

Mardi 10 décembre 1985

La géologie et la recherche pétrolière
dans le Bassin Parisien

Le mardi 10 décembre, Monsieur Claude GAUDIN, ingénieur géologue, chef du Service Communication dans la Société ESSO REP, est venu nous parler du pétrole et en particulier du pétrole dans le Bassin Parisien.

I.- NOTIONS GEOLOGIQUES.-

En France, il y a 3 grands bassins sédimentaires :

- le Bassin Parisien,
- le Bassin Aquitain,
- le Couloir Rhodanien.

Le Bassin Parisien est limité à l'ouest par le Massif Armoricain, au sud par la bordure du Massif Central, à l'est par le massif des Vosges et au nord, par celui des Ardennes. Cet exposé portera essentiellement sur la recherche pétrolière dans cette région.

Prospection géologique.-

Les géologues cherchent à reconstituer les conditions de formation et d'accumulation possibles du pétrole dans la région prospectée. Ils commencent par étudier ce qu'ils voient, la surface du sol. La photographie aérienne leur apporte d'abord une aide précieuse. Les affleurements des couches souterraines sont mis en évidence avec leur direction et leur nature, grâce au relief que donne l'examen stéréoscopique des photos aériennes ; le prospecteur établit ainsi une première ébauche de carte géologique. Celle-ci sera précisée par des mesures faites sur le terrain, de l'épaisseur et de l'inclinaison des couches. Ceci permettra de faire des hypothèses sur les déformations les plus probables subies au cours des temps par les assises du sous-sol, sous l'effet des phénomènes de la tectonique.

Les différentes couches doivent être identifiées et datées (stratigraphie). Les échantillons recueillis à la surface du sol et ceux provenant des sondages géologiques sont examinés au laboratoire par les pétrographes et les minéralogistes.

L'âge des roches est apprécié par les paléontologues grâce aux fossiles et aux micro-fossiles animaux et végétaux qu'elles contiennent.

Ainsi, par exemple, c'est en étudiant l'histoire géologique du Bassin d'Aquitaine que les géologues s'aperçurent qu'à certaines époques, sur le rivage des anciennes mers, se trouvèrent réunies de bonnes conditions de formation de pétrole.

L'âge est évalué aussi par des mesures de radioactivité résiduelle. D'autres renseignements sont recherchés tels que la formation des sédiments rencontrés (sédimentologie ou le régime hydrologique profond de la région).

A ces renseignements de toutes sortes, collectés par les géologues, viennent s'ajouter ceux qui sont obtenus par les géophysiciens.

Les études géophysiques ont pour principal objectif de déceler l'architecture profonde des terrains et, dans une certaine mesure, de préciser quelques caractéristiques lithologiques des couches en profondeur (schéma 1). Pour cela on utilise plus spécialement la gravimétrie, la sismique et la magnétométrie.

LES GEOPHYSICIENS PRENNENT LE RELAIS DES GEOLOGUES

QUAND IL N'Y A PLUS D'AFFLEUREMENTS

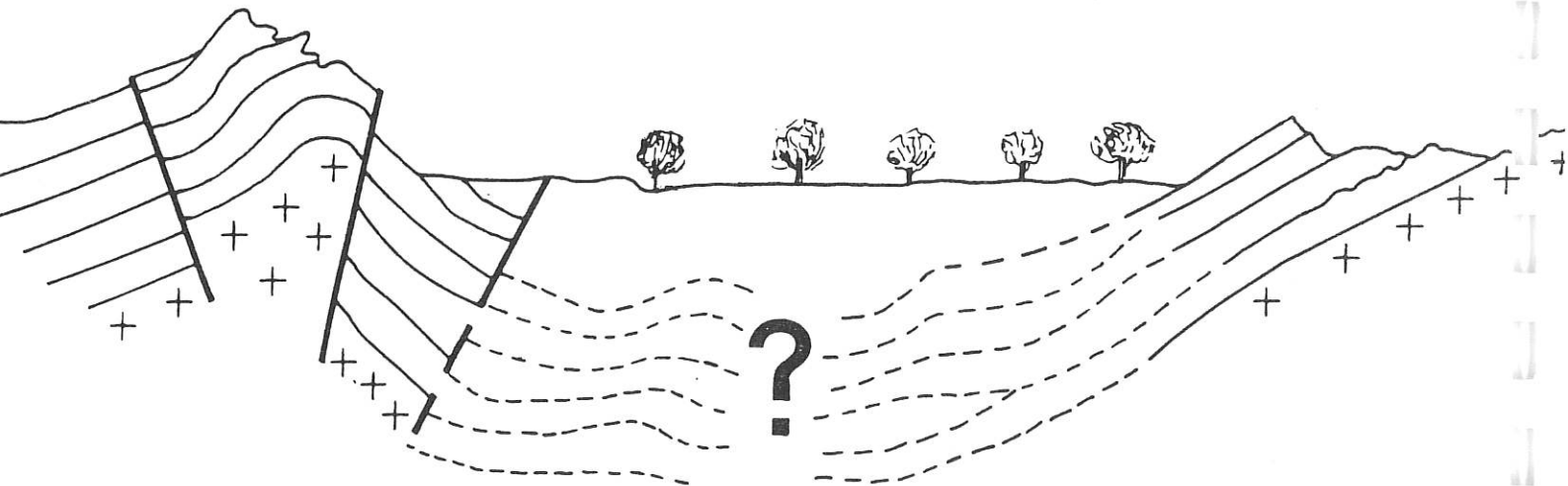


Schéma 1.- Magnétométrie - gravimétrie - sismique

La méthode gravimétrique fournit les premiers renseignements sur les structures souterraines en mesurant les variations d'intensité de la pesanteur causées par la présence dans le sol de roches plus ou moins lourdes à des profondeurs variables. Ainsi les roches cristallines originelles sont plus denses que les roches sédimentaires déposées. De même le dôme d'un anticlinal provoquera un accroissement local de la pesanteur. Ces variations d'intensité de la pesanteur sont mesurées par

Le gravimètre, sorte de peson à ressort extrêmement sensible, qui s'allonge plus ou moins selon que les roches "lourdes" sont plus ou moins proches de la surface du sol.

