

I. Introduction :

Les hydrocarbures sont des composés organiques constitués de carbone et d'hydrogène. Ce sont les composés organiques les plus simples, et on peut considérer que les autres composés organiques en sont dérivés. Les hydrocarbures présentent une grande importance commerciale: on les utilise comme carburants, comme combustibles, comme huiles lubrifiantes et comme produit de base en synthèse pétrochimique.

II. Formation, migration et piégeage des hydrocarbures :

L'histoire du pétrole commence il y a plusieurs dizaines voire centaines de millions d'années, avec la mort d'organismes, qui une fois enfouis et accumulés, donneront dans des conditions bien particulières naissance aux hydrocarbures. Il faut bien insister sur le fait que cette formation est un phénomène tout à fait exceptionnel. Les réserves actuelles sont le résultat d'une série de longs processus successifs : accumulation de matière organique, préservation, enfouissement et sédimentation, puis formation de pétrole ou de gaz et migration. Au cours de cette longue histoire, les composés subissent de multiples transformations physiques et chimiques.

Nous traiterons ici surtout l'aspect géologique. Partons donc à la découverte de l'or noir...

1) **Formation :**

➤ **Origines de la matière organique :**

La matière organique est issue des êtres vivants: tous les végétaux et les animaux sont « construits » avec un ensemble de molécules principalement à base de carbone, d'azote et d'oxygène. A la surface de la Terre, la biomasse végétale représente plus de 90% de la biomasse totale : le rôle de la **photosynthèse** chez les végétaux est essentiel dans le cycle du carbone.

C'est le phytoplancton qui est l'élément majeur de concentration du carbone dans les océans.

Pollens, spores, algues, sont autant de constituants que l'on trouve dans les pétroles. De leur côté, les plantes continentales produisent aussi la cellulose et la lignine.

Issue de diverses molécules plus ou moins complexes (lipides, protides, glucides, mais aussi chlorophylle), la matière organique est très diversifiée et très fragile.

Pour aboutir à la formation d'hydrocarbures, elle devra donc trouver un milieu idéal, où la dégradation sera limitée, pour que l'accumulation et la sédimentation puissent avoir lieu.

Photosynthèse :

Processus chimique par lequel les végétaux, en utilisant l'énergie du soleil, transforment l'eau et le gaz carbonique en composés organiques.

Phytoplancton :

Ensemble des organismes du plancton appartenant au règne végétal, de taille très petite ou microscopique, qui vivent en suspension dans l'eau.

➤ **Préservation de la matière organique :**

Le milieu doit d'abord contenir beaucoup de matière organique : plus il y aura de production, plus les chances de préservation seront grandes. Dans les océans, le plancton ne vit que dans la première centaine de mètres de la tranche d'eau. Au delà, il n'y a plus assez de lumière pour que la photosynthèse ait lieu. Pour sédimenter, la matière organique doit atteindre le fond de la mer afin d'être enfouie et préservée.

Elle doit tout d'abord échapper à l'activité bactérienne, qui recycle la plupart des organismes dans la chaîne alimentaire. Or, les bactéries et les microorganismes sont présents dans les eaux, mais aussi dans les premiers 10 cm de sédiments.

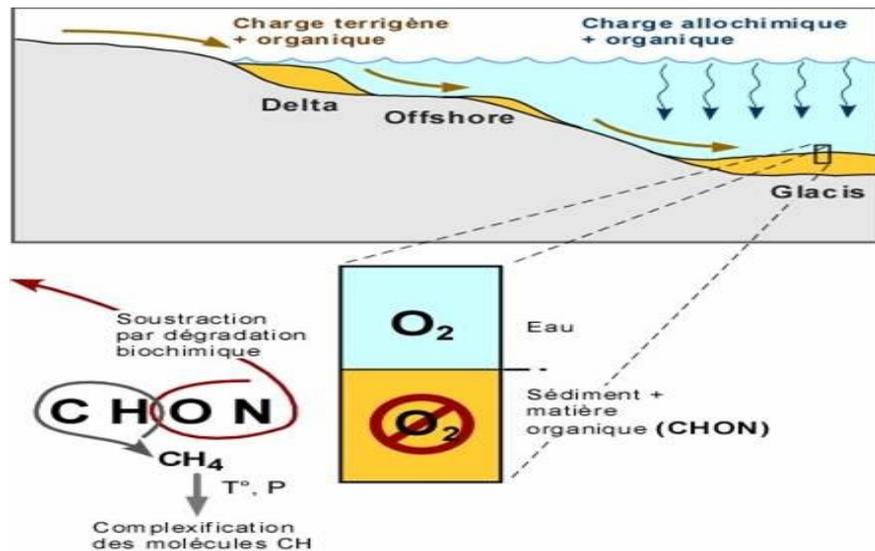
Seules quelques molécules miraculées atteignent ce stade dans un océan. Heureusement, certains milieux sont bien plus favorables à la préservation de la matière organique :

