

- M. GUILLAUME -

Etat actuel de nos connaissances
sur la formation du pétrole.

15 Février 1951

Bureau des Recherches
Geologiques et geophysiques

69, rue de la Victoire
Paris 9-e

Etat actuel de nos connaissances
sur la formation du pétrole

p a r

Marcel GUILLAUME

15 février 1951

ETAT ACTUEL DE NOS CONNAISSANCES SUR LA FORMATION DU PETROLE

A) Caractères de la discussion de l'origine du pétrole

La genèse du pétrole ne peut s'étudier d'une manière aussi sûre que celle des corps minéraux solides, comme le charbon ou le fer. Par sa fluidité, l'huile minérale a pu se répandre hors de la formation qui lui a donné naissance et "migrer" dans d'autres terrains qui ne constituent alors que des gîtes secondaires. Ainsi, alors que l'origine organique du charbon "sédentaire" n'avait jamais fait l'objet de doutes pour personne, celle du pétrole "produit migrateur" a pu être très controversée. On s'est en effet appuyé sur les théories relatives à la migration pour expliquer celles relatives à l'origine et inversement. Il en est résulté un grand nombre d'hypothèses entre lesquelles la lutte a été autrefois très vive.

On se rappelle l'opposition entre l'origine minérale et l'origine organique des huiles, le rôle prépondérant accordé successivement aux volcans, au charbon, au sel, etc..., nous y reviendrons tout à l'heure. Pendant ces vingt dernières années cependant, l'accord a pu se faire sur toutes les questions essentielles, grâce au développement de la prospection et de l'exploitation dans les gisements les plus divers de presque toutes les parties du monde. On a pu, non plus opposer des particularités locales mais grouper en un faisceau les caractères communs à tous les grands gisements et mettre ainsi en évidence des lois très générales qui comptent parmi les plus importantes de la géologie.

Si personne, aujourd'hui ne s'élève plus contre l'opinion que la plupart des hydrocarbures ont pris naissance dans des sédiments par transformation de matières organiques, il n'en demeure pas moins beaucoup de points à éclaircir sur les rapports de l'huile minérale et de matière organique qui lui a donné naissance. Cette question est intimement liée à l'étude des roches, laboratoires au sein desquelles s'est faite la transformation.

L'étude des roches-mères (ou source beds des auteurs anglais) est donc essentielle pour apprendre à connaître l'origine du pétrole. Mais c'est là seulement un aspect du problème celui de la synthèse réalisée au cours des temps à partir de la matière organique. Les roches-mères sont d'ailleurs difficiles à localiser avec précision dans chaque gisement particulier que l'on considère.

Susceptibles de livrer les secrets de la formation des huiles qui y ont pris naissance, elles-mêmes font partie de séries très particulières, dites séries pétrolifères, et c'est de la connaissance de ces séries qu'il faut d'abord s'imprégner.

En effet, leur étude approfondie fournit les éléments du problème de la formation du pétrole au cours des temps géologiques. On a pu réaliser en laboratoire la synthèse de beaucoup d'hydrocarbures qu'on rencontre dans les pétroles - c'est affaire de chimistes - On a alors émis certaines théories sur la formation

du pétrole, mais une connaissance plus sérieuse de la stratigraphie des séries pétrolifères oppose des "vetos" à des conditions indispensables pour certaines de ces synthèses.

On pense par exemple à la température maximum qu'on peut envisager au cours de la formation.

B) Définition des séries pétrolifères

Le trait fondamental des gisements de pétrole est assumément leur localisation dans les terrains sédimentaires. Il suffit d'un regard sur une carte des gisements du monde pour constater la stérilité complète des aires cristallines. On peut ajouter que la plupart des accumulations d'huile sont totalement étrangères aux manifestations volcaniques. On peut donc classer le pétrole comme le charbon, parmi les "gîtes sédimentaires". On a signalé, il est vrai, du pétrole dans des terrains cristallins. Mais, ou bien il s'agit de phénomènes de migration évidents ou bien ce sont des quantités d'hydrocarbures si faibles que l'on n'est guère en droit de voir une relation d'origine nécessaire entre ces singularités et les millions de tonnes extraits chaque année.

