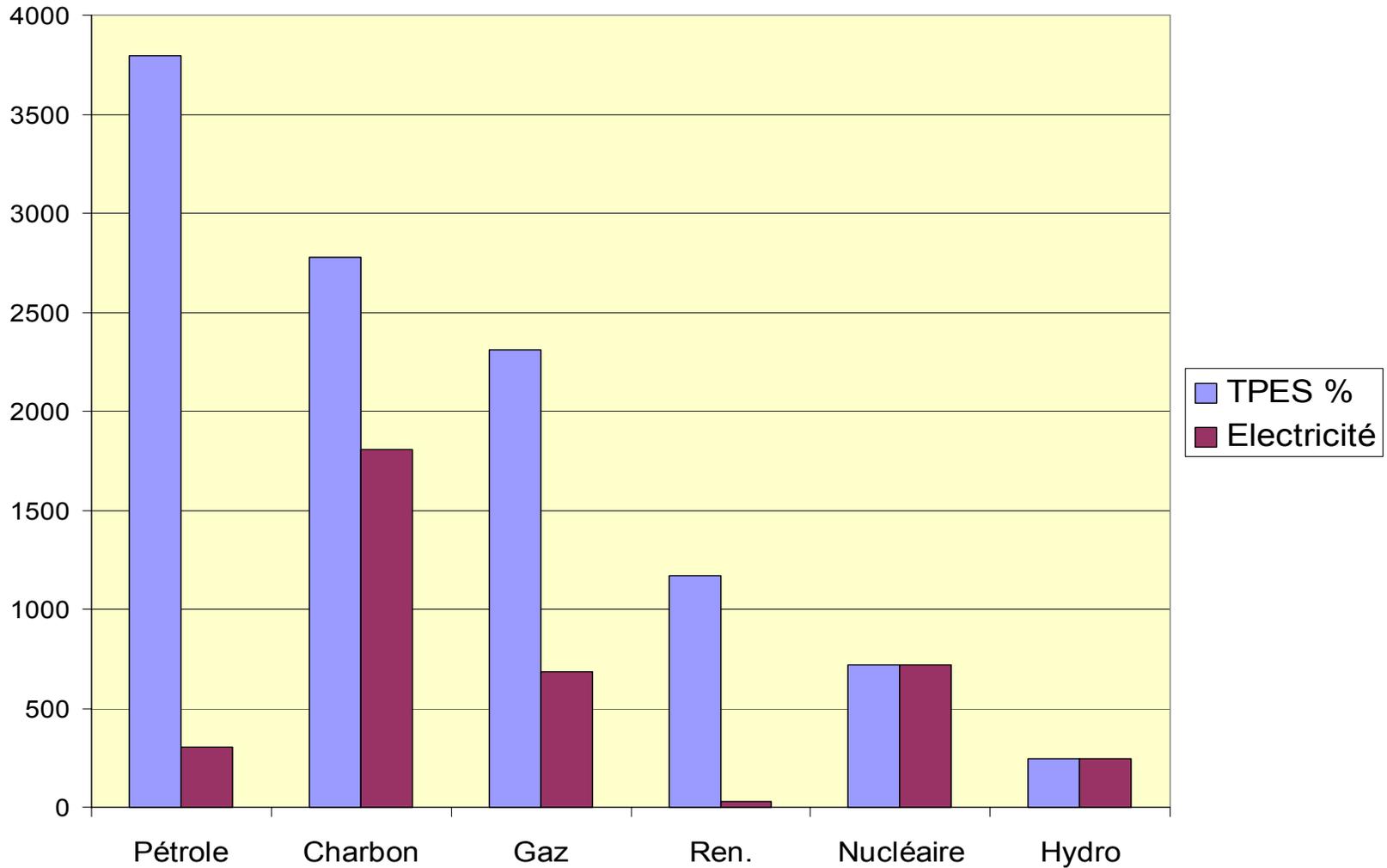


1 kep=10000 kcal

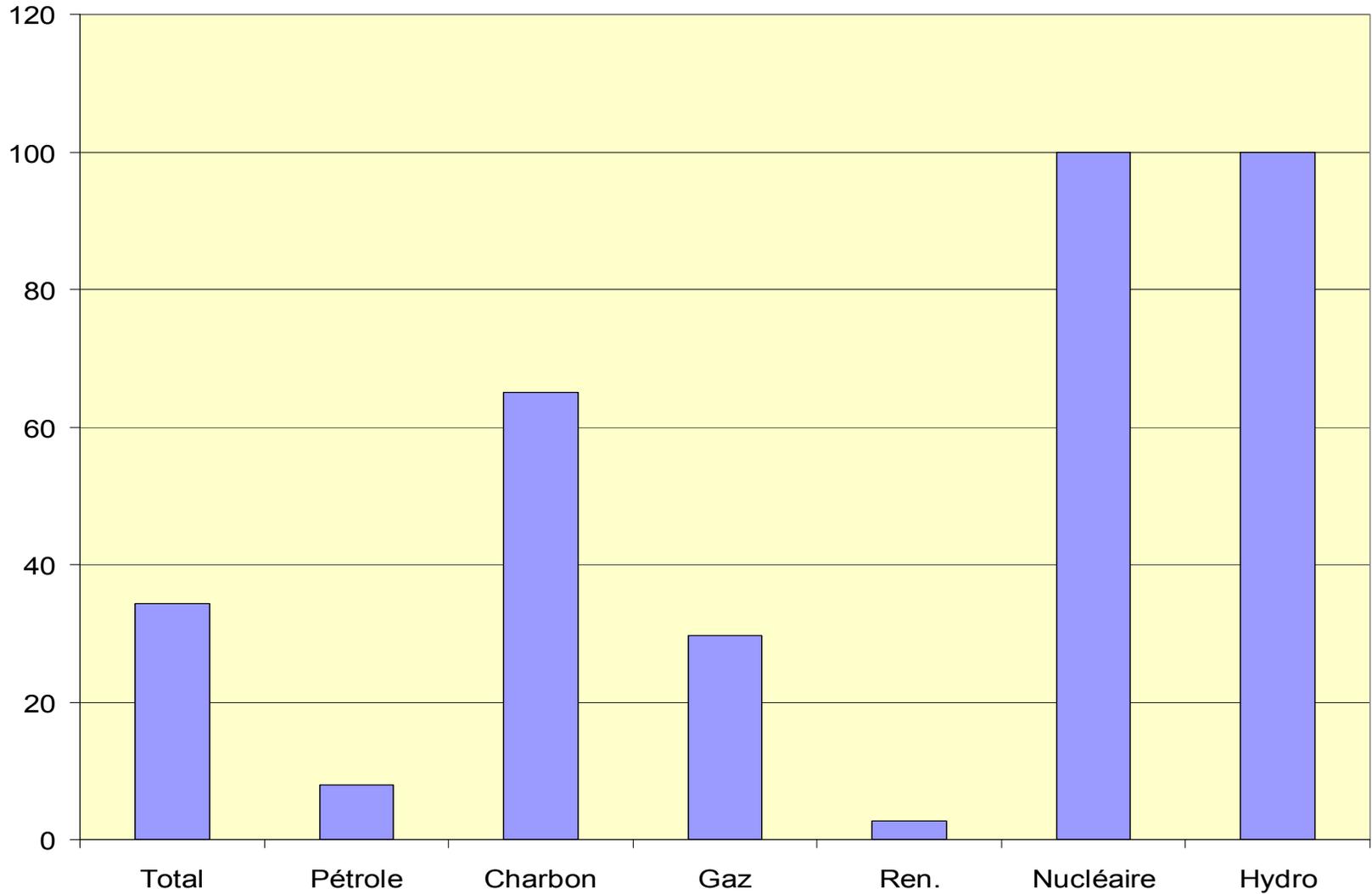
Unités

- 1 Tep=10034 Mcal = 42 GJ =11,7 Mwh
- 1 Tec= 7000 Mcal = 29 GJ = 0,69 Tep
- 1 Baril de pétrole(bbl)= 159 litres = 136 kg
- 10^9 BTU = 1055 GJ = 25 tep
