Combustibles fossiles, hydrocarbures et charbon

Résumé

Cette partie présente la formation des combustibles fossiles, le fonctionnement des systèmes pétroliers, les méthodes d'exploration et d'exploitation ainsi que leurs principaux enjeux économiques et environnementaux.

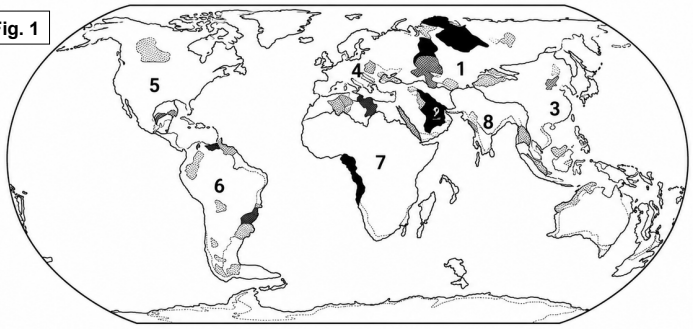
Mots-clés

kérogène • roche mère • pétrole • gaz naturel • charbon • système pétrolier • exploration • réserves

Plan de la partie

CM 3	**Genèse des combustibles fossiles et systèmes pétroliers** Matière organique sédimentaire et conditions de préservation • Roches mères et principaux types de kérogène • Diagenèse, catagenèse et métagenèse • Maturité thermique, fenêtres à huile et à gaz • Pétrole, gaz naturel et condensats : composition et propriétés • Migration primaire et migration secondaire • Roches réservoirs : porosité, perméabilité et saturation • Roches couvertures et mécanismes d'étanchéité • Pièges structuraux, stratigraphiques et mixtes • Le système pétrolier : roche mère, réservoir, couverture, piège et synchronisme • Hydrocarbures conventionnels et non conventionnels • Charbonification : tourbe, lignite, houille et anthracite • Gaz de couche et autres ressources fossiles associées	**Jeudi 10 septembre** 11h15-12h45 · B114
CM 4	**Exploration, exploitation et enjeux des combustibles fossiles** Répartition mondiale des grands bassins pétroliers, gaziers et charbonniers • Démarche d'exploration : géologie de terrain, géophysique et géochimie • Sismique réflexion : principes et reconnaissance des structures • Forage d'exploration, carottage et diagraphies • Caractérisation pétrophysique des réservoirs • Ressources, réserves, incertitudes et facteurs de récupération • Production primaire, secondaire et récupération assistée • Exploitation des hydrocarbures non conventionnels • Exploitation du charbon : mines souterraines et à ciel ouvert • Transport des hydrocarbures : oléoducs, gazoducs, GNL et transport maritime • Raffinage du pétrole et principaux produits pétroliers • Histoire de l'industrie pétrolière et structuration des grandes compagnies • Grands acteurs, régions productrices et flux mondiaux • Enjeux économiques, géopolitiques et environnementaux	**Lundi 21 septembre** 14h45-16h15 · B007
TD 2	**Étude d'un système pétrolier : le bassin du Tarim** Lecture du contexte géologique et structural du bassin du Tarim • Interprétation de profils géologiques et sismiques • Identification des roches mères, réservoirs, couvertures et pièges • Reconstitution simplifiée de la subsidence et de l'enfouissement • Maturation thermique et chronologie de génération des hydrocarbures • Relations entre tectonique, migration et piégeage • Analyse du synchronisme entre génération, migration et formation des pièges • Estimation volumétrique des hydrocarbures en place • Passage des ressources en place aux réserves récupérables • QCM de synthèse sur les systèmes pétroliers	**Jeudi 24 septembre** 9h30-11h00 · B119

Fig. 1



1. Ex-URSS
2. Moyen-Orient et Afrique du Nord
3. Asie pacifique
4. Europe
5. Amérique du Nord
6. Amérique centrale et du Sud
7. Afrique sub-saharienne et Antarctique
8. Asie du Sud

Gisements de pétrole en milliards de barils (GBP).

- Moins que 1 GBP
- 1-20 GBP
- 20-40 GBP
- 40-80 GBP
- 80-160 GBP
- Plus que 160 GBP

Fig. 4.29 Situation des gisements de pétrole dans le monde. (Department of the Interior, US Geological Survey, 2000.)

Fig. 2

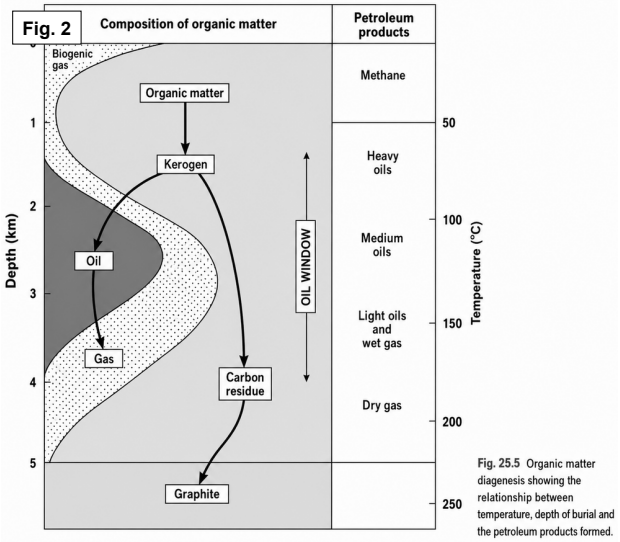


Fig. 25.5 Organic matter diagenesis showing the relationship between temperature, depth of burial and the petroleum products formed.

