

Du pétrole pour 30 ans

Claude Sallé *

Soixante pour cent de l'énergie consommée en France provient du pétrole ! Il n'est pas surprenant que l'actualité se soit emparée de ce sujet brûlant et que les hommes qui ont la charge d'assurer l'approvisionnement en pétrole soient sollicités de donner leur avis sur une crise qui ébranle dangereusement l'économie et remet en cause le mode de vie.

On parle d'économie, il s'agit en fait d'éviter le gaspillage déraisonnable. On prépare le développement de l'énergie nucléaire. On étudie les sources de remplacement, grès et chistes bitumineux, géothermie, énergie solaire, etc. On réhabilite le charbon. Mais, dans l'immédiat, aussi bien qu'à moyen terme, le pétrole conserve un rôle irremplaçable. Les quelques chiffres que l'on me donnera de citer ci-dessous sont éloquentes à cet égard :

Selon les hypothèses raisonnablement optimistes des services compétents, il semble bien qu'en 1985 la part du pétrole dans la consommation mondiale d'énergie demeurera voisine de 40 - 45 %, ce qui représente 3,5 à 5 milliards de tonnes par an de pétrole. A l'horizon 2000, les estimations sont moins fiables, on suggère 35 - 40 % soit 5,5 à 7,5 milliards de tonnes par an. Ces chiffres conduisent à une consommation cumulée de 100 à 140 milliards de tonnes d'ici l'an 2000, alors que l'industrie pétrolière n'a produit depuis ses origines que 40 milliards de tonnes.

Pour faire face aux besoins, les réserves actuellement prouvées s'élèvent à 90 milliards de tonnes environ et devraient garantir une trentaine d'années de consommation au rythme actuel. Mais leur répartition est très particulière : 57 % sont situées au Moyen-Orient, 62 % dans les pays arabes. De plus, le monde occidental pour sa part s'est approvisionné en 1974 à 72 % à partir du monde arabe. Cette dépendance impose une diversification politique des ressources. Elle doit être acquise au prix d'un effort d'exploration de grande envergure dont les règles d'orientation obéiront à des impératifs nouveaux.

De nouveaux territoires de chasse

La crise a fait du pétrole une matière première onéreuse. La part des coûts techniques d'exploration et de production dans le prix du pétrole brut diminue considérablement devant la brutale augmentation des charges fiscales imposées par les pays producteurs. De nouvelles zones considérées jusqu'à ce jour comme économiquement inaccessibles vont donc s'ouvrir à l'exploration et offrir la diversification dont nous avons besoin. La réalité est plus complexe : il faut démontrer qu'il existe bien dans le monde de nouveaux territoires de chasse assez vastes et prometteurs pour fournir un appoint suffisant à notre approvisionnement. Il faut s'assurer que nous possédons, en plus des moyens financiers, les moyens techniques pour aborder leur exploration et leur exploitation.

Notre propos sera de montrer comment, parmi les sciences de la terre, la géologie et la géophysique, son efficace bâton d'aveugle, peuvent contribuer à répondre à ces questions.

En plein Sahara, à un millier de kilomètres au Sud d'Alger, le gisement d'Hassi Messaoud (fig. 1) se présente en profondeur sous la forme d'un vaste dôme s'étendant sur 45 km du Nord au Sud et 30 km d'Est en Ouest. Il a été découvert à l'aide de mesures géophysiques qui ont fourni des informations sur la forme des couches dans le sous-sol. Vers 3 000 m, les forages ont rencontré un horizon gréseux dont l'épaisseur atteint 120 m. Le pétrole occupe les vides de ce grès poreux et perméable qui constitue le réservoir. Il est très rare que le pétrole occupe entièrement les pores de la roche. Il partage les lieux avec l'occupant normal et omniprésent : l'eau. Ainsi se présente tout gisement : un réservoir dans lequel le pétrole et l'eau cohabitent et circulent, un piège, en l'occurrence une forme en dôme, dans laquelle le pétrole occupe la partie haute, une couverture qui assure l'étanchéité.

Malgré les nombreux travaux effectués par des organismes ou des chercheurs sérieux auxquels il faut ajouter l'intervention de quelques charlatans, il n'existe aucune méthode permettant de détecter directement, depuis la surface, la présence d'hydrocarbures en profondeur. La prospection est donc fondée sur les connaissances géologiques réunies sur les accumulations d'hydrocarbures.