Ø les milieux anoxiques (très peu d'oxygène dissous), dans lesquels les tissus animaux et les produits organiques sont à l'abri des bactéries, quasi-inexistantes : un exemple actuel est la Mer Noire.

Ø les milieux où le taux de sédimentation est fort : les sédiments s'accumulent très vite, protégeant ainsi la matière organique enfouie.

Sédimentation :

Le sédiment de n'importe quelle matière qui peut être transportée par le mouvement d'un fluide et qui est éventuellement déposé comme une couche de particules solides sur le lit ou fond d'un cours d'eau ou d'autre liquide.



Il y a deux sources principales de sédiments dans un bassin océanique: la charge terrigène provenant de l'érosion des continents, qui se dépose d'abord sur les deltas et est ensuite dispersée sur le plateau continental où elle se dépose préférentiellement dans la partie offshore du plateau, puis finalement apportée au pied du talus **sur** le glacis continental; la charge allochimique provenant du bassin même, principalement de la couche de plancton.

Enfin, les roches dans lesquelles s'accumule la matière organique doivent être le plus imperméables possible, donc de porosité faible : les argiles sont de bons candidats (roches très fines) alors que les grès ne préserveront pas la matière organique (porosité trop grande).

On appelle roche mère une roche fine qui, ayant accumulé de la matière organique, est susceptible de générer des hydrocarbures. La matière organique insoluble de la roche mère est nommée kérogène.

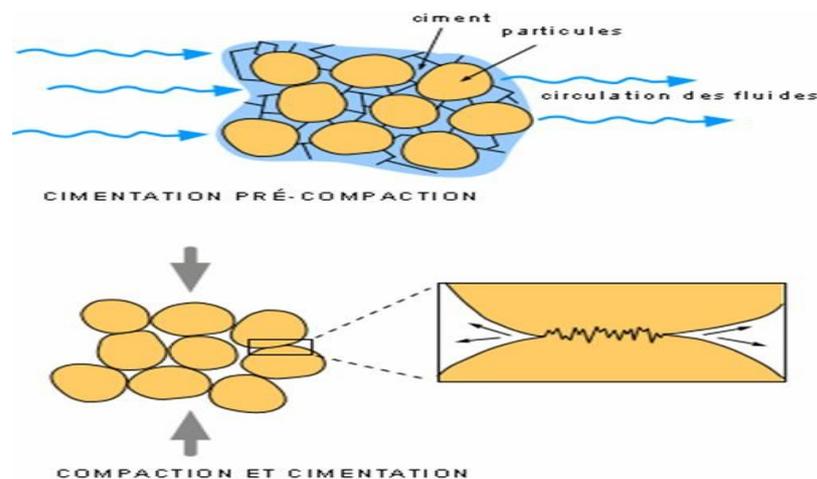
➤ Maturation de la matière organique :

Selon son origine continentale, marine, ou lacustre, le kérogène ne possède pas la même composition. Cependant, une fois dans la roche mère, il subira le même sort quelle que soit sa provenance : enfouissement et maturation, en 3 étapes :

La première étape de la transformation du kérogène s'appelle la diagenèse. Les processus de diagenèse sont variés et complexes : ils vont de la compaction du sédiment à sa cimentation, en passant par des phases de dissolution, de recristallisation ou de remplacement de certains minéraux. Le processus diagénétique qui est principalement responsable du passage de sédiment à roche est la cimentation. Il s'agit d'un processus relativement simple : si l'eau qui circule dans un sédiment, par exemple un sable, est sursaturée par rapport à certains minéraux, elle précipite ces minéraux dans les pores du sable, lesquels minéraux viennent souder

ensemble les particules du sable; on obtient alors une roche sédimentaire qu'on appelle un grès. Le degré de cimentation peut être faible, et on a alors une roche friable, ou il peut être très poussé, et on a une roche très solide. La cimentation peut très bien se faire sur le fond marin (diagenèse précoce), mais il est aussi possible qu'il faille attendre que le sédiment soit enfoui sous plusieurs centaines ou même quelques milliers de mètres de matériel (diagenèse tardive).