Fig. 3

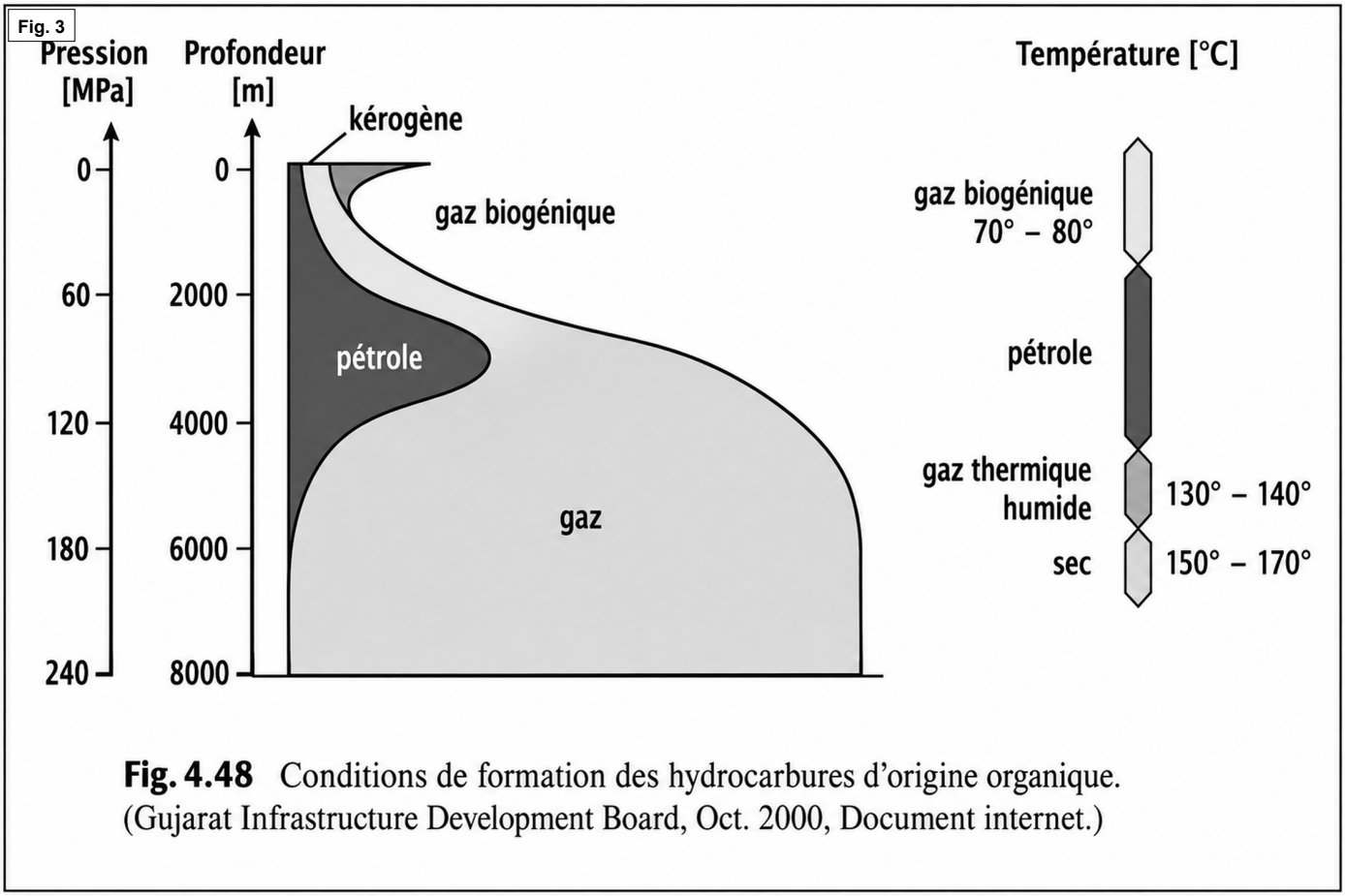
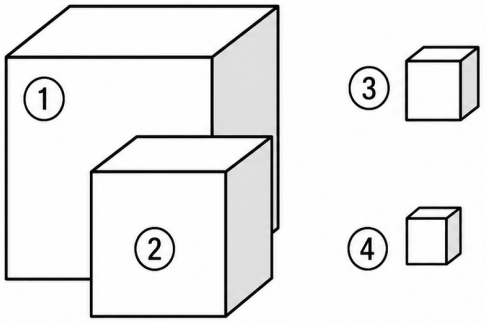


Fig. 4.48 Conditions de formation des hydrocarbures d'origine organique. (Gujarat Infrastructure Development Board, Oct. 2000, Document internet.)