Au cours d'une expérience industrielle, plus que centenaire, un schéma théorique qui s'efforce d'expliquer la mise en place des gisements de pétrole a été patiemment conçu. On a, pour cela, procédé à une analyse critique de milliers de situations géologiques variées en établissant leurs relations avec la présence ou l'absence d'hydrocarbures. Des années de travaux scientifiques ont, parallèlement, réuni des données fondamentales qui permettent d'expliquer certaines de ces relations.

Grâce à des milliers d'observations et d'analyses minutieuses, les techniciens ont ainsi tenté de retracer l'histoire de la formation du gisement d'Hassi Messaoud, qui a duré près de 500 millions d'années. Entre le dépôt du réservoir et le début de son remplissage par les hydrocarbures que l'on y trouve actuellement, il s'est écoulé près de 350 millions d'années. Entre temps, nous avons assisté au dépôt de la roche-mère, à la formation du dôme, à la mise en place d'une couverture et enfin à l'enfouissement régional permettant la formation des hydrocarbures actuels.

Hassi-Messaoud, comme tout gisement, apparaît comme un lieu privilégié où s'est déroulée une suite d'événements favorables convenablement répartis dans l'espace et ordonnés dans le temps, intimement liés à l'histoire géologique dont ils font partie intégrante. On comprend pourquoi la découverte de nouveaux gisements relève essentiellement de l'application de la géologie.

Pour localiser ces lieux privilégiés l'exploration prend la forme d'une minutieuse étude d'historien, ou mieux, d'une patiente enquête policière dans laquelle le géologue-détective prend en quelque sorte, en filature, cette suite d'événements favorables et réunit observations et mesures qui permettent d'en

* Directeur de la Division Géologie. Institut Français du Pétrole.

*Comme Vénus,
le pétrole de demain sortira de l'eau :
recherche du pétrole
en mer du Nord (1972).*

retracer l'histoire. Le déroulement de l'enquête dépend du problème posé et de l'état des connaissances déjà acquises. On peut en général y reconnaître les étapes suivantes :

- au début de la campagne d'exploration, la compagnie se livre à une étude critique des travaux antérieurs et des documents géologiques existants, qu'ils soient pétroliers ou non. Cette analyse conduit à déterminer si, dans la région considérée, les conditions géologiques sont favorables ou non, à localiser un secteur où ces conditions sont particulièrement bonnes, à établir un programme d'études complémentaires destiné à contrôler les hypothèses que les travaux antérieurs ont permis de formuler ;

- lorsque les informations le permettent, on effectue une première estimation économique, encore imprécise mais qui donne une idée du volume minimum de pétrole à découvrir pour que l'opération soit rentable compte tenu des conditions géographiques locales et des conditions économiques générales. Lorsque la réponse est positive, on dépose dès ce stade une demande de permis d'exploration ;

- une étude à l'affleurement des horizons géologiques du bassin sédimentaire où sont situées les surfaces retenues est confiée à une équipe de géologues de terrain. Son premier souci est de dresser, si elle n'existe déjà, une carte géologique qui fait l'inventaire des affleurements, date les horizons par les fossiles ou les microfossiles que l'on y rencontre, décrit la nature pétrographique des roches et figure leur géométrie. L'examen de photographies aériennes ou de photographies par satellites, couvrant un large spectre de longueur d'onde permet des gains de temps considérables et apporte des informations complémentaires fort instructives (continuité des accidents géologiques sur de grandes distances et sous de faibles recouvrements de quaternaire qui les masquent aux yeux du géologue de terrain, etc.).

Des examens de laboratoire précisent les observations de terrain. L'étude des caractéristiques pétrographiques et physiques et du mode de dépôt des roches poreuses permet de prévoir l'existence de réservoirs. La composition de la matière organique associée à certaines roches, son degré d'évolution comparé à la profondeur d'enfouissement témoignent de la qualité et de la quantité des produits pétroliers formés dans la région, et susceptibles de remplir les réservoirs précédents.