- 10^6 m³ gaz naturel = 0,855 tep

TPES vs Electricité

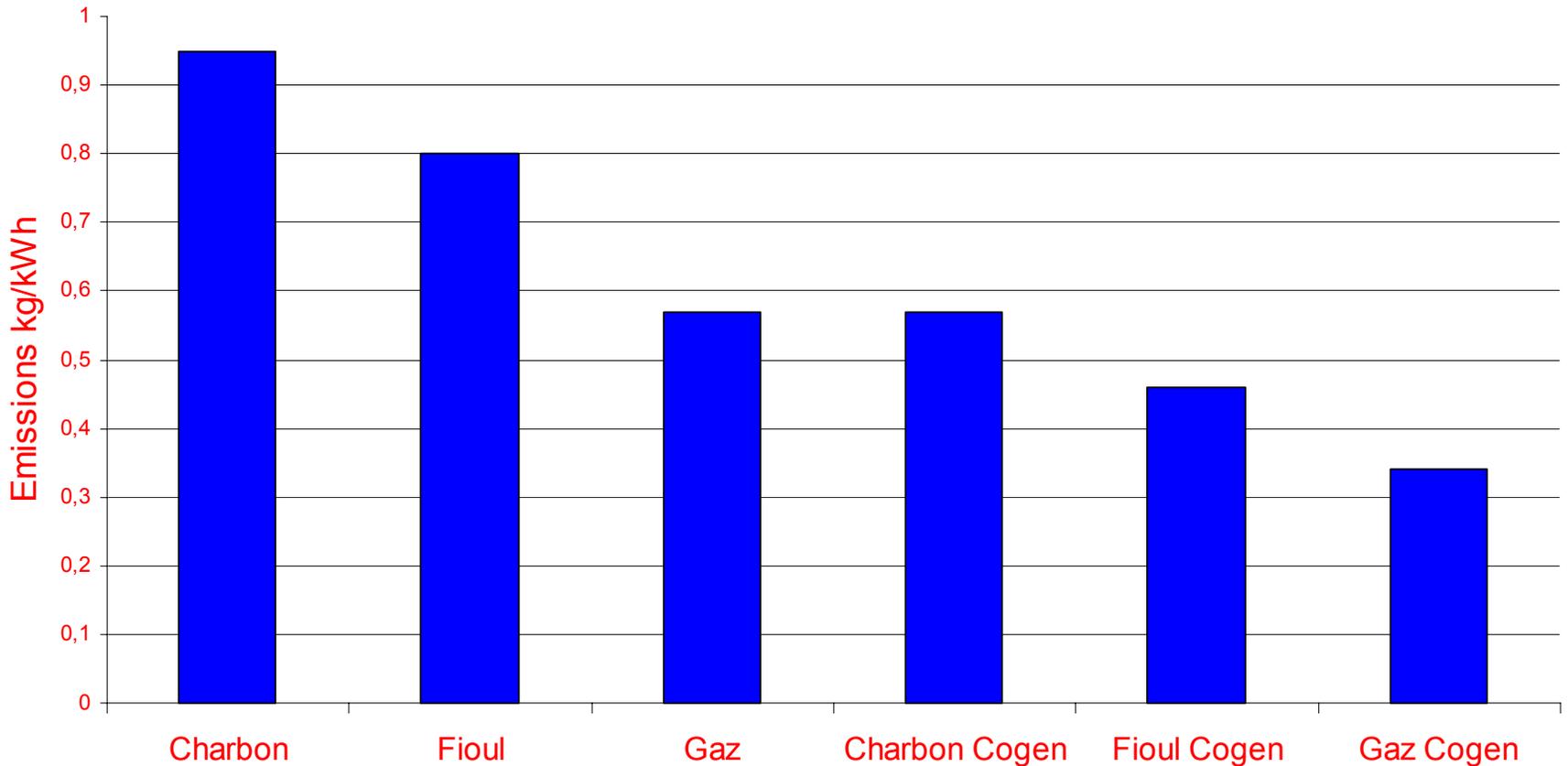


% électricité/technique



CO2 par combustibles fossiles

Emissions de CO2 pour la production d'énergie avec différents combustibles fossiles