Fig. 4



① ressources: 21 509 EJ (682 TWan/an)

② réserves: 6 186 EJ (196 TWan/an)

consommation mondiale 1999

③ total énergies primaires: 397,7 EJ (12,6 TWan/an)

④ pétrole: 145,6 EJ (4,6 TWan/an)

Fig. 5

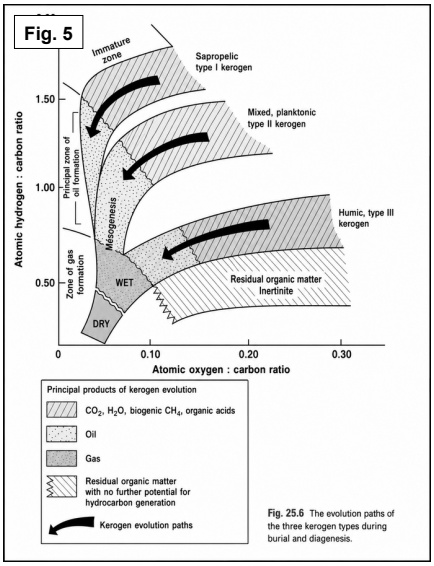


Fig. 25.6 The evolution paths of the three kerogen types during burial and diagenesis.

Fig. 4.28 Réserves et ressources de pétrole en 1999. (Source : [4.2].)

Fig. 6

25.3 The three types of organic matter that can give rise to petroleum showing some details of their chemistry, their precursors, their original environments and their principal petroleum products. Their evolution is shown in Fig. 25.5.

Kerogen type	H/C ratio	O/C ratio	Precursor	Environment	Petroleum product
I Sapropelic	High	Low	Freshwater algae	Lakes	High quality but waxy light oil
II Mixed planktonic	High	Intermediate	Marine algae and plankton	Marine	Low wax, medium and heavy oil, some gas
III Humic	Low	High	Spores, pollen, plant fragments	Swamps, nearshore marine	Mainly gas, some waxy oil

Fig. 7

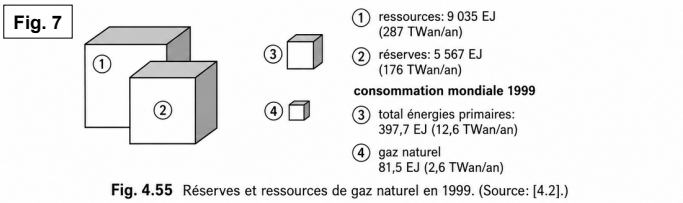


Fig. 4.55 Réserves et ressources de gaz naturel en 1999. (Source: [4.2].)

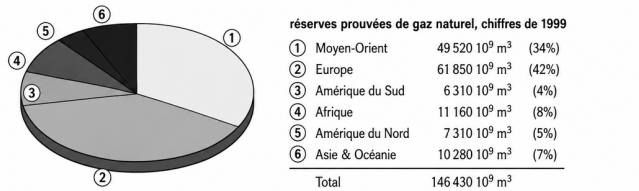


Fig. 4.56 Répartition géographique des réserves récupérables prouvées de gaz naturel en 1999. (Source: [4.3].)

Fig. 8

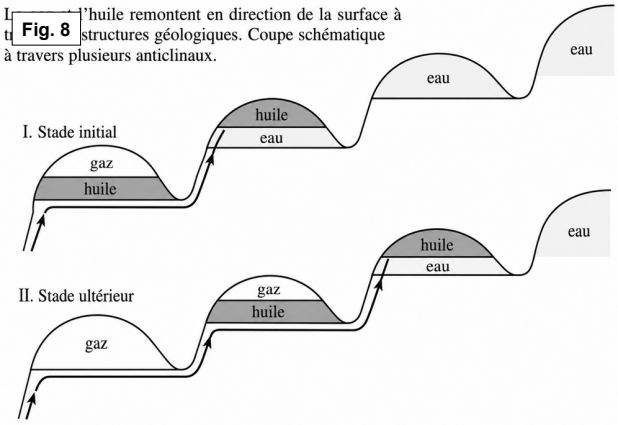


Fig. 4.49 Migration de l'huile et du gaz. (D'après [4.22].)