Dans les terrains sédimentaires, le pétrole n'apparaît pas sporadiquement. Il est localisé dans des suites épaisses, portant parfois sur une série stratigraphique étendue, où on le rencontre à différents niveaux. Cette tendance du pétrole à se présenter en gisements superposés d'âge différent, plutôt qu'en assises étendues d'âge constant a fait donner aux sédiments qui le contiennent le nom de séries pétrolifères.

Ces séries possèdent des caractères de faciès se groupant autour d'un petit nombre de types. On distingue :

- 1°) un type marno-sableux (le plus important et même le plus banal)
- 2°) un type calcaire-dolomitique
- 3°) types mixtes, variables et accidentels.

C) Lithologie du type marno-sableux

La grande majorité des séries pétrolifères, non seulement d'Europe mais du monde, depuis le Silurien jusqu'au Eocène, est du type marno-sableux. On y rencontre des alternances plus ou moins rapides de roches détritiques, allant du grès à l'argile avec généralement une légère proportion de calcaire disséminé dans la masse. Les grès sont plus ou moins fins, à ciment siliceux ou calcaire, ou sont remplacés par des sables. Les argiles tendent vers la marne calcaire ou vers le schiste. Mais dans l'ensemble le faciès est d'une uniformité que n'affectent ni l'âge ni la répartition géographique.

En règle générale, la marne domine et les sables ou grès ne constituent que des intercalations disséminées, d'une importance primordiale cependant puisque ces roches poreuses contiennent le pétrole.

La dimension et la disposition des couches de sable pétrolifère, intercalées dans les séries marneuses, méritent une attention spéciale toute particulière. Ces couches sont en réalité presque toujours des "lentilles" qui se relaient plus ou moins rapidement.

Pechelbronn montre l'exemple de petites lentilles, bien connues par les travaux en galeries. Elles sont allongées dans le sens du Fossé rhénan et relativement étroites. La même disposition est connue à Maikop, dans le Caucase, et dans les gisements pennsylvaniens du Midcontinent américain. On leur donne ici, à cause de leur disposition en ruban, le nom imagé de "shoestring". Ces longues lentilles ravinent nettement les formations sous-jacentes et sont recouvertes en concordance par les formations du toit. On a, par suite, considéré ces lentilles comme des chenaux ou des lits de rivières ensablés.

Un autre fait très habituel est la stratification entrecroisée des sables pétrolifères en lentilles, et parfois en couches. On a particulièrement signalé cette disposition à Pechelbronn, dans la Molasse suisse, à Bakou, dans le Midcontinent. Ce témoignage indubitable d'un régime torrentiel est bien en accord avec la disposition même des lentilles.

Les grands gisements, cependant, ont des couches sableuses beaucoup plus étendues et régulières, dont l'épaisseur assez constante varie entre quelques centimètres et une dizaine de mètres.

Enfin, certaines séries pétrolifères exceptionnelles, comme celles de Bakou présentent une abondance de sable beaucoup plus grande. Les niveaux sableux pétrolifères et stériles, alternant avec les assises argileuses, constituent au total 75% de la série sédimentaire.

D) Lithologie du type calcaro-dolomitique

Certaines séries contenant du pétrole s'écartent franchement du type courant marno-sableux et présentent une prédominance accusée de la sédimentation calcaro-dolomitique.

Citons les gisements représentés par les reproductions des calcaires siluriens de Trenton, aux U.S.A. et des dolomies permienes de Volkenroda (Thuringe) et du West-Texas.

Dans ces trois cas, les conditions de gisement permettent d'exclure, avec certitude, l'hypothèse d'une imprégnation secondaire à partir de gisements sableux.

Le pétrole se trouve dans les fissures et anfractuosités de la dolomie? Le cas le plus anciennement connu et qui avait été longtemps le seul est celui du gisement actuellement épuisé de Lima Indiana. Le pétrole se trouve dans le calcaire silurien de

Trenton et plus précisément dans les intercalations dolomitiques du sommet. Lorsque les calcaires de Trenton ne sont pas dolomitiques on ne rencontre pas trace d'huile.

E) Lithologie des types mixtes

Certaines séries pétrolifères ne se rattachent franchement ni à l'un ni à l'autre type et présentent des intercalations plus ou moins importantes de faciès calcaires ou dolomitiques dans un complexe marno-sableux.