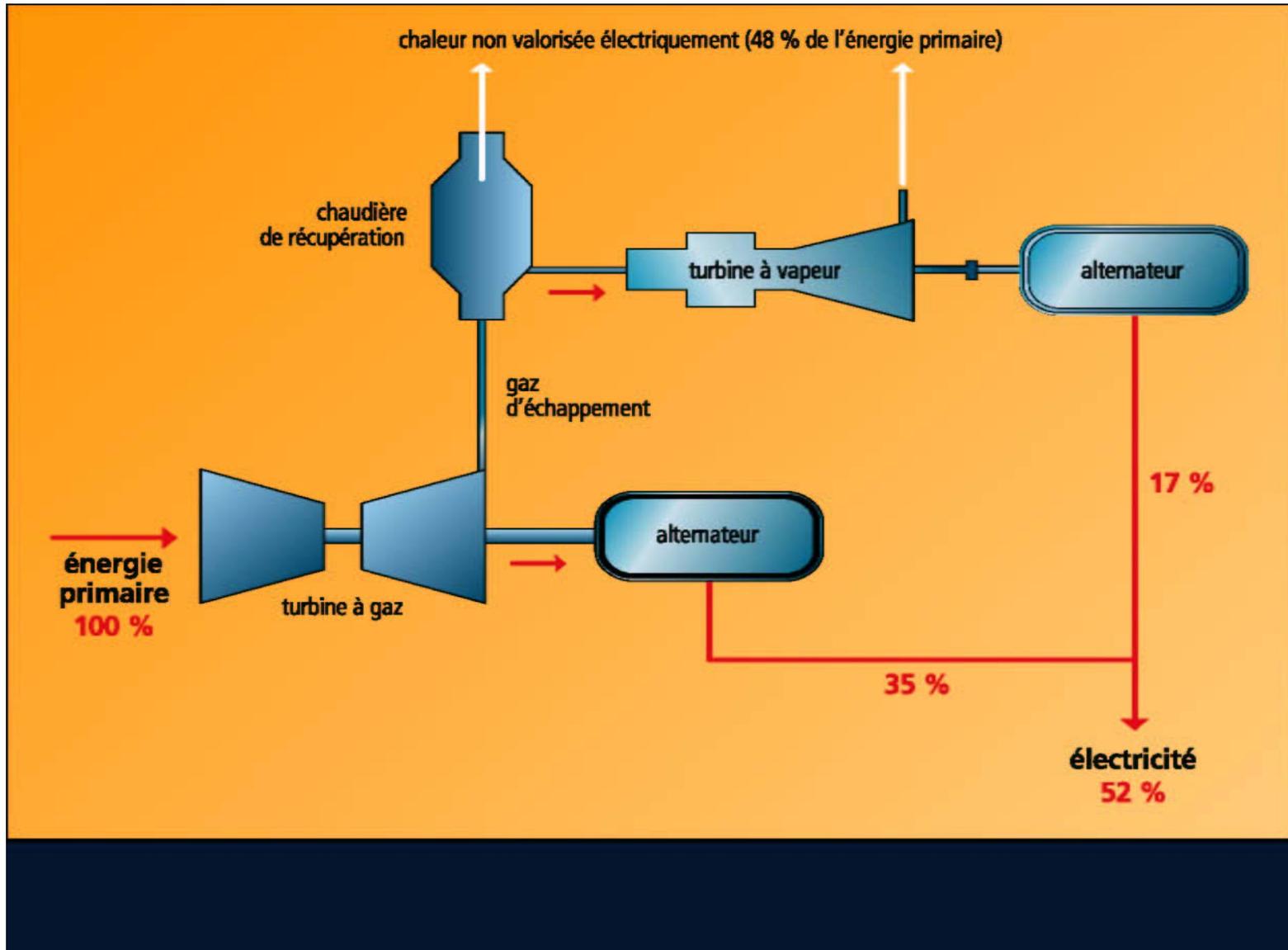


Le Gaz

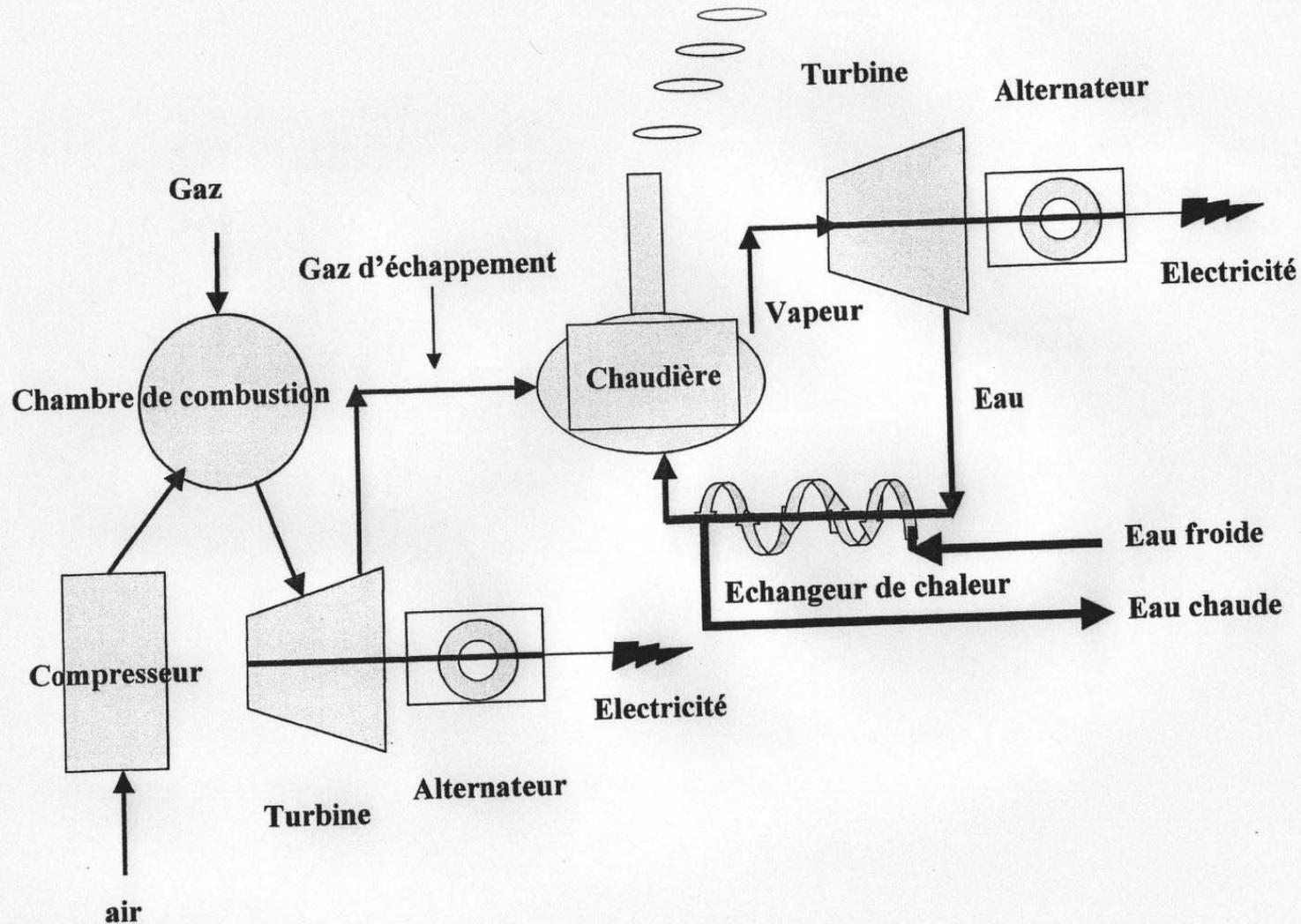
Transport du gaz

- Gazoducs:
 - 10 à 120 cm de diamètre
 - 105 bars, recompression
 - 1 millions de kms
- Méthaniers
 - Liquéfaction: -162 degrés.
 - 400 M€ pour 3,5 millions de tonnes
 - Navires cryo. 100000 tonnes=200 M€

Cycles combinés



Cycle Combiné à Gaz



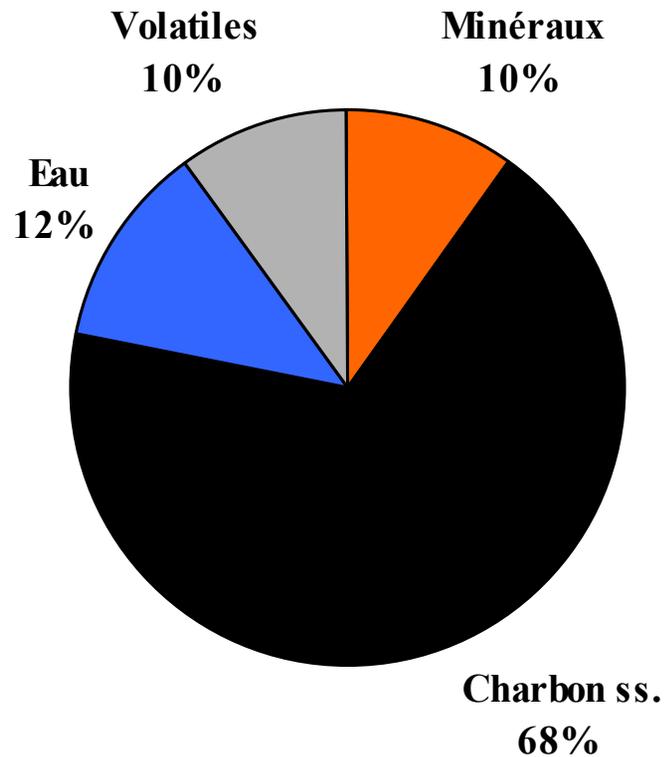
Le Charbon

- Les avantages:
 - Abondant
 - Bien réparti
 - Bon marché
- Les inconvénients
 - Polluants atmosphériques (SO₂, poussières)
 - Cendres radioactives
 - Rejets de CO₂

Usages du charbon

- Electricité: 60%
- Sidérurgie: 15%
- Cimenteries: 5%
- Chauffage et autres: 20%

Composition typique du charbon



Pouvoir calorifique charbon

- Pouvoir Calorifique Supérieur (kcal/kg)
 - $PCS=80C+340(H-O/8)+20S$ (% de masse)
- Pouvoir Calorifique Inférieur
 - $PCI=PCS-(67H+6Tm)$ Tm humidité en %
 - Chaleur latente H₂O=600 kcal/kg

Types de charbon

| | Tourbe | Lignite | Flambant sec | Flambant gras | Gras | Anthracite |