Lorsque les horizons géologiques sont masqués par des recouvrements épais, lorsqu'il existe une disharmonie entre les horizons superficiels et les horizons profonds, le géologue délègue alors ses pouvoirs au géophysicien qui mesure, en surface, des caractéristiques physiques susceptibles de traduire les anomalies du sous-sol.

La synthèse de toutes ces données permet au géologue de reconstituer, dans ses grandes lignes, l'histoire géologique du bassin sédimentaire auquel il s'intéresse.

L'enquête tire à sa fin. On localise les régions où tous les processus nécessaires à la mise en place du gisement se sont succédé dans le bon ordre : dépôt et





préservation de la matière organique, dépôt des réservoirs et des couvertures, formation des pièges, transformation de la matière organique en pétrole et migration de ce pétrole vers les pièges.

Il est bien rare que l'ensemble des informations soit disponible en chaque endroit. Le géologue comble les lacunes par des hypothèses et procède au choix de quelques points clés pour y implanter les sondages d'exploration. Compte tenu des connaissances du moment, ces sondages présentent les meilleures probabilités de découverte.

La durée de vie d'un gisement de pétrole est relativement courte comparée à celle des autres ressources minières. Le déclin de production intervient en général en moins de vingt ans. Cette remarque entraîne une structure particulière de l'industrie pétrolière dans laquelle l'exploration joue un rôle prépondérant et est astreinte à des réactions rapides pour faire face à une conjoncture mouvante. L'exploration est ainsi agitée de crises perpétuelles plus ou moins profondes. Un savant augure comme Arrhénius, prix Nobel de chimie, ne déclarait-il pas en 1923 « qu'il n'y aurait probablement plus de pétrole en 1940 et certainement plus une goutte en 1950 » ! Il y a moins de dix ans, dans le monde entier, on reconvertissait les géologues en raison du caractère pléthorique des réserves ! On connaît la situation actuelle.

Les premiers gisements découverts n'excédaient pas quelques dizaines de mètres. On produit aujourd'hui des hydrocarbures à 5 000 m de profondeur et l'on envisage de produire beaucoup plus profondément. Le domaine minier s'accroît donc également selon la verticale. Mais la terre est un volume fini et les lois de l'équilibre thermodynamique nous enseignent qu'à partir de certaines conditions de températures et pressions les hydrocarbures se transforment en graphite. Les réserves sont donc nécessairement limitées. L'estimation des réserves ultimes du globe varie selon les auteurs entre 500 et 800 milliards de tonnes. Il est difficile de savoir quel crédit on peut accorder à de tels chiffres étant donné le caractère rudimentaire des hypothèses qui ont servi de base aux calculs. Toutefois les réserves n'inspirent pas d'inquiétude pour plusieurs décennies. On constate cependant que réserves ultimes et besoins (100 à 150 milliards de tonnes jusqu'à l'an 2000) sont maintenant du même ordre de grandeur.

On peut raisonnablement penser que les gisements les plus évidents et les plus rentables ont déjà été découverts ou le seront dans un avenir proche tout au moins dans les bassins sédimentaires déjà productifs. Sur le territoire métropolitain, on cherche dès maintenant des « prospects » plus profonds ou plus complexes dont la localisation est beaucoup plus difficile. Les zones vierges ou à faible densité d'exploration se font rares et lorsqu'elles existent (zones arctiques, zones marines profondes), elles sont situées dans un milieu hostile à

*On prévoyait bien en 1923
qu'il n'y aurait plus une goutte
de pétrole en 1950 !
forage d'Abou Dhabi).*

l'homme où les techniques classiques ne sont pas toujours susceptibles d'application immédiate.

Pour maintenir la rentabilité, il faut accroître l'efficacité. Il faut trouver des critères plus simples, plus objectifs et plus significatifs de la présence ou de l'absence de pétrole de manière à limiter le nombre des forages improductifs. Ces critères doivent être déterminants à un stade très précoce des travaux alors que l'information géologique fait encore cruellement défaut.

La mise au point d'une méthode de détection directe des hydrocarbures offrirait une solution élégante. Comme nous l'avons dit, les recherches menées pendant de nombreuses années dans ce sens sont demeurées malheureusement infructueuses.