Fig. 9

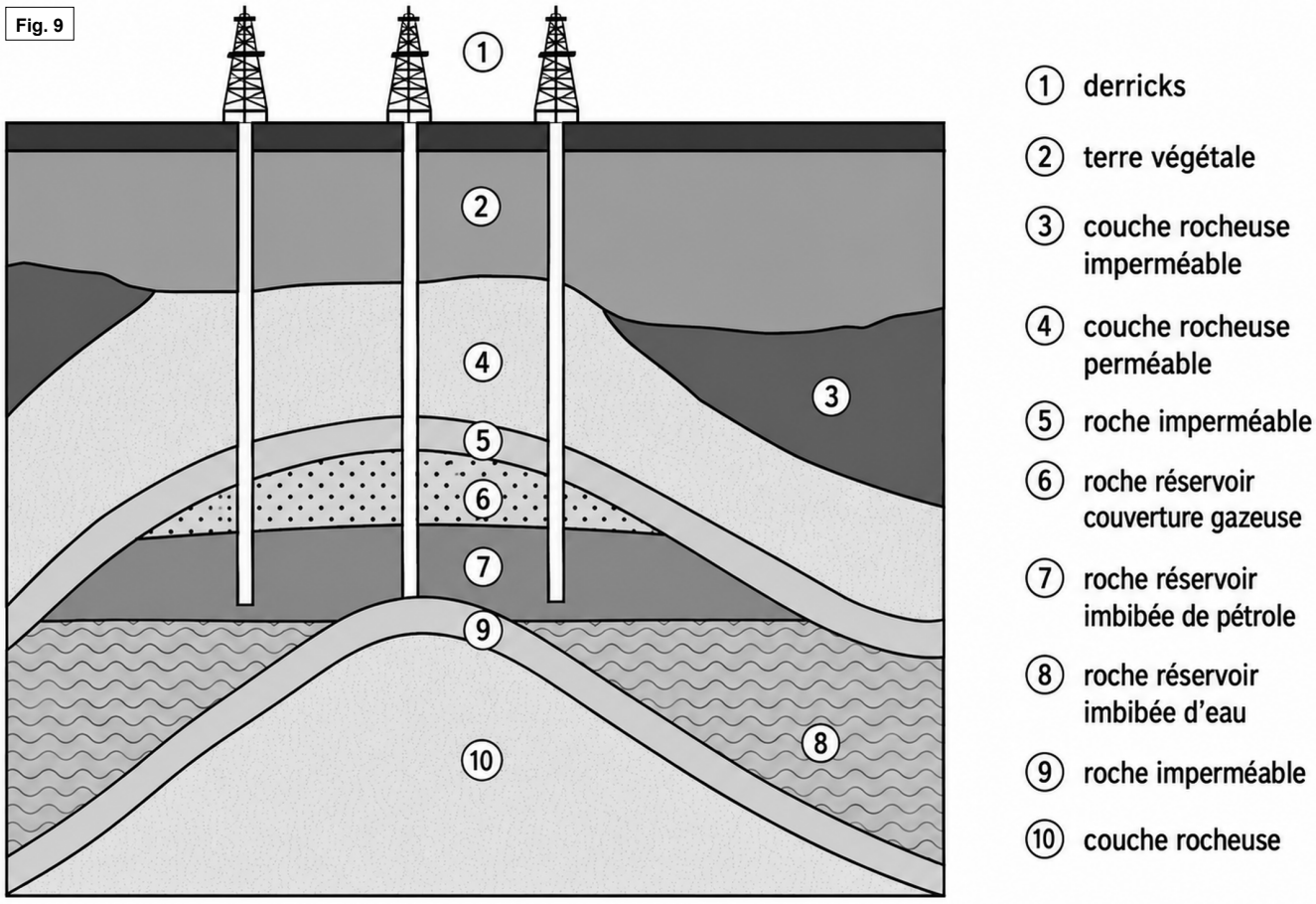


Fig. 4.37 Extraction de pétrole d'un gisement en surpression. (Source: IFP, 1999.)

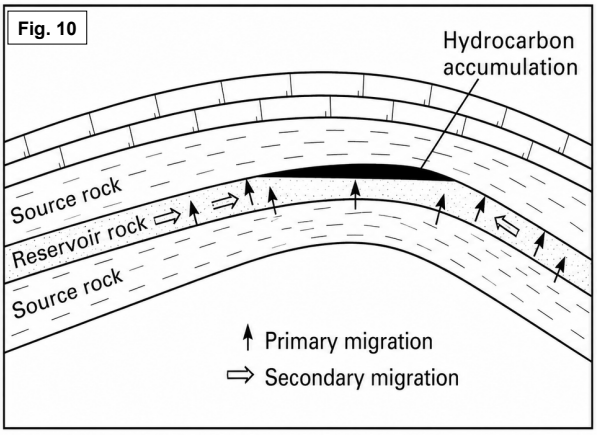


Fig. 25.7 Primary and secondary migration leading to the formation of an oil or gas pool in an anticline. The upper source rock —shale— is acting as a **cap rock**.