➤ **Quelques étapes de la diagenèse :**

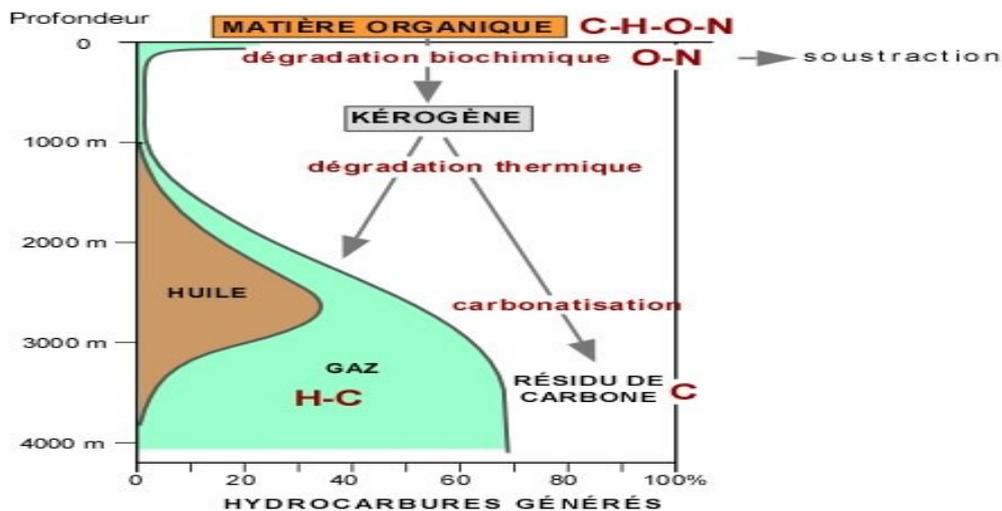


Vient ensuite la catagenèse. Cette seconde étape correspond à des profondeurs supérieures et à des températures de l'ordre de 60 à 120°C. : il y a craquage thermique. Les composés se scindent en molécules de plus en plus petites au fur et à mesure de l'enfouissement. La formation de pétrole proprement dit a lieu à ce moment, dans les conditions dites de « la fenêtre à huile ».

La métagenèse est la phase ultime de l'évolution d'un kérogène. C'est le stade de la formation du gaz sec (méthane), par craquage du pétrole. On parle de « fenêtre à gaz », située à partir de 3000 mètres de profondeur.

A mesure de l'empilement des sédiments et donc du déroulement successif de ces trois étapes sur le plancher océanique (ce qui se mesure en milliers de mètres), les molécules qui forment le kérogène sont amenées à des températures et pressions de plus en plus élevées; c'est l'enfouissement. A partir d'ici, les molécules vont devenir de plus en plus complexes. La dégradation passera de « biochimique » (régie par les bactéries) à « thermique » (régie par l'augmentation de température).

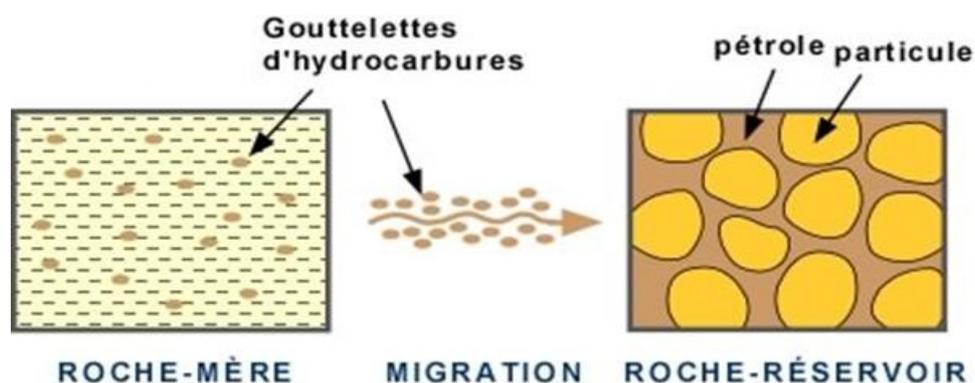
Nos hydrocarbures sont ainsi formés, au terme de l'intervention des deux principaux facteurs : la température et le temps. Mais à ce stade, ils ne présentent aucun intérêt direct puisqu'ils restent répartis dans la roche mère !