|-----------------------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------|------------|
| Pouvoir calorifique kcal/kg | 1000-1500. | 3500-4500 | 4500-6500 | 6500-7800 | 6500-7800 | 7800-8500 |
| | | | | | | |
| Humidité % | >50% | 25-50% | 14-25% | 5-10% | 5-10% | 1-6% |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Teneur en cendres | 50%. | 30-50% | 20-30% | 10-20% | 10-20% | 0-10% |

Réserves de charbon

| Unité = Gt | | Charbon | Lignite | Total |
|--|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Réserves (source IEA 2000) | | | | |
| | Amérique du Nord | 116 | 139 | 256 |
| | Amérique du sud et centrale | 8 | 14 | 21 |
| | Europe centrale | 41 | 80 | 122 |
| | Ex URSS | 97 | 132 | 230 |
| | Moyen Orient | 0,2 | 0 | 0,2 |
| | Afrique | 61 | 0,2 | 61 |
| | Australie | 47 | 43 | 90 |
| | Chine | 62 | 52 | 114 |
| | Autres Asie Pacifique | 75 | 12 | 87 |
| Total Monde Mt. Métriques brutes | | 509 | 474 | 984 |
| Ressources million tonnes métriques brutes | | 5508 | 1160 | 6668 |
| Ratio réserves/ressources | | 9% | 41% | 15% |