Ce fait se comprend en remarquant l'existence d'épisodes accessoires qui peuvent venir interrompre momentanément le cours du dépôt d'une série marno-sableuse typique. On a observé de telles séries en plusieurs endroits mais c'est particulièrement en Perse et en Irak que ce phénomène se produit avec ampleur.

Série pétrolifère de l'Irak

Pliocène ...	Bakhtiari.....	Sables, argiles et graviers fluviatiles	
	Fars supérieur..	Sables et argiles d'eau douce	2 000
Miocène			
	Fars inférieur..	Faciès lagunaire à gypse...sables pétrolifères	à 3 000 m
		Calc. d'Asmari	
Oligocène...		Calc. à Nummulites	
		Calc. à globigérines	Main-Limestone (calc.princip.l)
Eocène		Calc. lutétien	400 m
		Calc. à globigérines	
Crétacé		Marnes à globigérines	

C'est le Main-limestone qui contient la plus grande partie de l'huile dans ses pores et fissures. Mais si l'on ajoute que l'on ne connaît aucun exemple de formation de pétrole indubitablement primaire dans des calcaires francs de ce type, et, d'autre part, que du pétrole est connu au dessus dans le Miocène et au-dessous dans le Crétacé, on peut se demander si le Main-limestone ne joue le rôle de réservoir secondaire marquant en réalité au point de vue genèse, une interruption dans la continuité de la série pétrolifère.

On conçoit d'ailleurs qu'un gisement de ce type, dont on peut rapprocher encore le Mexique, ne doit être considéré qu'avec une extrême prudence pour toutes les généralisations ayant trait à l'origine du pétrole.

Il ressort donc que les séries pétrolifères vraiment typiques sont les séries argilo-sableuses.

F) Faune et flore

Les séries pétrolifères de type marno-sableux que nous prendrons seules, ici, en considération, contiennent peu de fossiles. Les sables productifs en sont entièrement dépourvus; quant aux marnes, lorsqu'elles en contiennent, c'est avec le caractère de faunes très pauvres en genres.

Les organismes planktoniques sont plus abondants que les organismes benthoniques vivant sur le fond. C'est pourquoi les poissons et les foraminifères jouent un rôle important dans la stratigraphie du pétrole.

En résumé ,ces faunes indiquent qu'une série pétrolifère n'est jamais entièrement lacustre ; elles caractérisent un faciès extrêmement littoral, avec des variations de salure oscillant entre le régime lacustre et le régime lagunaire sursalé. En gros, les séries argilo-sableuses sont suivant le cas des dépôts d'estuaires ou de lagunes cotières.

G) Subsidence

Une autre caractéristique essentielle des séries sédimentaires contenant des intercalations pétrolifères est leur épaisseur tout à fait anormale.

Pour en présenter un exemple concret, comparons le Nummulitique d'une région telle que le Bassin de Paris, par exemple, avec celui des régions à pétrole. Dans la région parisienne l'épaisseur de ces niveaux peut aller de quelques dizaines de mètres à 150 m. Or on trouve, pour ces mêmes terrains, en Galicie 1500 m., en Californie 1000 à 3000 m., dans le Texas 1500 m., en Alsace 1700 m., soit une augmentation d'épaisseur qui est de l'ordre de 1 à 10.

Si l'on passe à des séries pétrolifères d'âge différent, on peut noter 2000 m. pour le Pliocène de Roumanie; plus de 1000 m. pour le Dacien seul à Bakou ; 700 m. pour le Miocène de Birmanie ; 1800 m. pour le Crétacé du Colorado; plus de 2000 m. pour le

Jurassique et le Crétacé du Hanovre. Enfin, dans le Midcontinent, le Carbonifère peut atteindre les puissances énormes de 6 à 10.000 m., le Silurien de 1000 à 2000 m.

Si l'on met, maintenant, en parallèle cette épaisseur avec le caractère uniformément littoral, lacustre ou lagunaire des dépôts, on doit conclure que la sédimentation s'est faite dans des aires qui s'effondraient, précisément avec la même vitesse que celle du comblement sédimentaire. On a donné à cette sédimentation, contemporaine de l'effondrement, le nom de sédimentation subsidente (de subsidere = s'effondrer).