Ce schéma résume ce qui se passe à mesure de l'enfouissement et à quelle profondeur se forme l'huile et le gaz.

2) Migration des hydrocarbures :

Le pétrole, léger, a naturellement tendance à remonter vers la surface. Lorsque cela est possible, il s'échappe sous forme de suintements. Contrairement à une croyance très répandue, un réservoir de pétrole n'est pas un immense lac souterrain. Il s'agit bien souvent d'une roche apparemment solide mais très poreuse. En se déplaçant d'un pore à l'autre ou en s'écoulant par des fractures, le pétrole migre lentement vers la surface. Pour constituer une matière première intéressante à exploiter, les hydrocarbures doivent donc migrer et se concentrer dans un réservoir. La roche qui va les accueillir sera poreuse et perméable, contrairement à la roche mère : on parle de roche réservoir.



La migration des gouttelettes de pétrole se fait grâce au déplacement de l'eau dans les formations rocheuses. En effet, les eaux souterraines se trouvent non seulement dans les couches superficielles, mais aussi en grande profondeur où elles circulent très lentement. Ce sont elles qui, en migrant, entraînent les gouttelettes de pétrole.

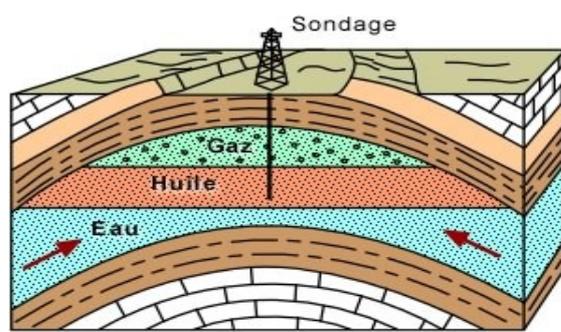
La migration s'effectue en plusieurs étapes :

La compaction provoque un déplacement des fluides dans la roche mère. Il y a alors expulsion de l'eau puis des huiles depuis la roche mère vers un drain, qui conduira les hydrocarbures vers un réservoir : c'est la migration primaire.

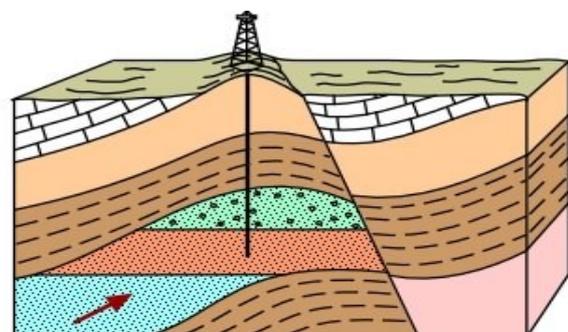
La migration secondaire désigne le déplacement dans le drain vers la roche réservoir, jusqu'à trouver un piège, c'est-à-dire une roche couverture imperméable qui bloquera la progression des hydrocarbures. Les évaporites ou les argiles constituent de bons pièges par leur étanchéité.