Pays exportateurs

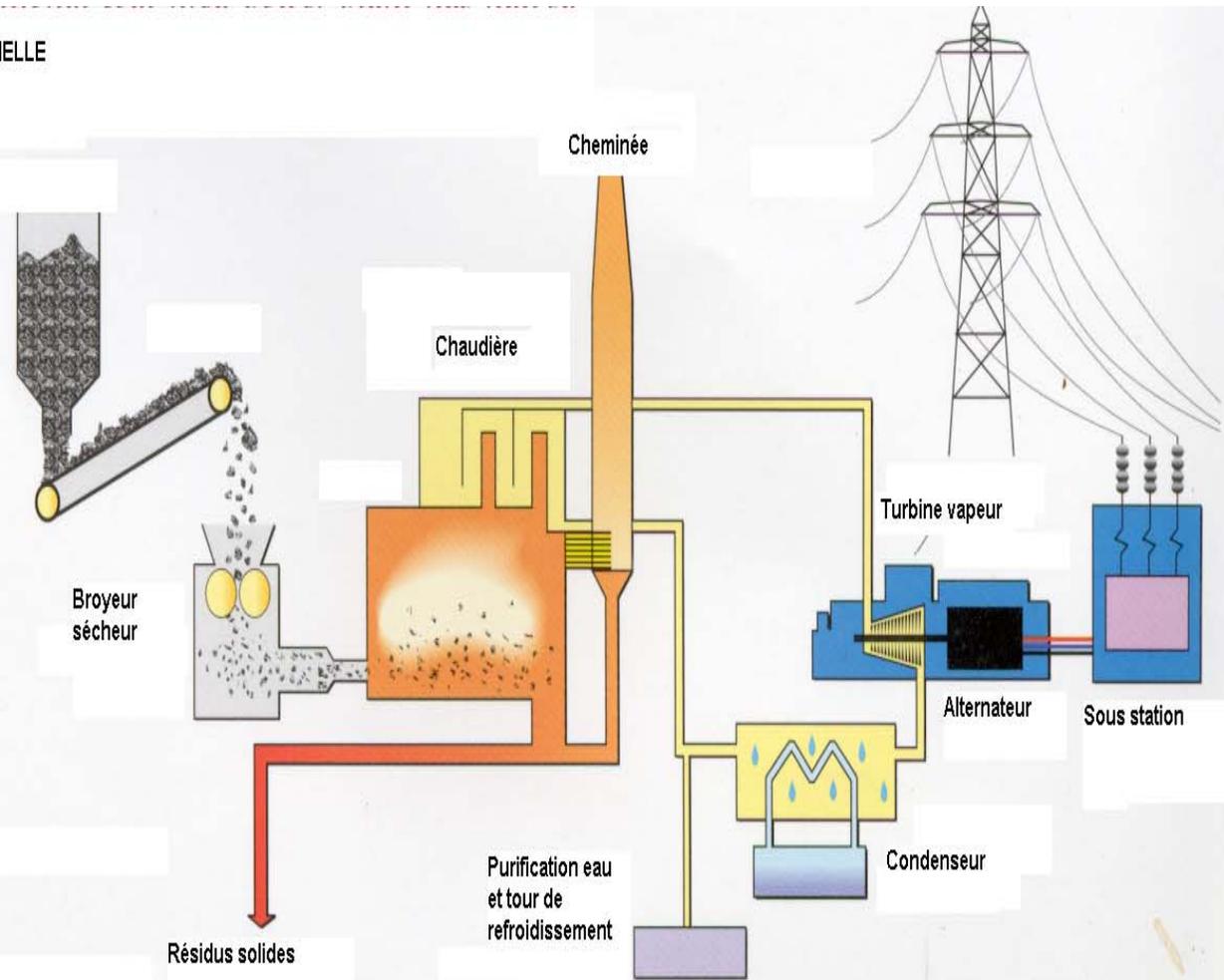
| Mt | Importateurs | Europe | Japon | Autre Asie | Amérique | Total Monde |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Exportateurs | | | | | | |
| Australie | | 29,7 | 78,5 | 53,8 | 2,2 | 171,6 |
| RSA | | 42,8 | 3,1 | 14,8 | 2,2 | 66,2 |
| Canada | | 6,3 | 14,3 | 8 | 3,1 | 33,7 |
| Indonésie | | 7,3 | 13,2 | 28,9 | 3,2 | 54,1 |
| Colombie | | 19,6 | 0 | 0 | 6,5 | 29,6 |
| Total | | 105,7 | 109,1 | 105,5 | 17,2 | 355,2 |

Détail des coûts

| Prix de revient du charbon vapeur exporté | | | | |
|--|-------|-----------|-----|----------|
| | | Australie | RSA | Colombie |
| Coût direct mine | | | | |
| | Mini | 10 | 12 | 17 |
| | Maxi | 30 | 17 | 25 |
| | Moyen | 22 | 15 | 21 |
| Amortissements | | 5 | 4 | 4 |
| Coût complet mine | | 27 | 19 | 25 |
| Transport terrestre | | 4 | 6 | 4 |
| Coût portuaire | | 2 | 2 | 3 |
| Coût direct FOB | | 28 | 23 | 28 |
| Coût complet FOB | | 33 | 27 | 32 |
| Fret vers Europe | | 14 | 10 | 7 |
| Fret vers Japon | | 8 | 12 | 10 |
| Fret vers USA | | 10 | 11 | 4 |
| Coût CIF Europe | | 47 | 37 | 39 |
| Coût CIF | | | | |
| Japon | | 41 | 39 | 42 |
| Coût CIF USA | | 43 | 38 | 36 |
| | | | | |
| | | | | |

Centrale Charbon Conventiennelle

CENTRALE PCI CONVENTIONNELLE
(source World coal Institute)



Le charbon propre

SO₂:

- charbon à faible taux de S ou
- Réaction avec la chaux (production d'un sulfate)

NO_x:

- Températures de flamme < 1300 d° (Lit fluidisé)