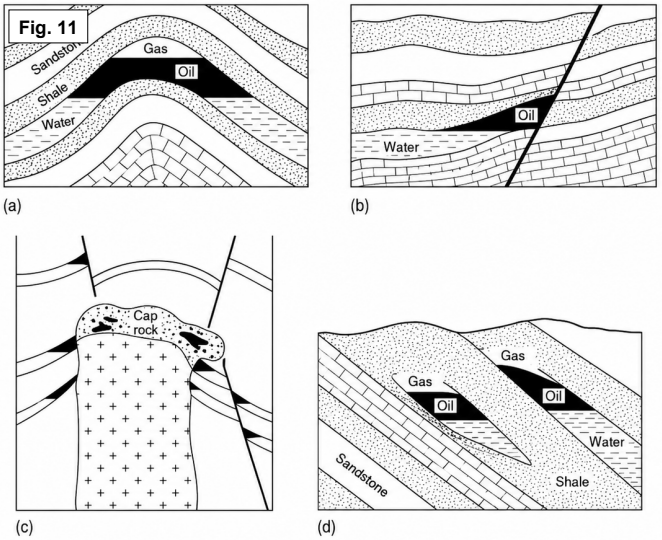


Fig. 25.8 Structural and stratigraphical oil traps. (a) Anticlinal trap developed in a sandstone reservoir in an open, asymmetrical fold. (b) Oil trapped by a fault seal. (c) Schematic diagram of salt dome traps, in supercap, cap rock and flank sandstones (abutting, fault sealed and pinch out). (d) Two types of stratigraphical traps. Right, sandstone wedge out; left, sandstone pinches out.

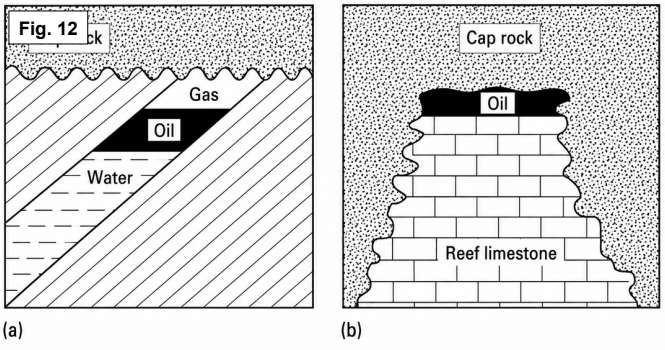


Fig. 25.9 (a) Unconformity trap. (b) Reef trap.

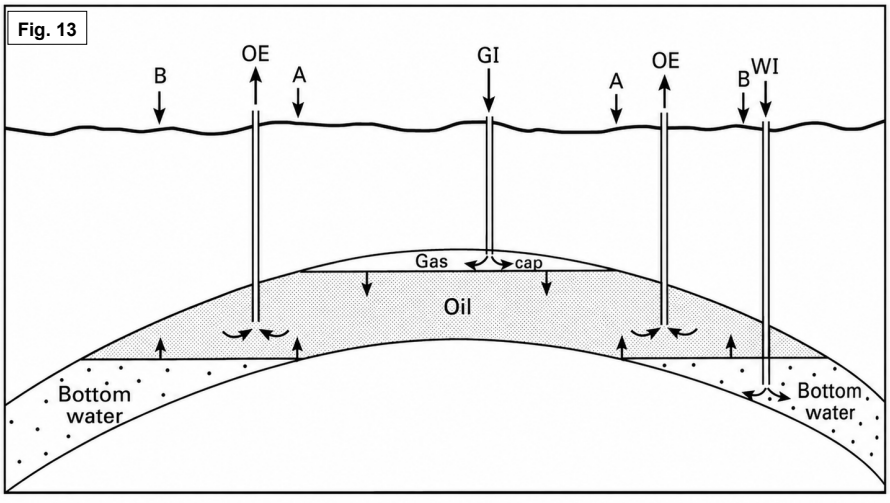
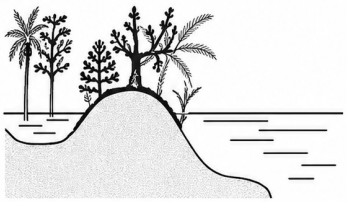


Fig. 25.11 An anticlinal trap from which oil is being drawn. The gas–oil and oil–water contacts will move during production so the producing wells must be drilled accordingly at sites OE. Wells at A would quickly go over to producing gas, whereas those at B would soon produce only water. The wells at OE would be expected to recover the last of the producible oil! OE, oil extraction wells; GI, a gas injection well; WI, a water injection well.

Fig. 14

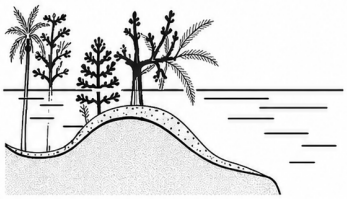
Premier temps:

D'énormes quantités de débris végétaux (bois, écorces, feuilles, spores, algues microscopiques) s'accumulent dans un site géologique propice sous une faible profondeur d'eau.



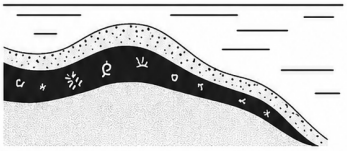
Deuxième temps:

A la suite d'un affaissement du sol, les débris végétaux sont recouverts par des dépôts terrigènes plus ou moins grossiers.



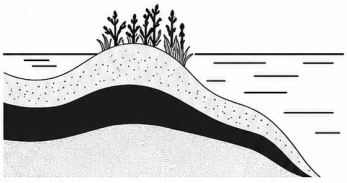
Troisième temps:

Ces dépôts s'accumulent et isolent les sédiments végétaux de l'atmosphère. A l'abri de l'air commence la fermentation de cette houille végétale.