La méthode sismique provoque des "tremblements de terre artificiels" dont les répercussions dans le sous-sol servent aux prospecteurs à localiser les pièges à pétrole.

Des ébranlements produits à la surface du sol provoquent la propagation d'ondes dans le sous-sol. Certaines sont réfléchies par les surfaces de séparation et reviennent à la surface, d'autres poursuivent leur route à travers les couches et, comme un rayon lumineux, subissent des réfractions à travers les différentes roches. Le comportement de ces ondes dans le sous-sol et surtout leur vitesse de propagation dans les différents minéraux sont étudiés par des appareils enregistreurs très sensibles.

La magnétométrie permet d'étudier les anomalies magnétiques.

La synthèse de ces travaux permet d'établir la carte géologique détaillée de la région étudiée. Cette carte, à son tour, sert de base pour établir des coupes sériées ou non, des blocs diagrammes qui représentent les hypothèses que l'on peut faire quant à la structure du sous-sol. D'autres cartes sont dressées : cartes retraçant l'histoire géologique et écologique d'un bassin sédimentaire, indiquant les lieux et les époques où, peut-être, du pétrole aurait pu se former, des cartes beaucoup plus précises indiquant la présence de pièges possibles, etc ...

Les hypothèses qui résultent de tous ces documents ne peuvent être confirmées que par des forages à objectif pétrolier.

On obtient donc par des études précises des coupes géologiques telle que celle présentée sur le schéma 2. Les géologues se sont entendus entre eux pour respecter les mêmes règles. Ainsi, dans tous les pays, les couches tertiaires seront représentées en jaune orangé, le crétacé en vert, le jurassique en bleu, le permo-trias en violet, etc ...

Le Bassin Parisien est un bassin relativement plat, calme, aux structures simples ce qui explique la difficulté de recherche à cet endroit et le peu de découvertes par rapport à d'autres régions (Sahara, bordure des Pyrénées ...) par rapport au nombre de forages.

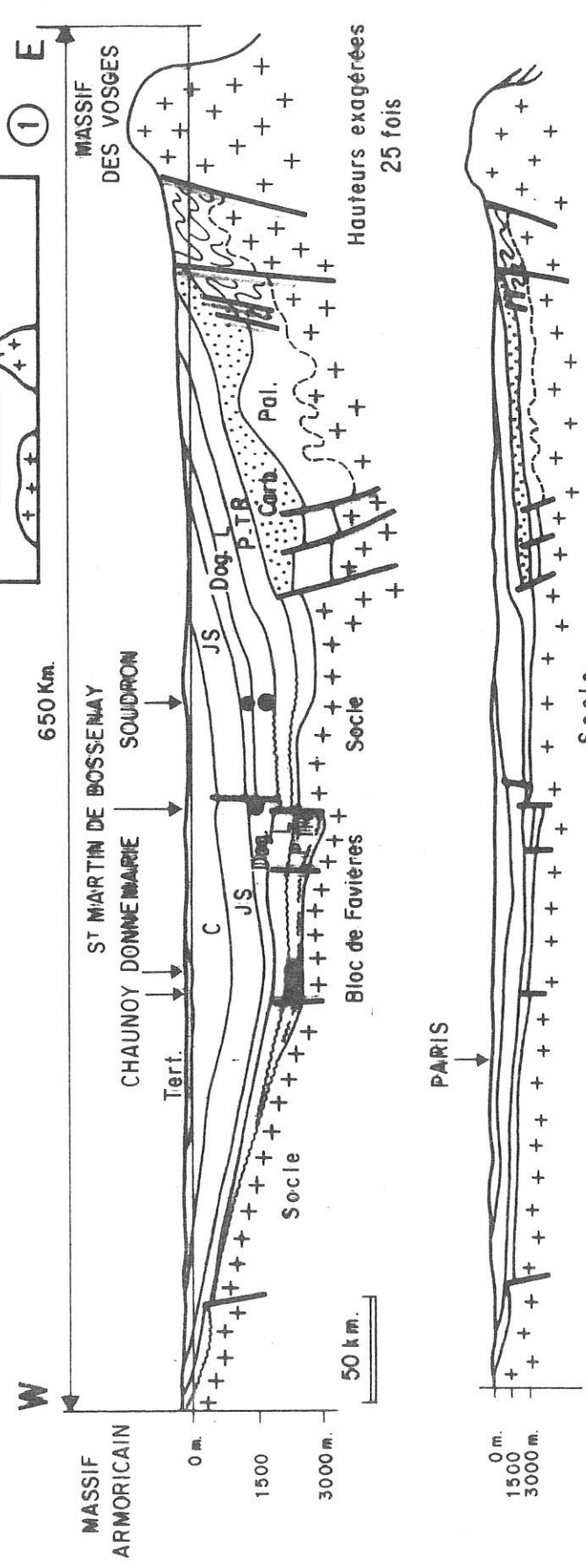
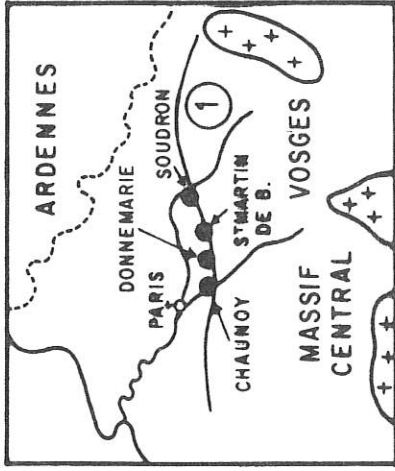
Maintenant les progrès techniques ayant évolué, les sociétés pétrolières se sont remises à chercher du pétrole dans le Bassin Parisien.