Il faut toutefois signaler que les progrès récents de la sismique réflexion apportent peut-être un premier élément de succès (fig. 2). Un gisement d'hydrocarbures est généralement formé d'une trilogie classique : gaz, huile et eau qui se séparent par gravité, le gaz occupant le sommet du piège. La surface de contact entre le gaz et l'huile ou l'eau joue le rôle d'un miroir sismique car les propriétés mécaniques de la roche réservoir varient de part et d'autre en raison de la nature différente des fluides qui l'imprègnent. Ces miroirs sont visibles sur les enregistrements et connus sous le nom de « points brillants ». Lorsqu'un piège a été détecté et qu'il est accompagné d'un point brillant il occupe, on le conçoit aisément, une position prioritaire dans le programme d'exploration.

La voie d'approche classique consiste, nous l'avons vu, à procéder à la collecte et à l'analyse d'un grand nombre de données à l'aide desquelles le géologue reconstitue, comme il le ferait d'un puzzle, le schéma théorique selon lequel un gisement peut se mettre en place. En fait, il ne possède ni toutes les données, ni toutes les connaissances nécessaires à une approche rigoureuse. Il imagine donc un « gisement hypothétique » dont il vérifie l'existence par forage. L'hypothèse a d'autant plus de chances d'être exacte que les données sont, d'une part plus complètes, et d'autre part plus pertinentes, c'est-à-dire qu'elles s'intègrent mieux dans un schéma théorique dont la connaissance fondamentale est plus précise.

Un forage sur dix

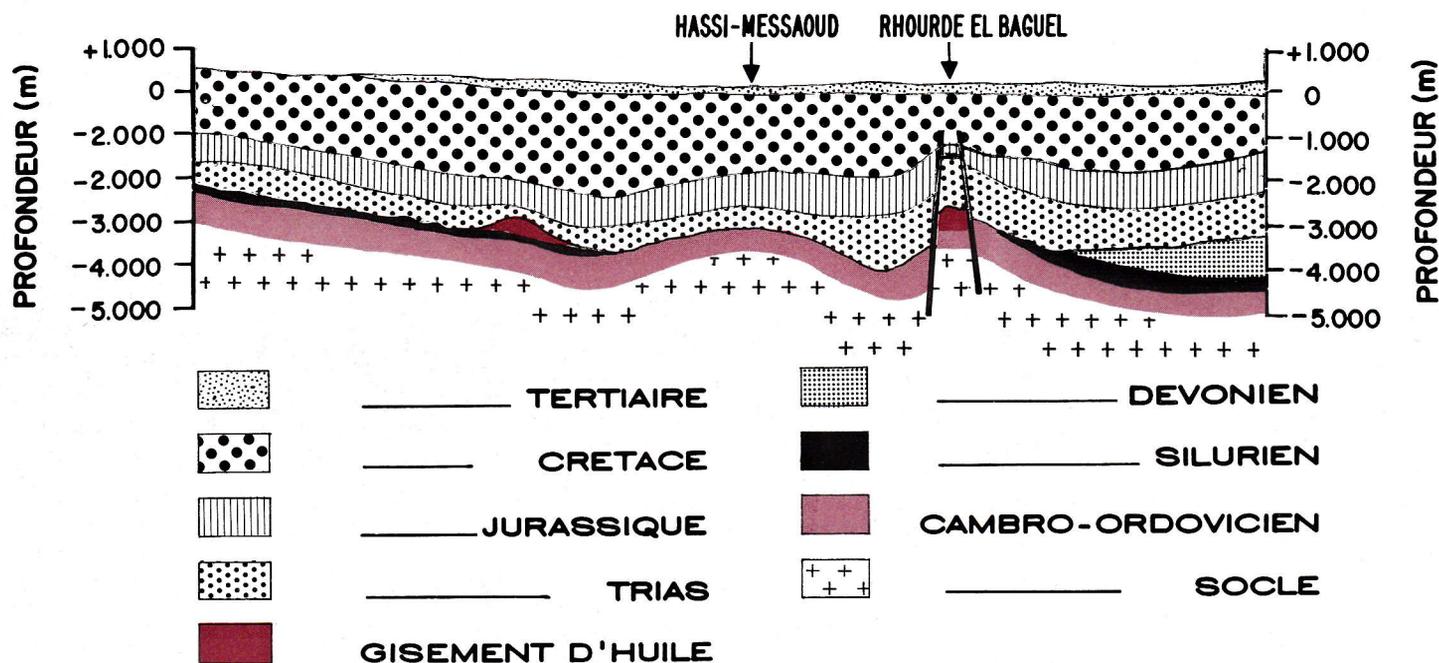
La marge d'incertitude provenant d'une insuffisance conjuguée dans ces deux domaines est encore telle que seul un forage sur dix en moyenne rencontre une accumulation commerciale. Pour réduire cette marge, il faut impérativement poursuivre un effort de recherche scientifique et technique pour rendre moins coûteuse la collecte des données, multiplier leur nombre, et pour accroître la qualité de ces données ; pour mieux comprendre le déterminisme des phénomènes observés.