Le caractère de faciès des séries pétrolifères peut alors être résumé en disant que le pétrole se forme dans les dépôts de caractère détritique, sur le bord des aires de subsidence. C'est ce que confirme bien, avec une rigueur presque sans exception, la répartition des gisements dans le monde.

H)

On peut maintenant revenir sur la question de l'origine organique ou inorganique du pétrole.

Nous avons dit que la chimie permet de préparer "in vitro" des substances ayant une constitution s'approchant beaucoup de celle du pétrole. On peut grouper les procédés de préparation en deux familles : les uns réalisent la synthèse des hydrocarbures en partant de matières minérales, les autres transforment des

matières organiques, d'où le choix que les chimistes laissent aux géologues entre une "théorie inorganique" et une "théorie organique".

La méthode de synthèse inorganique a été illustrée par les travaux de Berthelot, Moissan, Mendeleieff, Sabatier et Senderens, elle fait usage de la catalyse. Sur des carbures métalliques, on fait agir de l'eau afin d'obtenir des carbures acétyléniques. Ceux-ci passant sur du nickel, se transforment en carbures saturés et en cyclanes. On a réussi de cette manière à obtenir des mélanges très voisins du pétrole naturel.

Cette théorie élégante pourtant qui avait connu un grand nombre d'adeptes dans les débuts de la géologie du pétrole, n'a pu par la suite soutenir la confrontation avec les faits observés. L'hypothèse des carbures métalliques, de l'action catalytique, du nickel, etc... ne peut se concevoir que dans le cas de phénomènes profonds qui lieraient les gisements de pétrole aux roches granitiques ou volcaniques - Nous venons de voir largement qu'il n'en est rien - De plus, les produits synthétiques d'origine minérale ne contiennent jamais les corps optiquement actifs du pétrole naturel, et Walden a montré que seulement les pétroles dérivés de matières organiques ont cette propriété. L'activité optique est attribuée par Rakusin, Marcousson, Obbelohde et d'autres à des dérivés de la cholestérine d'origine animale et à son équivalent végétal la phytostérine. Les hydrocarbures contiennent

également des composés nitreux et tous les composés de ce genre trouvés dans la nature sont soit d'origine végétale, soit d'origine animale. D'après les travaux de Triebbs (1934) il s'agit de quatre porphyrines isolées dans 22 des 27 spécimens de pétrole et de bitumes qu'il a observés. Ce sont :

d'origine végétale (desoxo) la desoxophilerithrine, comme acide et la desoxophilerithroetioporphyrine comme base, et d'origine animale (mésos) la mesoporphyrine comme acide et la mesoetioporphyrine comme base.

On sait que les etioporphyrines sont des dérivés finaux de la décomposition de la chlorophylle et les mesoetioporphyrines les dérivés finaux de l'hémoglobine ; on sait d'autre part (et c'est pour cela qu'on peut citer ces noms barbares!) que les porphyrines sont détruites si on les soumet aux températures dépassant 200-250°.

Le second procédé de fabrication artificielle des pétroles repose sur la transformation des matières grasses, animales ou végétales. Dans une expérience restée classique Engler (1909) a distillé 492 kg. d'huile de poissons sous 10 atm. et à une température progressivement portée jusqu'à 900°. Dans ces conditions il a obtenu un distillat constitué par 299 kg d'une huile fluorescente, sans odeur d'acroleïne, dont 99% étaient des hydrocarbures semblables à ceux du pétrole. On a pu en extraire 30% de carbures allant du pentane au nonane, des huiles de graissages et des paraffines cristallisables.

De même Potonié, distillant une boue organique formée d'algues unicellulaires en décomposition, recueillies dans une lagune cotière de la Mer Baltique a obtenu les produits suivants :

24,4 % d'huile asphaltique paraffineuse

13,8 % d'eau alcaline

47,2 % de cendres et coke

14,6 % de gaz combustibles.

La distillation sous pression de ces algues a donné des huiles légères et des huiles lourdes paraffineuses. On a pu démontrer que, dans cette opération, c'est la matière grasse de l'algue soluble dans l'éthier, qui avait engendré les hydrocarbures.