II.- ORIGINE DU PETROLE.-

Le plancton, poussé par le courant vers des bassins côtiers, meurt et se dépose avec les vases. Enfouie au fur et à mesure sous les sédiments plus récents, soumise à l'action des bactéries anaérobies, cette "gelée" de matière organique, ce proto-pétrole, évolue sous l'influence de la température et de la pression jusqu'à former dans la roche-mère les divers hydrocarbures qui constituent le pétrole brut. Sur les 175 milliards de tonnes par an de matières organiques qui se déposent, 1% seulement risque d'évoluer vers du pétrole (schéma 3).

BASSIN DE PARIS

COUPES GEOLOGIQUES



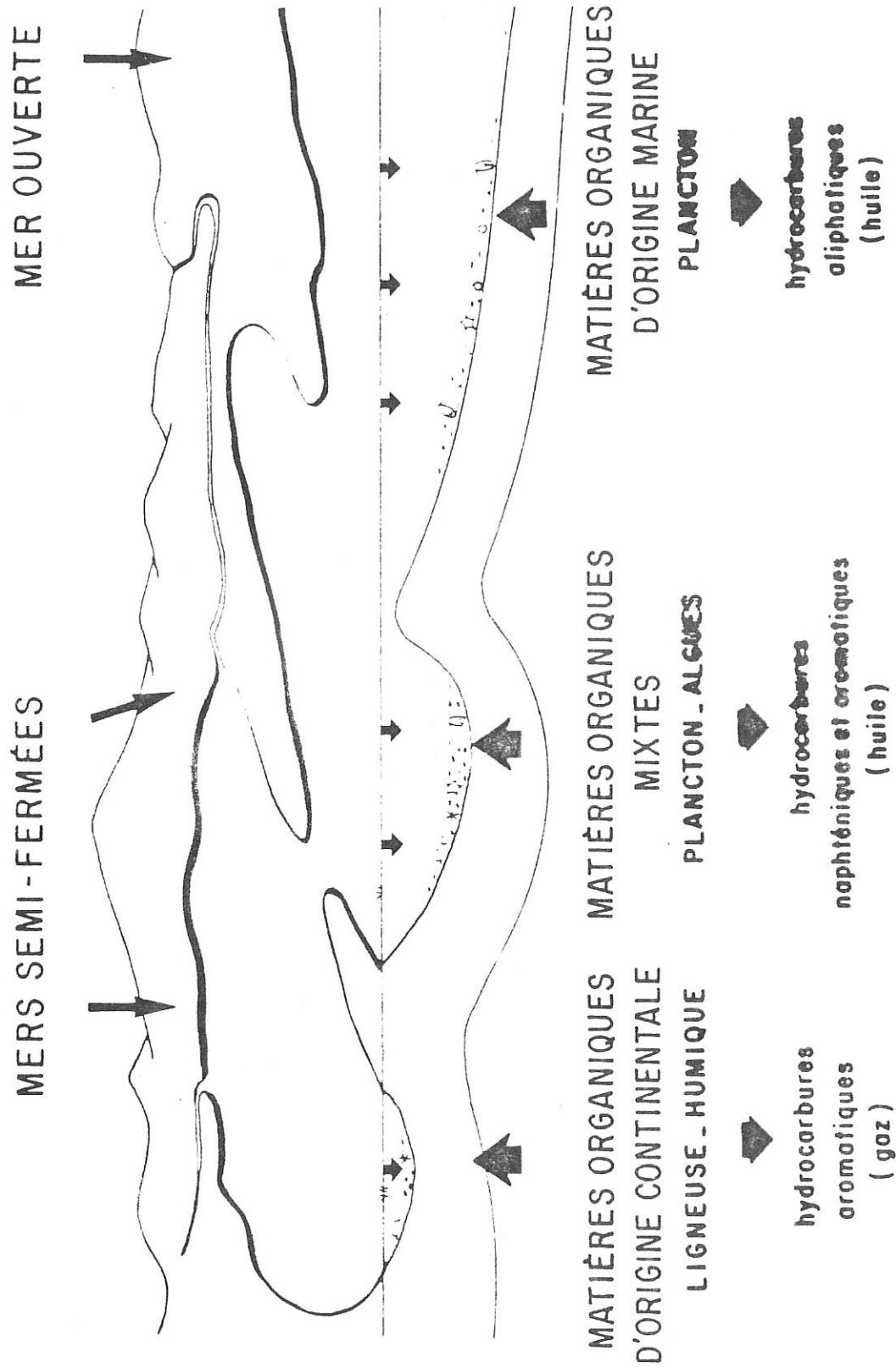
Hauturs et Longueurs
à la même echelle

- Tert : Tertiaire
- C : Crétacé
- JS : Jurassique Supérieur
- Dog : Dogger
- L : Lias
- P.T.R : Permo_Trias
- Carb : Carbonifère
- Pal : Paléozoïque
- : Gisement

Schéma 2.-

- ++++ Roches cristallines
- ==== Roches sédimentaires

EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE SUIVANT SON ORIGINE ET SON LIEU DE DEPOS



En effet, la plus grande partie du plancton disparaît avant d'atteindre le fond de la mer, et une portion de ce qui parvient au fond est détruite.