3) Piégeage des hydrocarbures :

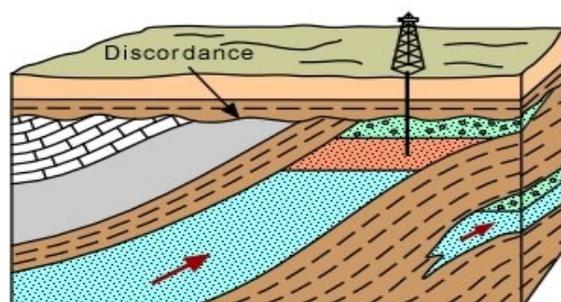
Il existe différents types de pièges, liés au dynamisme et à l'histoire structurale du bassin dans lequel se sont formés les hydrocarbures : plis, failles, discordances peuvent faire l'affaire, et souvent plusieurs facteurs se combinent favorablement. On peut donner l'exemple de quatre pièges les plus couramment rencontrés :



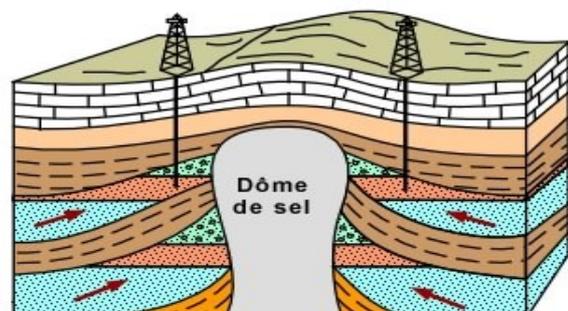
A - Piège structural: anticlinal



B - Piège structural: faille



C - Pièges stratigraphiques: discordance et biseau sédimentaire



D - Pièges mixtes associés à un diapir

A. **Pièges type anticlinaux :**

Une situation commune et recherchée, c'est le piège au sommet de plis anticlinaux où alternent roches perméables et roches imperméables. Les fluides se déplacent, des points de plus forte pression aux points de plus faible pression, c'est-à-dire de bas en haut (flèches rouges). Ces fluides sont un mélange d'eau et de gouttelettes d'huile et de gaz. A cause de la barrière à la migration que forme la couche imperméable, les fluides s'accumulent dans la partie haute du pli. Il se fait une séparation des phases selon leurs densités respectives. Le gaz occupera la partie la plus haute, suivi de l'huile puis de l'eau.

B. **Pièges type faille:**

Une autre situation propice à la formation d'un piège est offerte lorsque les fluides circulant dans une couche perméable sont coincés sous des couches imperméables dans un biseau formé par le déplacement des couches à la faveur d'une faille.

C. **Pièges type stratigraphiques :**

Des lentilles de roches ou de sédiments très perméables contenus dans des couches imperméables peuvent aussi servir de pièges (partie inférieure droite du piège structural C). Par exemple, c'est la situation sur le delta du Mississippi où les sédiments imperméables boueux, riches en matières organiques à l'origine, servent de rochemère et les lentilles de sable, de réservoirs. Les discordances angulaires, lorsque recouvertes par des couches imperméables, offrent aussi une situation intéressante (partie supérieure droite du piège stratigraphique C).

D. **Pièges associés à un diapir :**

Il y a aussi des pièges qui sont associés aux dômes de sel (pièges mixtes D). Lorsque les diapirs de sel se sont mis en place, ils ont retroussé les couches et créé des biseaux qui sont scellés par les couches imperméables et par le sel lui même qui est imperméable.

III. **Composition chimique des hydrocarbures**

1) **Hydrocarbures aliphatiques :**

Les atomes de ces hydrocarbures sont reliés les uns aux autres pour former une chaîne ouverte pouvant présenter une ou plusieurs ramifications :

•Hydrocarbures saturés :

Une chaîne est dite saturée si toutes les liaisons entre les atomes de carbone sont des liaisons simples.

•Hydrocarbures insaturés :

Une chaîne est dite insaturée si elle comporte au moins une liaison multiple (double ou triple) entre deux atomes de carbone.

➤ Différents types d'hydrocarbures aliphatiques :

• Les alcanes :

Les alcanes sont des hydrocarbures saturés à chaînes ouvertes (aliphatiques).

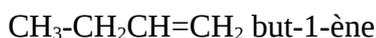
Toutes les liaisons carbone-carbone (C-C) sont simples et tous les atomes de carbone sont tétraédriques.

• Les alcènes :

Les alcènes sont des hydrocarbures insaturés et aliphatiques comportant une seule liaison double carbone-carbone (C=C).

Les deux atomes de carbone doublement liés sont dits trigonaux.