Ces expériences ne démontrent pas que le pétrole se soit produit exactement ainsi dans la nature. Mais elles ont ouvert le champ à une hypothèse, celle de la transformation en pétrole de grandes masses de matière organique animale ou végétale comprises dans des assises sédimentaires. Nous allons voir que cette hypothèse a été particulièrement féconde, car elle se trouve en harmonie avec les observations géologiques.

I) Le sapropel matière première du pétrole

Il y a lieu de se demander alors plus précisément quelles sont les matières premières organiques qui ont pu donner naissance aux huiles minérales. Certains ont donné leur préférence aux matières végétales, d'autres aux matières animales, d'autres

encore ont opté pour un compromis. Certaines huiles à base d'asphalte seraient d'origine animale, d'autres à base de paraffine d'origine végétale. Actuellement il semble bien établi qu'ils proviennent tous d'une même composition à la fois animale et végétale. On a également discuté pas mal pour savoir quelle portion de la matière organique intervenait dans la transformation - les corps gras ou bien la cellulose et les produits nitreux ?

Trask (1942) en faisant une étude détaillée des constituants organiques des sédiments a noté qu'il s'agissait surtout de composés d'humus et de lignine ($C_{10}H_{12}O_5$) et de composés nitreux, les graisses et les huiles formant une très petite part de la matière organique présente, les composés de la cellulose des très grosses plantes sont également en petite quantité.

La composition moyenne du plankton qui forme la matière organique, dont on pense que provient le pétrole, comprend :

73 % de carbonates hydratés et de substances analogues à des nitrures libres

24 % de protéines

3 % de graisses

Dans les sédiments récemment déposés il y a :

60 % de carbonates hydratés et de substances analogues à des nitrures libres

40 % de protéines

1 % de graisses

Dans les sédiments lithéfiés il y a :

- plus de 60 % de carbonates hydratés et de substances analogues
à des nitrures libres
- 27 % de protéines
- 1 % de graisses.

La matière organique tend à devenir plus complexe quand elle passe du plankton original au sédiment lithéfié à cause d'une diminution de sa teneur en oxygène avec la profondeur.

La matière organique dans les sédiments est à l'état de composés complexes résistants qui contiennent beaucoup moins d'oxygène que le plankton primitif. Trask les considère comme les plus favorables des substances-mères du pétrole. La proportion de matières organiques de sédiments marins récents varie entre 0,3 % pour les boues de mers profondes et 7 % pour la région de Channel Island en Californie. En outre le contenu organique de la plupart des dépôts marins au cours des temps géologiques est semblable à celui des sédiments récents. Tels sont les faits expérimentaux enregistrés par Trask, et d'après lui il semblerait probable que des composés complexes, pauvres en oxygène et de nature non grasseuse soient la source la plus vraisemblable d'huile dans les sédiments, les composés nitreux et les protéines apparaissant comme étant les plus abondants des constituants de la matière organique au sein des roches.

Il faut dire cependant qu'il existe une grande divergence d'opinion sur ce sujet encore actuellement (et qu'il y a de nombreux partisans des corps gras transformés en acides gras, etc...) De toute façon, des recherches considérables ont été faites par quelques chercheurs sur les constituants organiques de certaines huiles et la question est loin d'être résolue dans sa généralité même si l'on ne croit plus guère au pétrole provenant d'huile de foie de requin fossile.

On a appelé les boues contenant des éléments organiques mélangés à des éléments sableux le sapropel.

Il reste à se demander par quelle voie le sapropel a pu se transformer en pétrole. Les principes qui déterminent les conditions physico-chimiques des expériences de laboratoire sont les suivants :

- 1^o) l'origine organique du pétrole
- 2^o) la liaison de la matière organique originelle avec les dépôts marins littoraux
- 3^o) la transformation de la matière organique primitive en pétrole à une température relativement basse.

On rejette complètement actuellement l'idée d'une distillation du sapropel. En effet la température de 200 à 300° reconnue indispensable par la chimie correspond si on fait intervenir

le degré géothermique à des enfouissements de l'ordre de 7000 à 10.000 m. profondeurs qui n'ont certainement été connues par aucun gisement. Le plus grand nombre de gisements récents tels que ceux de Pliocène en terrain peu plissé n'ont jamais atteint même 100° - la pression a été invoquée pour contrebalancer la basse température. Or son effet est de retarder la formation des hydrocarbures. On a invoqué aussi " le facteur temps", hypothèse également contraire aux récentes acquisitions de la chimie des pétroles (un humoriste avait d'ailleurs fait remarquer à cette époque si on mettait une dinde dans une glacière on arriverait peut-être à la rôtir à condition d'attendre assez longtemps).