Pour que ces pertes soient réduites, il importe que le milieu soit peu profond (200 à 300 m.) et qu'il règne sur le fond des conditions calmes et anaérobies (absence d'oxygène). Dans les bassins sédimentaires, le fond de la mer s'est enfoncé lentement et progressivement et de nouveaux dépôts sont venus s'accumuler sur les couches précédemment déposées. Les sédiments se sont progressivement enfouis à des profondeurs atteignant 3000 à 5000 m. et où la pression et la température peuvent atteindre respectivement des valeurs de plusieurs centaines d'atmosphères et de 100 à 200°C. Si l'augmentation de pression entraîne d'abord l'expulsion des fluides, surtout de l'eau, contenus dans les vases, l'élévation de température se traduit par une accélération des réactions chimiques, et notamment par une transformation des substances organiques instables. Cette action thermodynamique se traduit par la constitution de corps organiques plus simples et plus stables ; et notamment d'hydrocarbures. Mais si cette action est trop violente, les hydrocarbures eux-mêmes sont détruits, les plus simples et les plus stables, comme le méthane, étant les plus résistants, et il ne reste plus finalement que du graphite (carbone presque pur) et de l'hydrogène.

Plus léger que les terrains et soumis à des pressions, le pétrole ne reste pas ou peu dans la roche-mère. Il a tendance à gagner la surface du sol en empruntant les fissures et les minuscules canaux des roches perméables. Cette migration peut le conduire jusqu'à la surface : en ce cas, les produits légers qu'il contient s'évaporent, le reste s'oxyde en matière asphaltique, il n'y aura pas la formation d'un gisement. Mais, si, sur sa route, le pétrole rencontre une couche de roche poreuse et perméable, surmontée d'une couche imperméable formant un "piège", alors, il va s'accumuler dans cette roche-magasin et former un gisement plus ou moins important. Le pétrole n'emplit jamais des sortes de lacs souterrains comme on a tendance encore à se le représenter quelquefois ; en réalité, il imbibe toujours une roche, un peu à la manière du café dans le morceau de sucre qu'on y trempe.

Une même série stratigraphique :

- peut avoir régionalement des faciès différents,
- peut être ou non réservoir potentiel,
- peut piéger ou non une accumulation d'hydrocarbures.

D'où la nécessité pour les sociétés pétrolières de savoir comment évolue une même strate au point de vue faciès pour cerner la région intéressante.

Le schéma 4, montre les différents pièges à hydrocarbure.

Le schéma 5, représente une coupe lithologique type du Bassin Parisien.

On voit qu'une couche du crétacé inférieur est devenue gréseuse. Le jurassique moyen a été l'un des premiers prospects. C'est une masse calcaire qui présente des porosités relativement faibles et amène des productions faibles. Il forme une barre très épaisse compacte empêchant pendant de nombreuses années les ondes sismiques de pénétrer. Maintenant des procédés plus sophistiqués permettent de passer au-delà et d'obtenir de