Exemples



Groupes dérivés des alcènes

- les groupes alcényles $\text{CH}_2=\text{CH-}$ éthényle ou vinyle
 $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{-}$ prop-2-ényle ou allyle
- Les groupes alkylidènes $\text{CH}_3\text{CH=}$ éthylidène
- les groupes alkylènes : groupes divalents dérivés des alcanes par élimination d'un hydrogène à chaque extrémité de la chaîne
 $-\text{CH}_2\text{-}$ méthylène
 $-\text{CH}=\text{CH-}$ vinylène

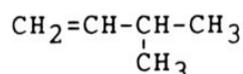
• Les alcynes :

Les alcynes sont des hydrocarbures insaturés et aliphatiques comportant une seule liaison triple carbone-carbone.

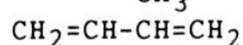
Les deux atomes de carbone triplement liés sont dits diagonaux.

Exemples d'alcènes et d'alcynes

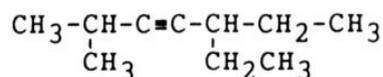
3-méthylbut-ène



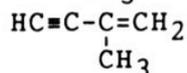
buta-1-3-diène



5-éthyl-2-méthylhept-3-yne



2-méthyl-but-1-ène-3-yne



2) Hydrocarbures cycliques :

Les atomes de carbones de ces hydrocarbures forment un ou plusieurs cycles fermés :

• Les cycles saturés :

Un cycle est dit saturé si toutes les liaisons entre les atomes de carbone sont des liaisons simples.

• Les cycles insaturés :

Un cycle est dit insaturé si elle comporte au moins une liaison multiple (double ou triple) entre deux atomes de carbone.

➤ Différents types d'hydrocarbures Cycliques :

• Les cyclanes :

Les cyclanes (ou cycloalcanes) sont des hydrocarbures saturés comportant au moins une chaîne cyclique (ou cycle).

Toutes les liaisons carbone-carbone sont simples (C-C) et tous dans laquelle deux atomes de carbone présentent une seule liaison double C=C.

Les deux atomes de carbone doublement liés sont dits trigonaux.

• Les cyclènes :

Les cyclènes (ou cycloalcènes) sont des hydrocarbures insaturés comportant au moins une chaîne cyclique dont les atomes de carbone sont tétraédriques.

• Les cyclynes :

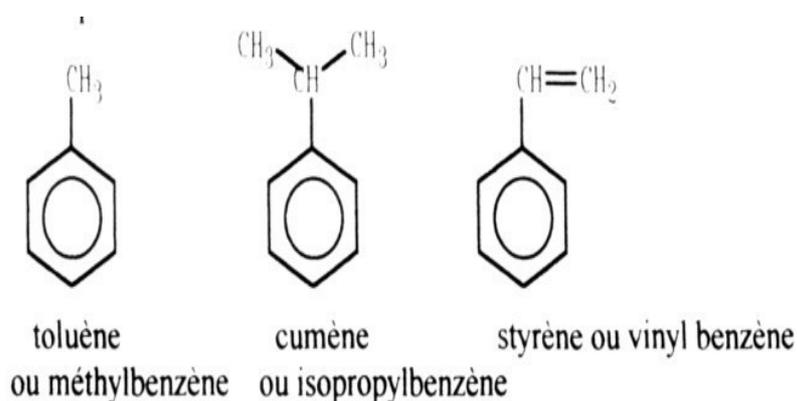
Les cyclynes (ou cycloalcynes) sont des hydrocarbures insaturés comportant au moins une chaîne cyclique dans laquelle deux atomes de carbone présentent une seule liaison triple.

Les deux atomes de carbone triplement liés sont dits digonaux.

3) Hydrocarbures aromatiques :

On reconnaît un hydrocarbure aromatique, à la présence dans la molécule d'au moins un cycle d'atomes de carbone du type du **benzène** (cycle hexagonal avec trois double liaisons alternées avec trois liaisons simples).