Où en est alors la question ?

Si on consulte les ouvrages modernes consacrés à l'étude de la formation et de l'origine des hydrocarbures liquides et gazeux, on est frappé du nombre relativement petit de travaux réservés à l'étude des roches-mères. Cette constatation est d'autant plus paradoxale que le milieu minéral dans lequel a lieu la transformation de la matière organique originelle en hydrocarbures paraît jouer un rôle important dans le phénomène.

L'action concourante de plusieurs facteurs biologiques, physico-chimiques, minéralogiques intervient. Toutefois, chacun des facteurs pris en considération n'a pas permis jusqu'ici de reconstituer expérimentalement les conditions premières de la formation des hydrocarbures dans le cadre des conditions géologiques dans lesquelles ils ont pu se former.

L'étude du processus biochimique a été particulièrement poussée ces dernières années.

En 1926, en effet, presque en même temps aux Etats-Unis et en U.R.S.S. on a découvert une flore bactérienne anaérobie, vivant actuellement encore dans les couches de pétrole en profondeur. Ces bactéries ont été isolées et cultivées. On a pu s'assurer qu'elles n'existent ni dans les eaux étrangères aux gisements, ni aux alentours des puits en surface.

Le rôle des bactéries anaérobies est surtout important dans les premières réactions de réduction de la matière organique qui vient de se déposer au fond de la mer, ainsi que dans la création des conditions réductrices en général. Elles diffèrent des bactéries aérobies par leur façon d'utiliser l'oxygène. Au lieu d'utiliser pour vivre l'oxygène libre comme ces dernières, elles l'empruntent aux milieux ambiants en les décomposant et en les disloquant par les gaz issus de la fermentation qu'elles provoquent. C'est ainsi, par exemple, qu'elles décomposent les sulfates dissous dans l'eau de mer. Les bactéries qui réduisent les sulfates représentent un composé important de plusieurs types de vases marines. Leur présence coïncide, soit avec l'existence de grandes quantités de sulfure de fer, soit avec une teneur élevée en hydrogène sulfuré (en Mer Noire par exemple).

Il semble que ces bactéries, tout comme les bact-aérobies, possèdent des ferments enzymes qui leur sont propres et qui

jouent le rôle de catalyseurs, chaque enzyme provoquant des réactions chimiques bien déterminées et dont le mécanisme d'activation des molécules semble être encore fort obscur.

Les travaux de Zobell ont mis en évidence les faits suivants:

- 1^o) Découverte des bactéries décomposant les hydrocarbures complexes et les transformant en des combinaisons de chaînes moléculaires plus courtes.
- 2^o) Découverte des bactéries capables de transformer les acides gras en quelques hydrocarbures saturés, identiques à ceux qu'on trouve dans les pétroles.
- 3^o) Découverte (à la profondeur de 1500 pieds dans une mine de sel en Louisiane) de bactéries sulfo-réductrices nouvelles, inconnues auparavant à la surface du sol.
- 4^o) Détermination des hydrocarbures du type pétrolier parmi les composants de cellules des bactéries.

La question des bactéries nécessiterait à elle seule un développement complet.

Nous venons de parler des conditions réductrices nécessaires à la transformation des hydrocarbures. C'est un phénomène capital sans quoi les matières organiques s'oxyderaient et l'on ne pourrait obtenir d'hydrocarbures.

Il en résulte donc que les matières organiques utiles sont celles déposées en eau calme renfermant moins d'oxygène dans des sédiments relativement fins (argiles).

Trask regarde les irrégularités du fond marin comme ayant un plus grand effet sur l'accumulation des débris organiques que la profondeur de l'eau et la distance du littoral. Il a noté que les sédiments déposés sur des pentes régulières ouvertes ou sur des rides sous-marines contiennent une faible teneur de matière organique comparée à celle qui se dépose dans des dépressions ou dans des baies protégées des courants.