PIEGES A HYDROCARBURES

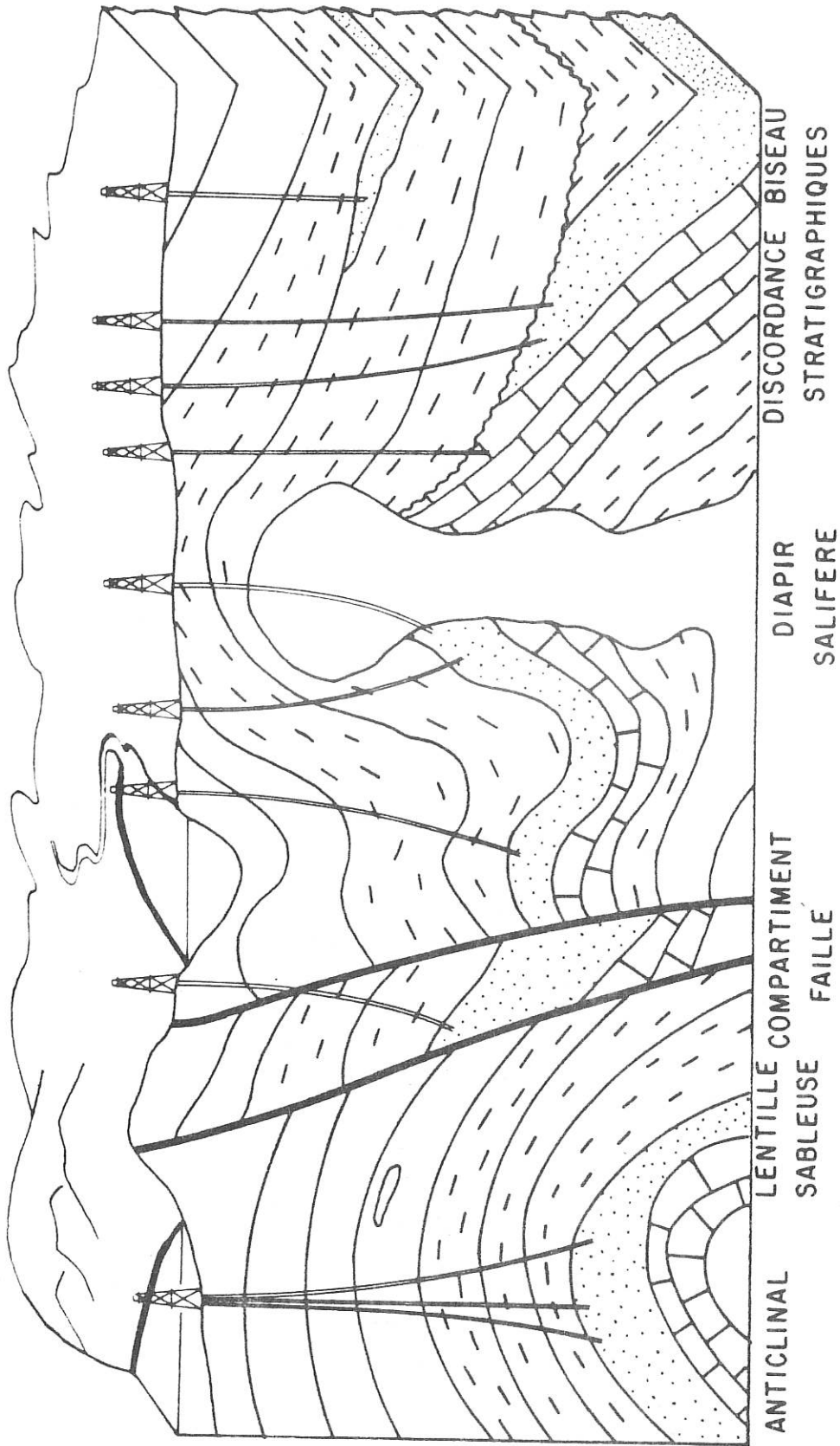
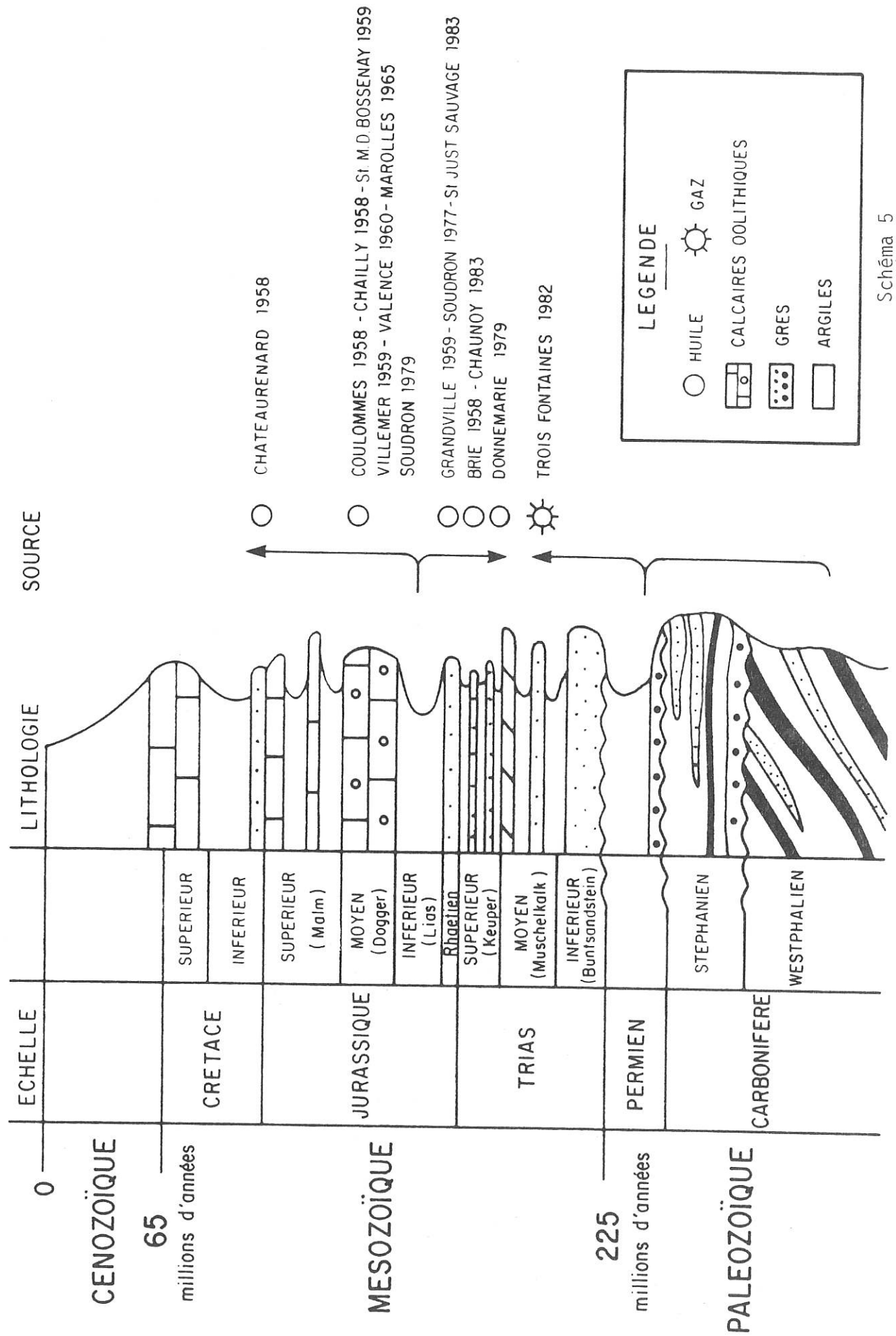


Schéma 4

COUPE LITHOLOGIQUE TYPE DU BASSIN DE PARIS

POSITIONNEMENT DES INDICES PETROLIERS



bonnes échographies des zones situées en-dessous.