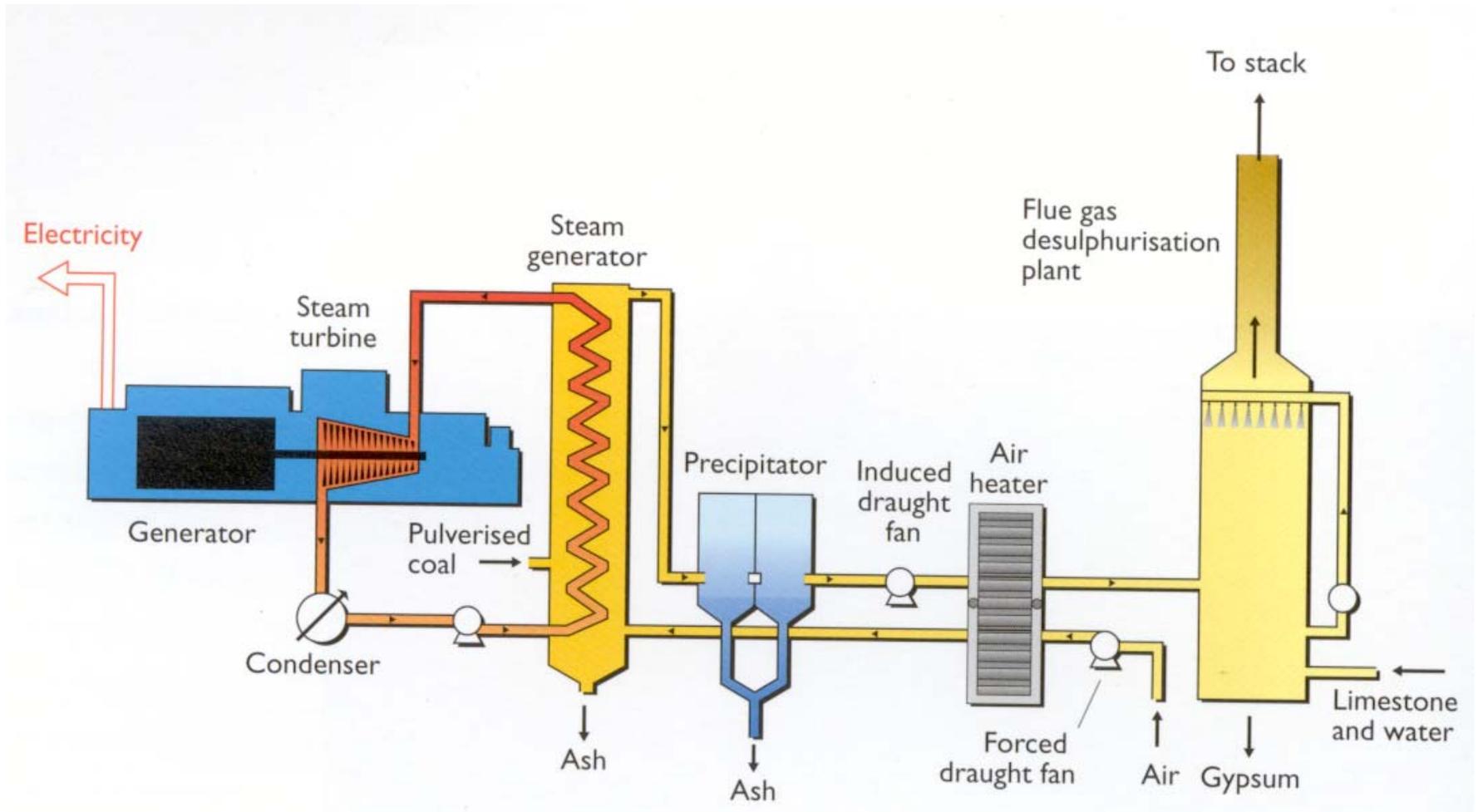
Poussières:

- Filtres

Procédés

- Injection de charbon pulvérisé (PCI) : flamme 1400 d°. Standard
- Lits fluidisés: flamme 900 d°. Propres
- Gazéification: réaction vers 1500 d° avec air (oxygène) et eau. Production d'un mélange H₂, CO, CO₂
- Liquéfaction. Production de combustibles liquides pour environ 25\$/baril. Par exemple Fisher-Tropsch

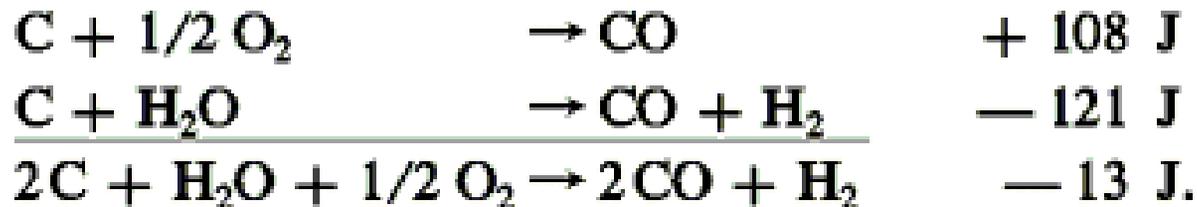
Centrale avec désulfuration



Procédés 2

Gaz de synthèse:

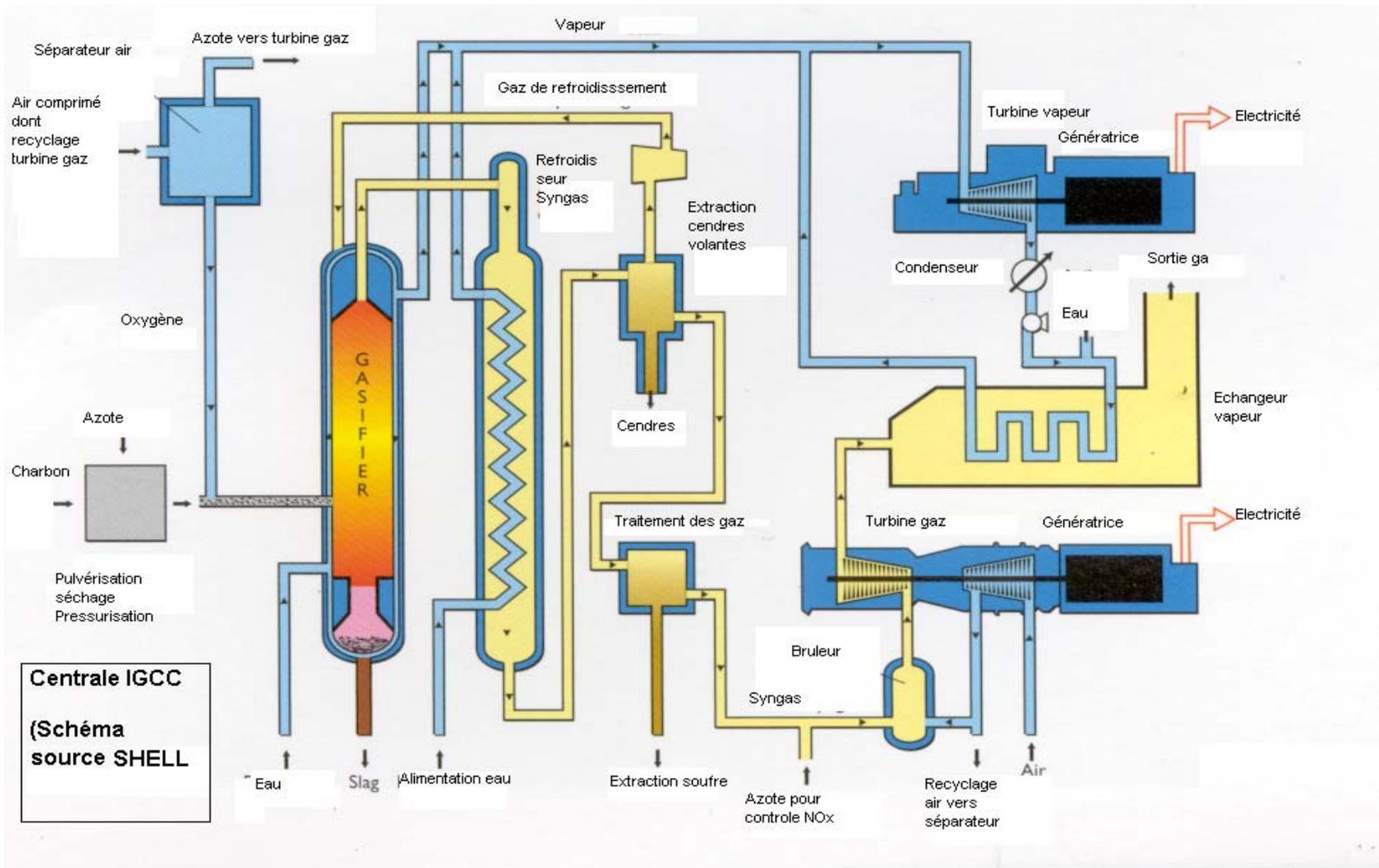
exemple (dépend du mélange O₂+H₂O)