Quatrième temps:

Lentement les sédiments végétaux s'enrichissent en carbone tandis que diminuent les autres substances. Sur la couche de dépôts terrigènes va se reconstituer une nouvelle végétation.



Le cycle recommence:

- développement de la forêt
- affaissement et sédimentation des débris végétaux
- dépôt d'alluvions stériles
- comblement de la lagune et reprise de la végétation

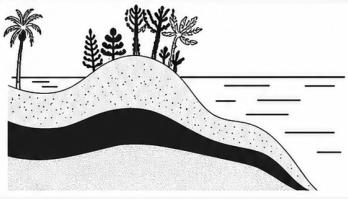


Fig. 4.2 Les étapes de la formation du charbon (d'après [4.5].)

Fig. 15

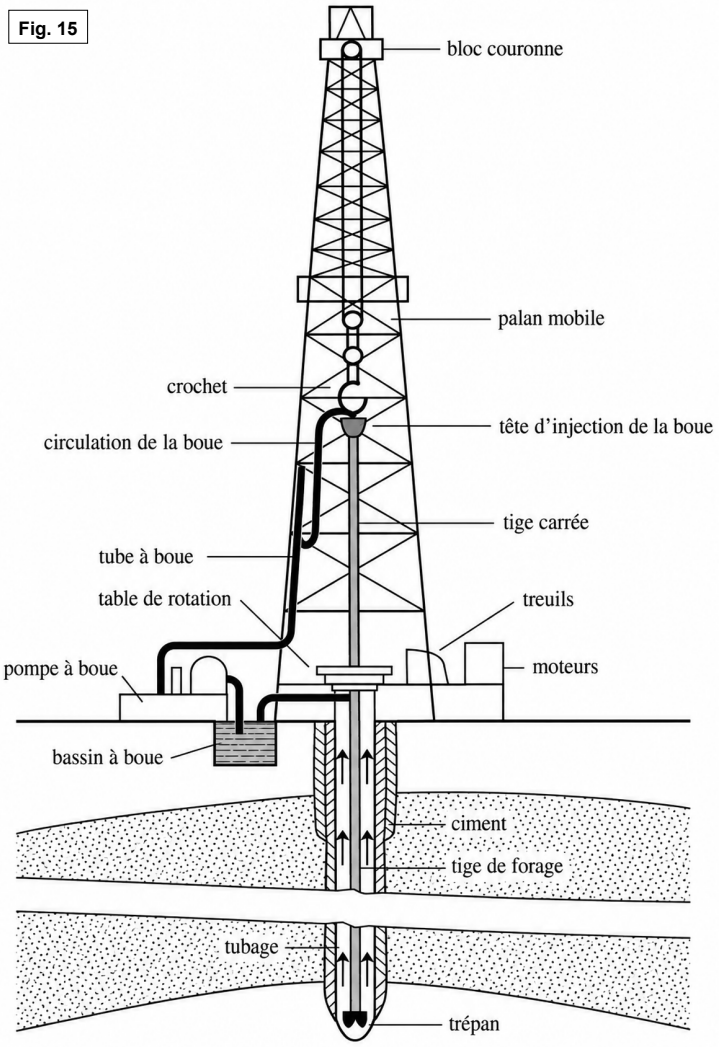


Fig. 4.33 Appareillage de forage (derrick).

Fig. 16

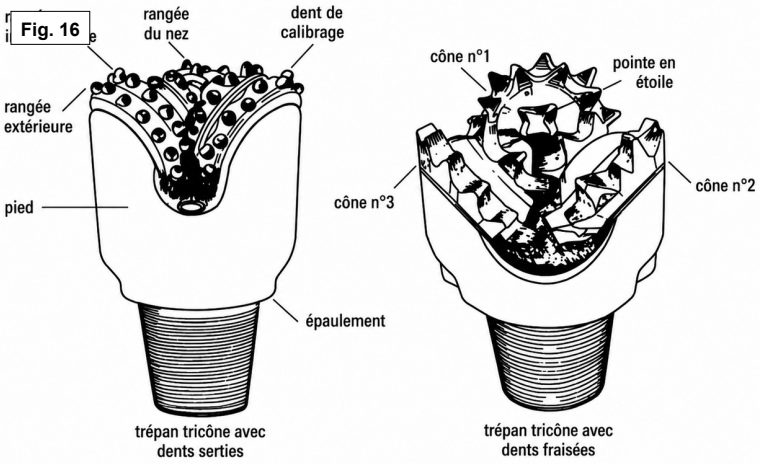
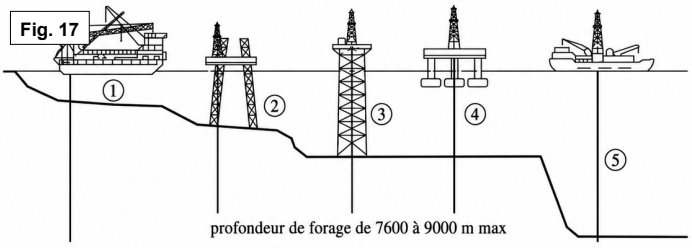


Fig. 4.34 Outils de forage (trépans). (Source : [4.10].)