On voit avec ce schéma que plus les années passent, plus les forages sont profonds grâce aux techniques de plus en plus performantes.

Après les études géologiques, une demande de prospection est déposée. Lorsque l'attribution du permis de recherche a été donnée on peut entreprendre des études sismiques.

Un ingénieur des mines surveille les travaux de forage, de façon à s'assurer qu'aucune source d'eau potable n'est touchée, déviée, etc ...

Forage (schéma 6).-

Turbine de forage.

La boue joue également le rôle de fluide moteur dans le procédé dit "turboforage". L'élément moteur, la turbine, avec le trépan à son extrémité, est situé au fond du puits. La turbine est à étages multiples (50 à 200 et plus). Le courant de boue y pénètre et fait tourner le rotor solidaire de l'arbre auquel est vissé le trépan.

Forages déviés.

La plupart des puits sont en principe forés verticalement. En fait, il y a toujours de petites déviations dues à la réaction de l'outil de forage sur les différentes roches rencontrées. Mais il est parfois nécessaire d'exécuter un forage volontairement dévié, dirigé obliquement par rapport à la verticale. Le degré d'inclinaison et l'orientation de la déviation sont contrôlés à l'aide d'un appareil appelé "inclinomètre" que l'on descend au fond du puits.

Carottage et examen des carottes.

D'un bout à l'autre de son exécution, le forage est contrôlé. Les déblais sont recueillis, examinés et datés grâce aux microfossiles. La boue est surveillée attentivement pour déceler la présence possible d'hydrocarbures liquides ou gazeux. Quand le forage traverse des couches jugées intéressantes sur le plan géologique et surtout quand il approche de l'objectif prévu, on effectue un "carottage". Un outil spécial en forme de couronne, garni de diamants - ou de molettes - découpe un cylindre de roche, la "carotte" que l'on remonte à la surface. Cet échantillon est examiné en détail par les géologues : étude des fossiles et microfossiles, datation, examens pétrographiques, analyse des fluides que la roche peut contenir, mesure de porosité et de perméabilité.

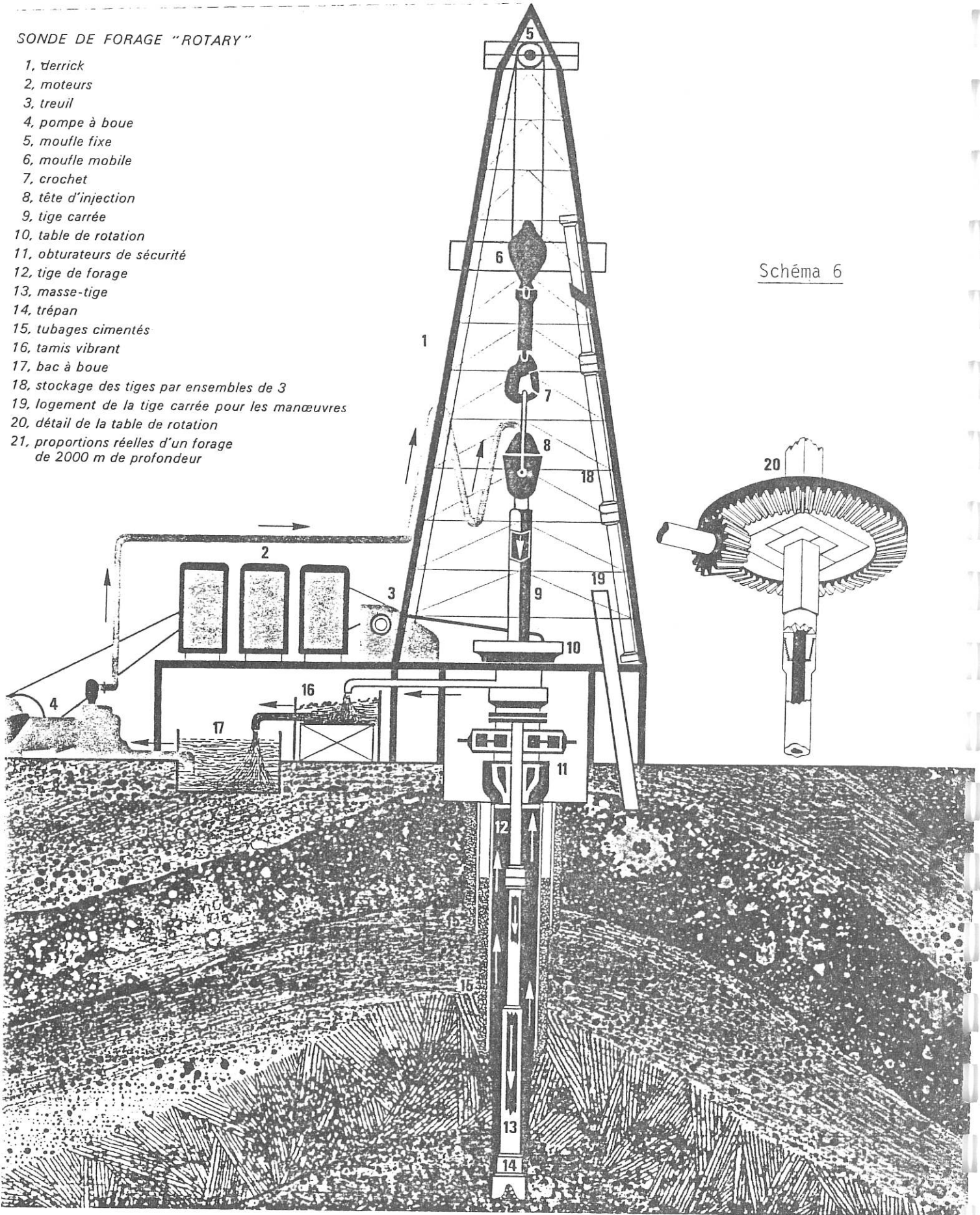
Tubage et cimentation.