Exemples :

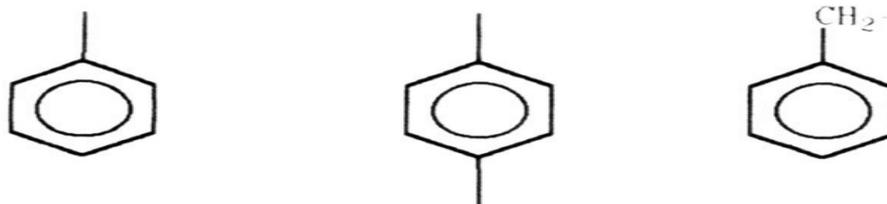


Cas des dérivés du benzène disubstitué

- en position 1,2 position ortho (*o*)
- en position 1,3 position méta (*m*)
- en position 1,4 position para (*p*)

Exemples : *o*-dichlorobenzène, *p*-bromotoluène.

Les hydrocarbures aromatiques forment des groupes aryles :



Avec dans l'ordre de gauche à droite : le reste phényle, le groupe p-phénylène, le reste benzyle

➤ Répartition des hydrocarbures :

Malgré une formation des hydrocarbures principalement localisée au Moyen- Orient, il en existe d'innombrables composés différents.

IV. Localisation des sources de pétrole

Le pétrole est une huile minérale naturelle. Le pétrole est le résultat de la lente dégradation bactériologique (décomposition) de micro-organismes aquatiques végétaux (plancton) et animaux minuscules, du carbonifère qui il y a des millions d'années (environ 450 à 500 millions) , ont proliféré, accumulées et déposés au fond des océans et des mers en couches sédimentaires. Cette matière organique collectée dans des endroits confinés, s'enfonce alors lentement à des profondeurs de plus en plus importantes.

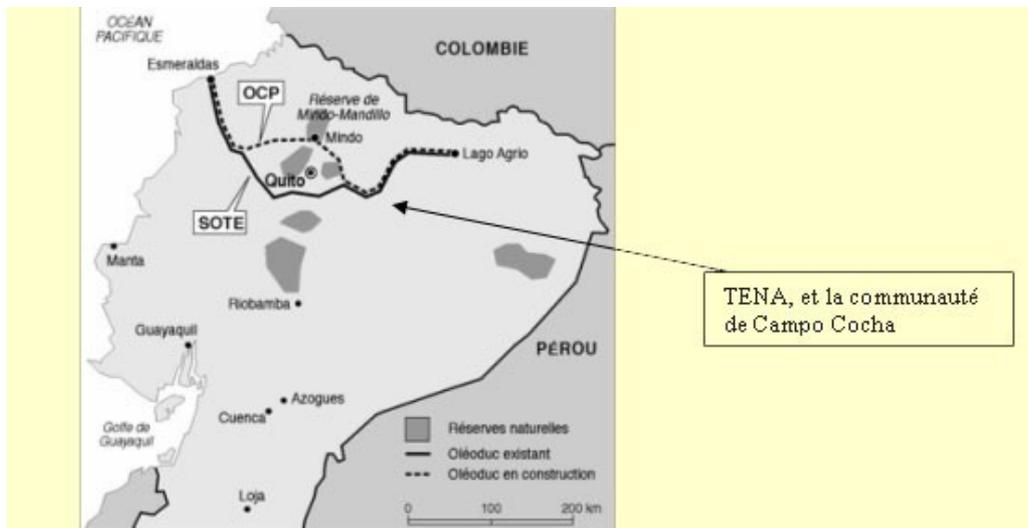
Avec la chaleur interne de la terre, la pression, en présence de bactéries et en l'absence de l'oxygène, l'ensemble des matières organiques en présence ont été lentement décomposées et transformées en gaz et en un liquide plus ou moins visqueux qui est le pétrole.

Le pétrole s'est formé sous la surface de la terre, au fond des océans mais aussi dans le sol des continents.

La genèse du pétrole se décompose en plusieurs étapes. La première est la formation de la roche mère. Cette boue sédimentaire est enfouie jusqu'à 3 km de profondeur où elle se transforme après plusieurs étapes en pétrole, eau et gaz. Sous la pression des gaz, le pétrole est expulsé de la roche mère jusqu'à ce qu'il rencontre une roche réservoir, puis une roche couverture où il sera piégé et préservé. Les profondeurs de forage peuvent dépasser 10 000 m (U.R.R.S.), mais se situent plus fréquemment entre 1500 et 3500 m.



Une exploitation pétrolière intensive :



Utilisation :

Le pétrole sert à faire de l'essence pour les voitures, les camions etc...