Fig. 17



①	barge	(prof. de 3 à 15 m)
②	installation auto-élévatrice	(prof. env. 90 m)
③	plate-forme fixe	(prof. jusqu'à 90 m)
④	installation semi-submersible	(180 m généralement 300 à 450 m) nouvelle génération. prof. jusqu'à 1000 m exceptionnel
⑤	navire de forage	(prof. 180 m pour majorité, 300 à 450 m courant, théoriquement illimité)

Fig. 4.36 Principaux types de plates-formes de forage en mer. (Source : [4.10].)

Fig. 18

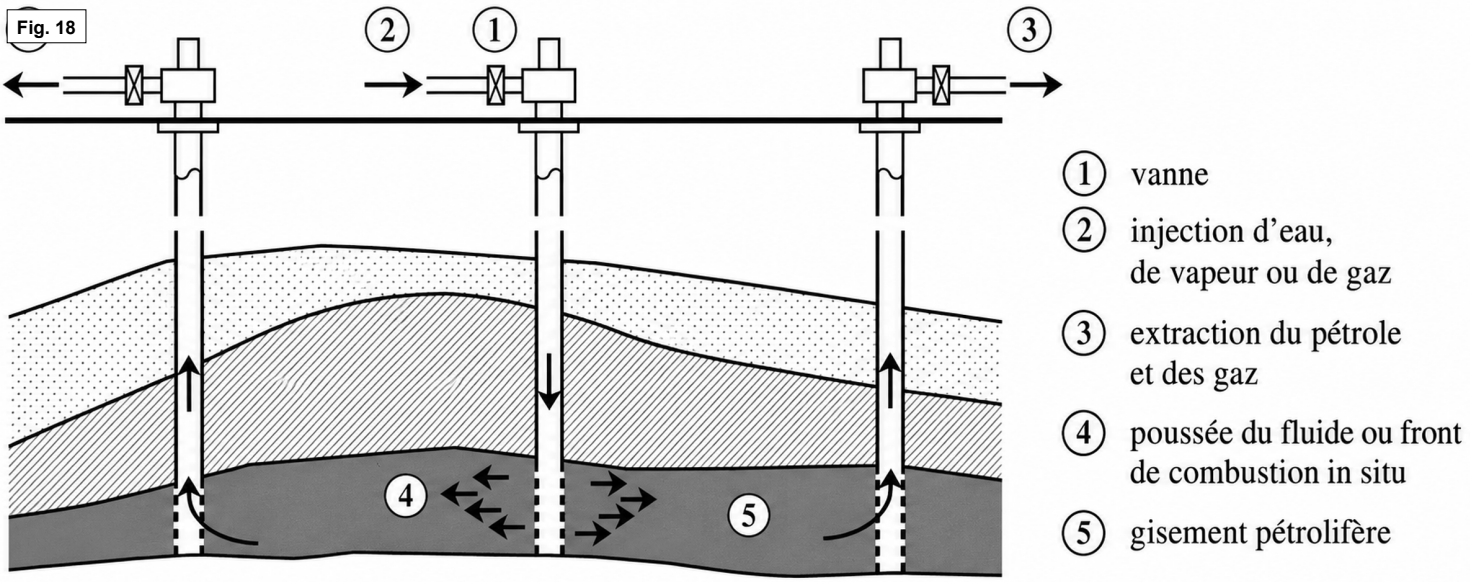


Fig. 4.38 Récupération secondaire du pétrole. (Source: IFP, 1999.)