Pour éviter que les parois du trou ne s'éboulent au cours du travail, on tube le puits. Les parois sont maintenues par des tubes d'acier à grande résistance, scellés par du ciment. Les tubages successifs doivent être glissés les uns dans les autres, comme les éléments télescopiques d'une lorgnette. Pour cimenter les tubes en place, on injecte par

SONDE DE FORAGE "ROTARY"

- 1, derrick
- 2, moteurs
- 3, treuil
- 4, pompe à boue
- 5, moufle fixe
- 6, moufle mobile
- 7, crochet
- 8, tête d'injection
- 9, tige carrée
- 10, table de rotation
- 11, obturateurs de sécurité
- 12, tige de forage
- 13, masse-tige
- 14, trépan
- 15, tubages cimentés
- 16, tamis vibrant
- 17, bac à boue
- 18, stockage des tiges par ensembles de 3
- 19, logement de la tige carrée pour les manœuvres
- 20, détail de la table de rotation
- 21, proportions réelles d'un forage de 2000 m de profondeur

Schéma 6



l'intérieur un coulis de ciment qui remonte entre les parois du puits et les tubes. C'est la boue injectée à travers la tête de cimentation qui pousse le coulis de ciment.

Carottage électrique et carottage radioactif : au cours du forage, on procède aussi à des mesures électriques ; cette technique, le "carottage électrique", mise au point par deux Français, les frères Schlumberger, est employée aujourd'hui dans le monde entier. Elle consiste à mesurer, à l'aide d'appareils détecteurs descendus dans le puits, certains phénomènes électriques dont les variations dépendent de la nature des roches et des fluides contenus. Cette méthode permet de déterminer avec une grande précision la nature et l'épaisseur des strates et de détecter celles qui contiennent les fluides.

Le carottage radioactif mesure l'émission spontanée de rayons gamma spécifiques de chaque roche ainsi que le rayonnement gamma secondaire provoqué par une source radioactive descendue avec l'appareil de mesure.

Permis de recherche.-

Une trame est fournie par le gouvernement.

Chaque société demande un certain nombre de 'carreaux'. Une zone est donnée pour 5 ans. Pour éviter que chacun en prenne trop, les sociétés doivent dépenser obligatoirement une certaine somme d'argent en fonction de la superficie demandée. De plus au bout de 5 ans il faut en rendre 50%. En 5 ans, les études complètes n'ont pu être terminées. Il faut donc "parier" et rendre ce qui paraît le moins intéressant.

La 10ème année, il faut rendre 25% de ce qui reste et la 15ème année, le reste.

Le schéma 7 montre la situation des permis dans le Bassin Parisien.

. Depuis les années 1950, on peut constater (schéma 8) une grande variation de la production de pétrole en France.

De 1951 à 1963, la production est passée de 290 milliers de tonnes à 3000 milliers de tonnes. Elle a donc en 13 ans été multipliée par 10.

De 1964 à 1975, un déclin est survenu. La production est arrivée en 1975 à environ 1000 milliers de tonnes. A cette époque, très peu de forages ont été entrepris.

Depuis 1976, une reprise s'est amorcée.

Des forages ont été entrepris et en 1983, la production est remontée à plus de 2000 milliers de tonnes.

. Plus localement dans le Bassin Parisien, de 1958 à 1965, environ 539 puits ont été forés. De 1965 à 1976 aucun puits n'a été foré

BASSIN DE PARIS

50 KM

- Emplacement
- ⊙ En forage
- ⊖ En cours d'essais
- ⊕ Indice d'huile
- Producteur d'huile
- ☆ Indice de gaz
- ☀ Producteur de gaz
- ⊕ Sec
- ⊙ Observation

BARON
 TOTAL 50% Op.
 ESSO REP 40%
 SEAXE 10%

COMPIEGNE
 ESSO REP 100%

SENLIS (a) (b)

VEXIN
 ESSO REP demande

MARSARGE
 ESSO REP 55% Op.
 SNEA(P) 32.5%
 TOTAL 12.5%

L'ORGE
 ESSO REP demande

LA FERTE-ALAIS

ESSONNE

BEAUMONT-MILLY
 ESSO REP demande (a) (b)