La structure finement grenue de la calcite dans ces dépressions peut être mise aussi en relation avec la présence de bactéries qui précipiteraient la calcite sous une forme très fine et en général tous les auteurs admettent que les roches-mères du pétrole ont une texture fine, qu'elles se sont déposées là où la circulation des eaux est quasi inexistante, dans des eaux stagnantes où peuvent se réaliser les conditions chimiques réductrices favorables pour que la matière organique se transforme en hydrocarbures.

Mais bien que la texture soit fine un certain milieu poreux est nécessaire à l'intérieur des sédiments pour permettre le processus de réduction et les autres réactions qui convertissent la matière organique en pétrole - dans les sédiments terrigènes ce milieu est représenté par le sable.

Il existe beaucoup d'autres hypothèses dont il serait trop long de parler. Citons quand même l'idée curieuse émise par L.V. Khmelevskaya sur l'hydrogénation du bitume protopétrole en vue de le transformer en pétrole véritable par l'hydrogène venu des profondeurs, d'origine magmatique ?

Pour terminer signalons que le rôle de la radioactivité naturelle a été invoqué souvent ces derniers temps, comme un facteur important dans la production des hydrocarbures liquides.

Des expériences de laboratoire très intéressantes ont été faites aux U.S.A. par C.W. Sheppard et W.L. Whitehead avec quatre membres de la série saturée des acides gras, soumis aux bombardements par des particules alpha émises par le radon et son produit appelé "dépôt actif". C'étaient les acides acétique, caprylique, laurique et palmique, le premier à l'état gazeux, les autres à l'état solide. On obtient la rupture du radical R avec le groupe carboxyle COOH. Le produit liquide obtenu présente des analogies frappantes avec les hydrocarbures des séries en C 14 et C 16.

Cette hypothèse radioactive a été suggérée par Lind, il y a quelques années, Russell, Beers et Goodman ont attiré l'attention sur la radioactivité de certains schistes organiques.

La cadence des transformations est lente mais dans les conditions géologiques son effet ne peut être négligeable et les sources radioactives peuvent se rencontrer dans les terrains sédimentaires.

Au terme de cette rapide intrusion au milieu des problèmes complexes qu'a posés et que pose encore la formation des pétroles, on peut dégager un certain nombre d'impressions positives.

Tout d'abord, avec les séries pétrolifères, les conditions de gisement des pétroles commencent à être bien connues et avec elles les conditions géologiques de la formation des huiles minérales. Par contre des divergences s'affirment encore quant à façon dont, au sein de ces séries, se sont formés les hydrocarbures à partir de la matière organique. La solution de ce problème est intimement liée à l'étude des roches-mères. Nous n'avons pas parlé de certaines des théories émises à ce sujet; ce n'est pas méconnaissance des faits auxquels elles se rattachent mais plutôt que la lutte est encore chaude à leur égard et l'issue encore incertaine.

On a beaucoup parlé autrefois du sapropel. Nous nous sommes contentés ici d'en donner la définition. Ce mot très simple masquait en effet, à notre avis, le véritable aspect du problème. TRASK a très bien montré depuis que la matière organique qui intervient dans la transformation est celle qui se trouve effectivement englobée au sein des sédiments au moment où commence la synthèse; ce n'est qu'une très faible proportion de celle apportée au fond des mers par les courants.

La teneur en matière organique des sédiments est ainsi liée aux conditions de précipitation, c'est à dire à la texture des roches mères.

La façon dont se fait le passage aux hydrocarbures est encore mal définie, elle fait intervenir des facteurs divers, biologiques et physico-chimiques, les bactéries anaérobies pourraient y jouer un

rôle prépondérant, on a même fait appel ces dernières années à la radio-activité.

La question des roches-mères est donc capitale. C'est ce qu'a très bien compris l'American institute of pétroleum qui a fait de leur étude l'objet d'une commission spéciale intéressant toutes les branches de la recherche scientifique et on dispose déjà d'une source importante de documents à ce sujet. Quoi-qu'il en soit c'est en attaquant le problème dans ses bases qu'on peut espérer arriver à percer quelques-uns des mystères qui stimulent encore la curiosité des chercheurs.