Fig. 19

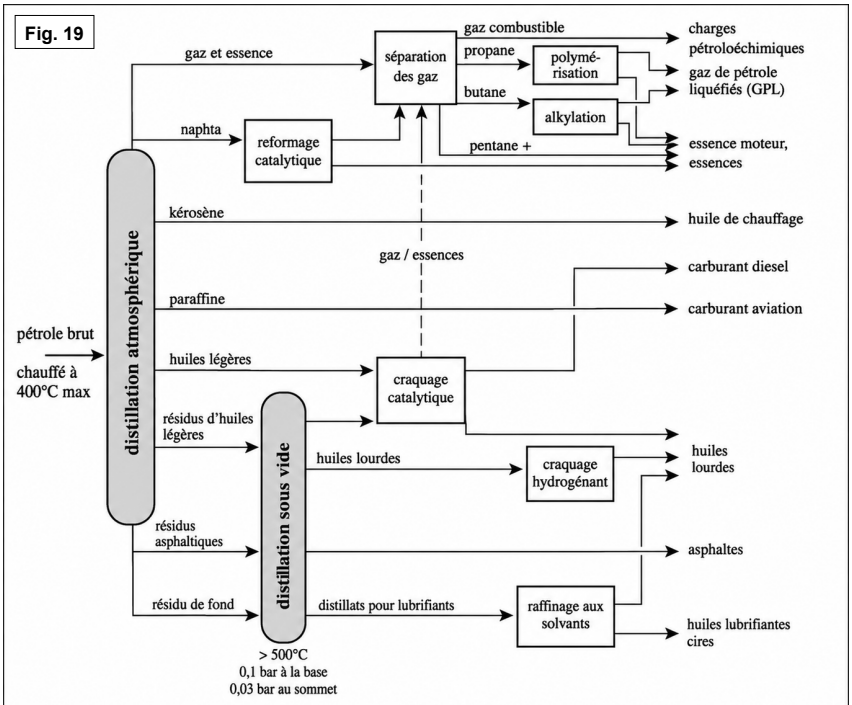


Fig. 4.40 Schéma du raffinage du pétrole. (Source : IFP, 1999.)

Fig. 20

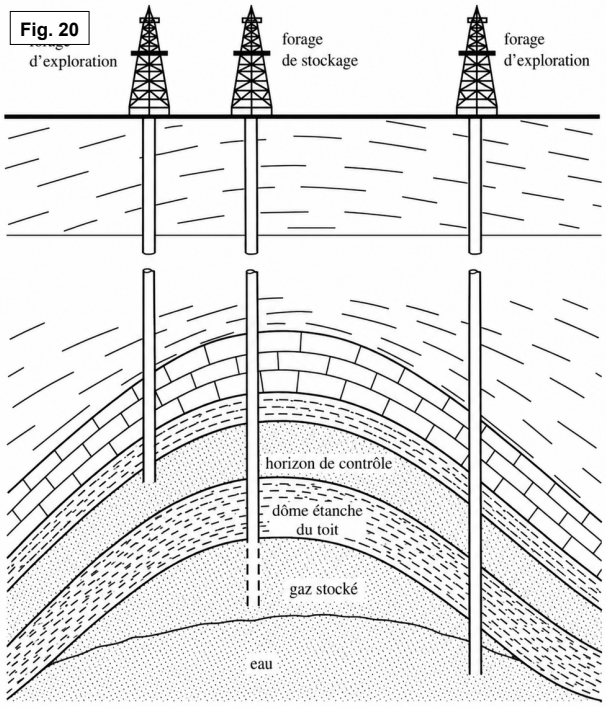


Fig. 4.68 Schéma d'un stockage en nappe aquifère. (D'après [4.22].)

Fig. 21

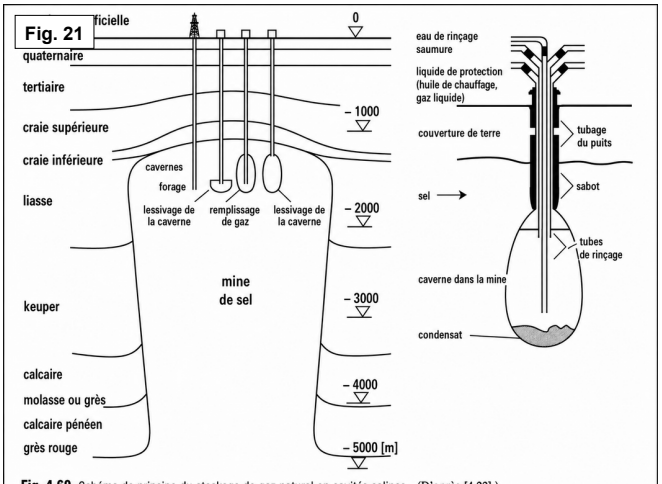


Fig. 4.69 Schéma de principe du stockage de gaz naturel en cavités salines. (D'après [4.22].)

Fig. 22

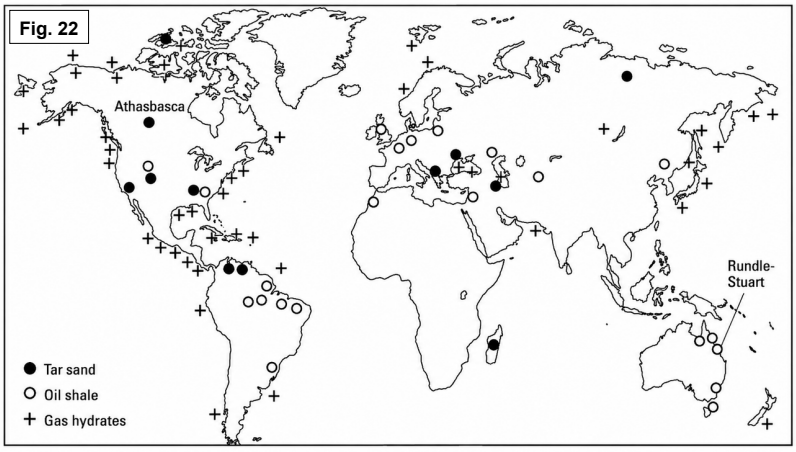


Fig. 25.13 World distribution of important tar sand and oil shale deposits, and the known occurrences of gas hydrates.