LOIRET
 ESSO REP 100%

ESSONNE
 FERTE - ALAIS
 STE MENEHOULD
 SENLIS
 SENZANNE

SNEA(P) 52,99% Op.
 ESSO REP 27,91%
 B P 15,10%
 PETROREP 4%

STE MENEHOULD
 ABCDEF

ARGONNE
 ESSO REP demande

L' AIRE
 ESSO REP demande

SEZANNE

ORMANÇON
 ESSO REP demande

BAR-LE-DUC
 ESSO REP 66.66% Op.
 EURAFREP 33.33%

COULMIERS-TROYES
 ESSO REP 100% (1) (2) (3)

MERY-SUR-SEINE
 ESSO REP demande

AIX-EN-OTHE
 ESSO REP demande

NOGENT-SUR-SEINE
 ESSO REP demande

MONTEREAU
 SNEA(P) 65% Op.
 ESSO REP 25% - CLYDE 10%

DORMANS
 ESSO REP demande

MEAUX NORD
 ESSO REP 85% Op.
 PETROREP 15%

BRIE
 ESSO REP 100%

SENS

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

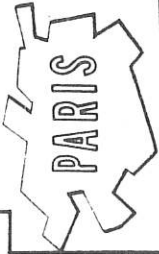
COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES

COULMIGNES



et de 1976 à 1984, 80 puits l'ont été.

Jusqu'en 1965, les forages ne dépassaient pas une profondeur de 1972 mètres (par rapport au niveau de la mer). Maintenant, ils atteignent 2500 mètres et plus.

Production brute en
milliers de tonnes

EVOLUTION DE LA PRODUCTION
D'HUILE EN FRANCE

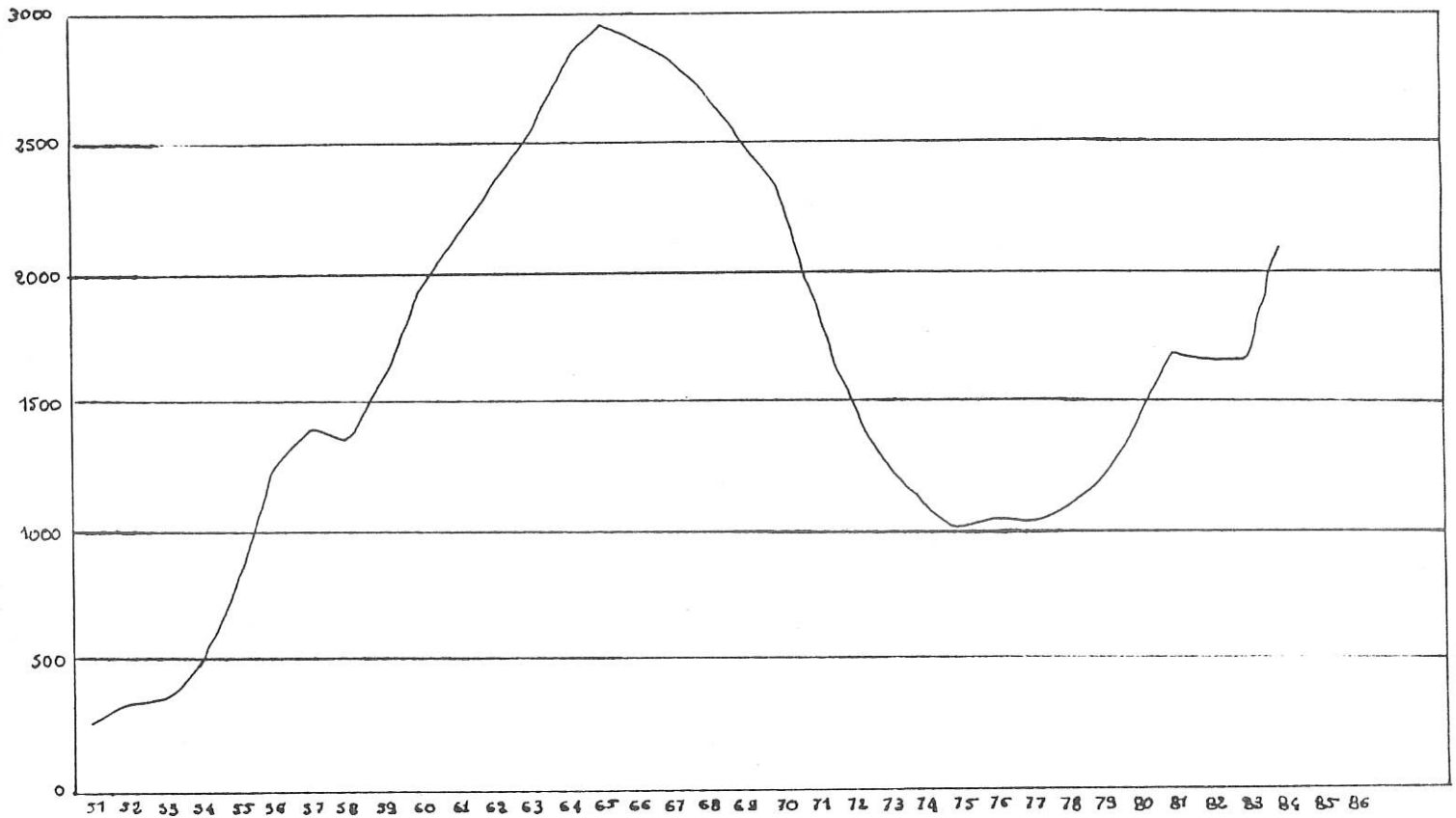


Schéma 8

L'activité des recherches, outre les progrès techniques, dépend également de l'économie mondiale et de la politique de chaque pays.