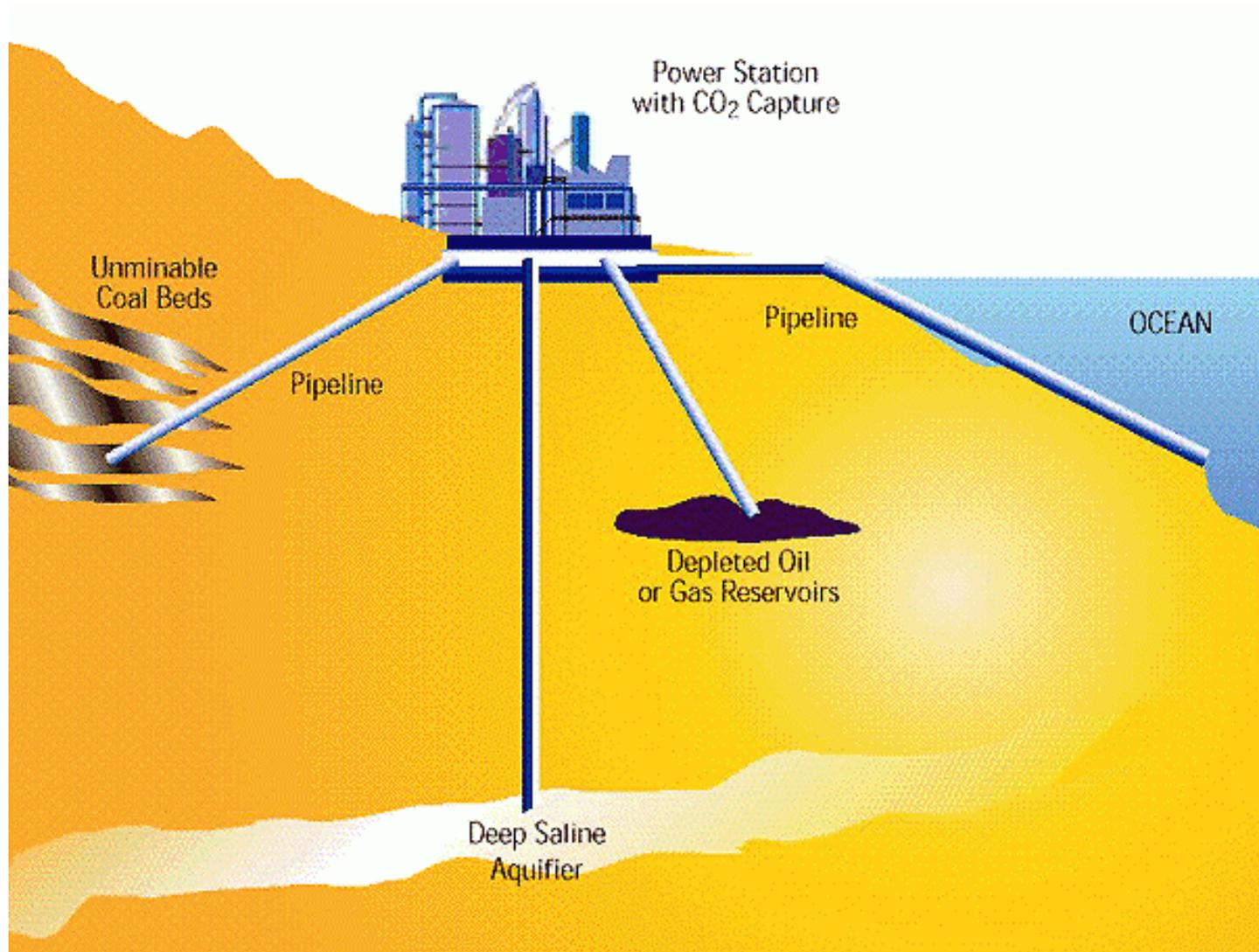
Fischer-Tropsch: catalyseurs Fe ou Co



Centrale cycle combiné gazéification intégrée



I. Capture et stockage du CO₂



Fossiles sans CO₂

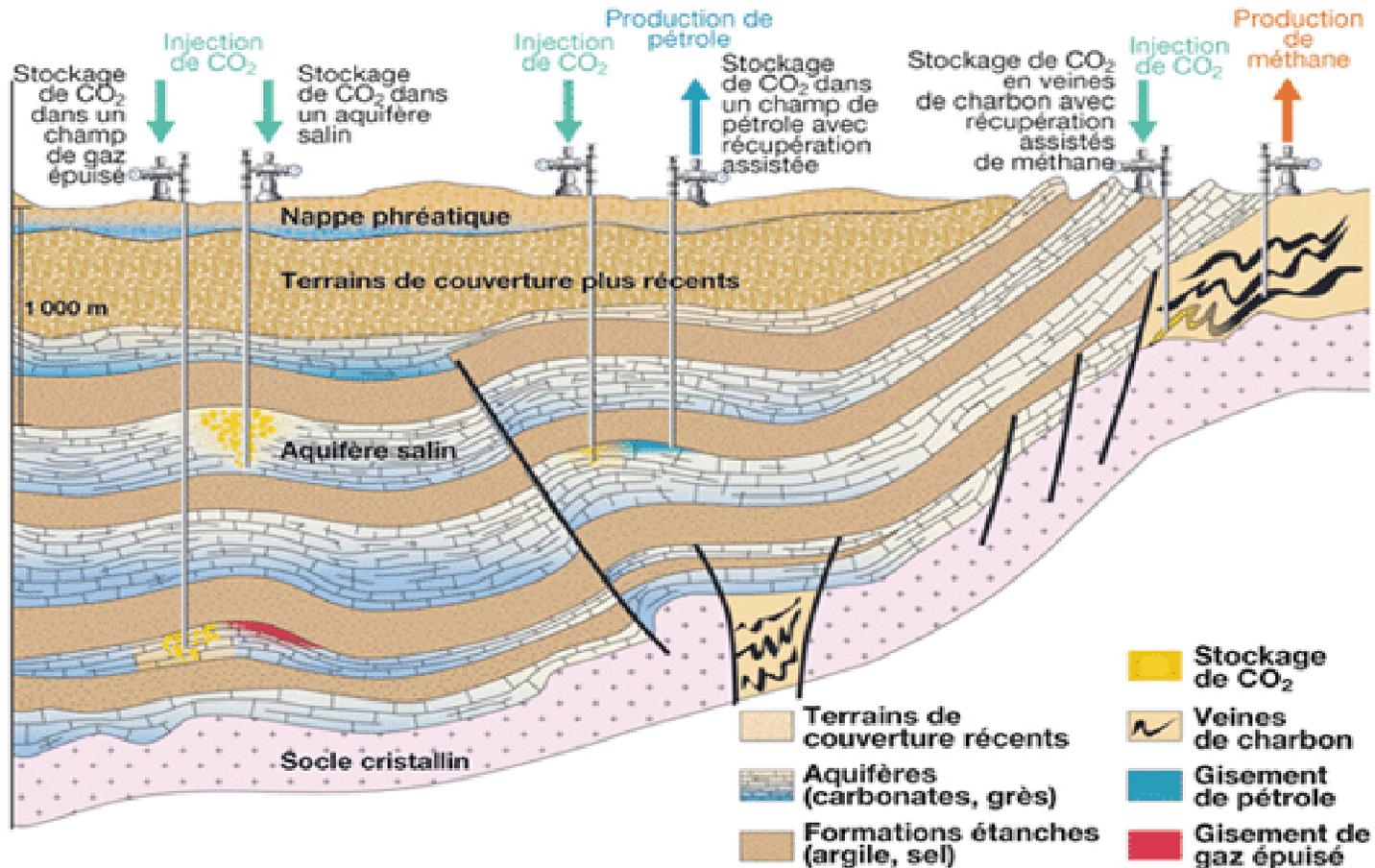
- Capture du CO₂
 - Post-combustion $C+O_2 \rightarrow \underline{\underline{CO_2}} + \text{Energie}$
 - Pré-combustion $C+H_2O \rightarrow H_2+CO$
 - $H_2+1/2O_2 \rightarrow H_2O + \text{Energie}$
 - $CO+1/2O_2 \rightarrow \underline{\underline{CO_2}} + \text{Energie}$
 - Elimination du N₂ avant (oxy-combustion)
- Séquestration
 - Anciens gisements pétroliers et gaziers (250 Gt?)
 - Anciennes mines de charbon (5 GtC)
 - Nappes salines aquifères (250 GtC?)

Fossiles sans CO2

- Deux expériences: **Sleipner, Weyburn**
- Surconsommation énergétique: **8 à 15%** (MEDD)
- Surcoût kWh: **50 à 100%** (Charbon pulvérisé), **35 à 50%**(gaz)
- Surcoût investissement: **80 %** (Charbon pulvérisé), **100%**(gaz)

Type de stockage

Les différents types de stockage géologique



Source : brochure IFP-Ademe-BRGM, et copyright BRGM-im@gé

Captage stockage Lacq

Pilote CO₂