- pour se chauffer les habitations(le fuel)
- pour des lampes à l'huile
- à fabriquer les parfums.
- à fabriquer des engrais et pesticides
- À fabriquer les médicaments.
- À faire du plastique

- à fabriquer du kérosène pour l'aviation
- à faire du rouge à lèvres

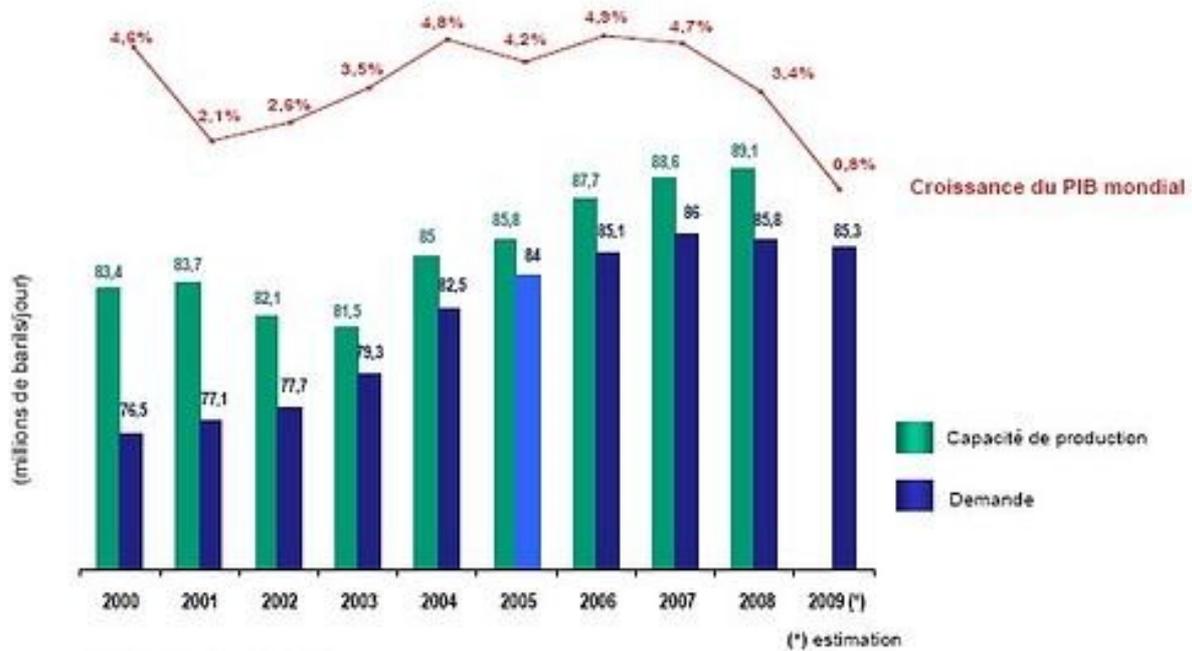
Le pétrole, une fois raffiné doit être vendu sous forme de produits finis tels que :

- gaz propane,
- gaz butane,
- essence ordinaire 95
- Super carburant 98,
- kérosène, pour les avions
- Jet A1,
- Gazole moteur,
- Fioul,
- Diesel,
- Bitumes

Le pétrole peut polluer la mer. L'essence pollue l'air dans les villes.

plateform au Quebec et forage aux Etats-Unis bateau pétrolier plus de bateau pétrolier.

Pétrole : bilan 2008 et perspectives pour 2009



V. Conclusion

10 ans ? 20 ans ? 30 ans ? Nous ne savons pas exactement quand cela va arriver. Mais il est certain que d'ici quelques années, notre planète ne disposera plus d'autant d'énergie utilisable que nous n'en consommons aujourd'hui.

C'est simple à comprendre : le pétrole, le gaz ont mis plus de 100 millions d'années pour se constituer. Actuellement nous sommes en train de libérer tout ce gaz dans l'atmosphère en trois ou quatre siècle ! Un temps extrêmement bref.

Il y aura moins d'énergies fossiles, et en particulier de pétrole. Les énergies renouvelables ne semblent pas capables de fournir rapidement, à elles seules, les volumes d'énergie équivalents à ceux offerts actuellement par le pétrole et le gaz.