Le degré de connaissance des phénomènes a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie. On a su montrer, par exemple, que l'accroissement de température causé par l'enfouissement progressif d'une couche dans le sous-sol joue un rôle prépondérant dans la trans-

formation en pétrole de la matière organique qu'elle peut contenir. La cinétique du phénomène a été élucidée. Le temps est proche où, en routine, un modèle mathématique sera capable de rendre compte de la quantité de pétrole formée, de l'époque de cette formation, et de la qualité des produits formés. Quelques mesures simples et standardisées caractérisant la nature de la matière organique et son degré d'évolution fourniront au modèle les constantes dont il a besoin.

Les variations latérales de porosité ou de perméabilité dans les réservoirs, en s'opposant au mouvement des fluides peuvent aussi provoquer des pièges dont certains, par leur vaste extension, ont une grande valeur commerciale. La lo-

que, dans ce domaine, l'art est difficile. Les sciences de la nature, en général, se prêtent mal à l'étude des relations de causalité. Le temps qui joue un rôle prépondérant dans une évolution irréversible du globe et qui constitue une dimension propre à la géologie, aussi bien que la complexité des phénomènes naturels qui dépendent d'un grand nombre de facteurs dont l'influence individuelle est difficile à cerner rendent toute expérimentation laborieuse sinon impossible. Les voies d'approche et les méthodes de recherche de cette science sont particulières : paléontologie, écologie, pétrographie, sédimentologie, tectonique. Elles sont principalement orientées vers l'observation, la description qualitative, la classification.



Gisement de Hassi Méssaoud, Algérie.

gique de ces variations nous échappe très souvent car le manque de continuité des observations ne permet pas une interprétation correcte des conditions de dépôts et la découverte de ces pièges est abandonnée au hasard d'un forage heureux. Ils présentent pourtant, même dans les bassins très explorés, un large potentiel que des recherches en cours devraient permettre d'exploiter : on étudie en effet la possibilité de suivre ces variations depuis la surface grâce à la sismique réflexion.

La maîtrise de certains maillons de la chaîne des événements qui conduisent à la formation d'un gisement est encore précaire. Comprenant mal le mécanisme des migrations des hydrocarbures dont on a, partout, de multiples preuves, on est incapable d'en utiliser correctement les enseignements pour orienter les travaux d'exploration.

Succès des premières applications, promesses d'aujourd'hui et surtout besoins pressants, tout incite à intensifier l'effort de recherche scientifique d'autant plus

Pour comprendre les mécanismes fondamentaux de la formation des gisements, la « géologie pétrolière » fait également appel à un ensemble d'autres techniques qui sont souvent familières à d'autres branches de notre industrie : la cinétique et la thermodynamique chimiques pour la genèse du pétrole, la physico-chimie des surfaces, la mécanique des fluides pour la migration, la mécanique des roches pour la formation des pièges ou la fracturation des réservoirs, etc. Elle marque une nette tendance à caractériser les phénomènes de manière quantitative. Elle utilise enfin les mathématiques et l'informatique pour le traitement des données, et s'efforce de représenter les phénomènes par des modèles mathématiques.

Ceci implique le développement de recherches réunissant des compétences différentes et la constitution d'équipes pluridisciplinaires auxquelles s'impose la contrainte que toute explication du phénomène étudié doit rester compatible avec les conditions naturelles

dans lesquelles il s'est produit. L'expérience montre qu'à ce prix on peut atteindre une explication cohérente des mécanismes fondamentaux des phénomènes géologiques.

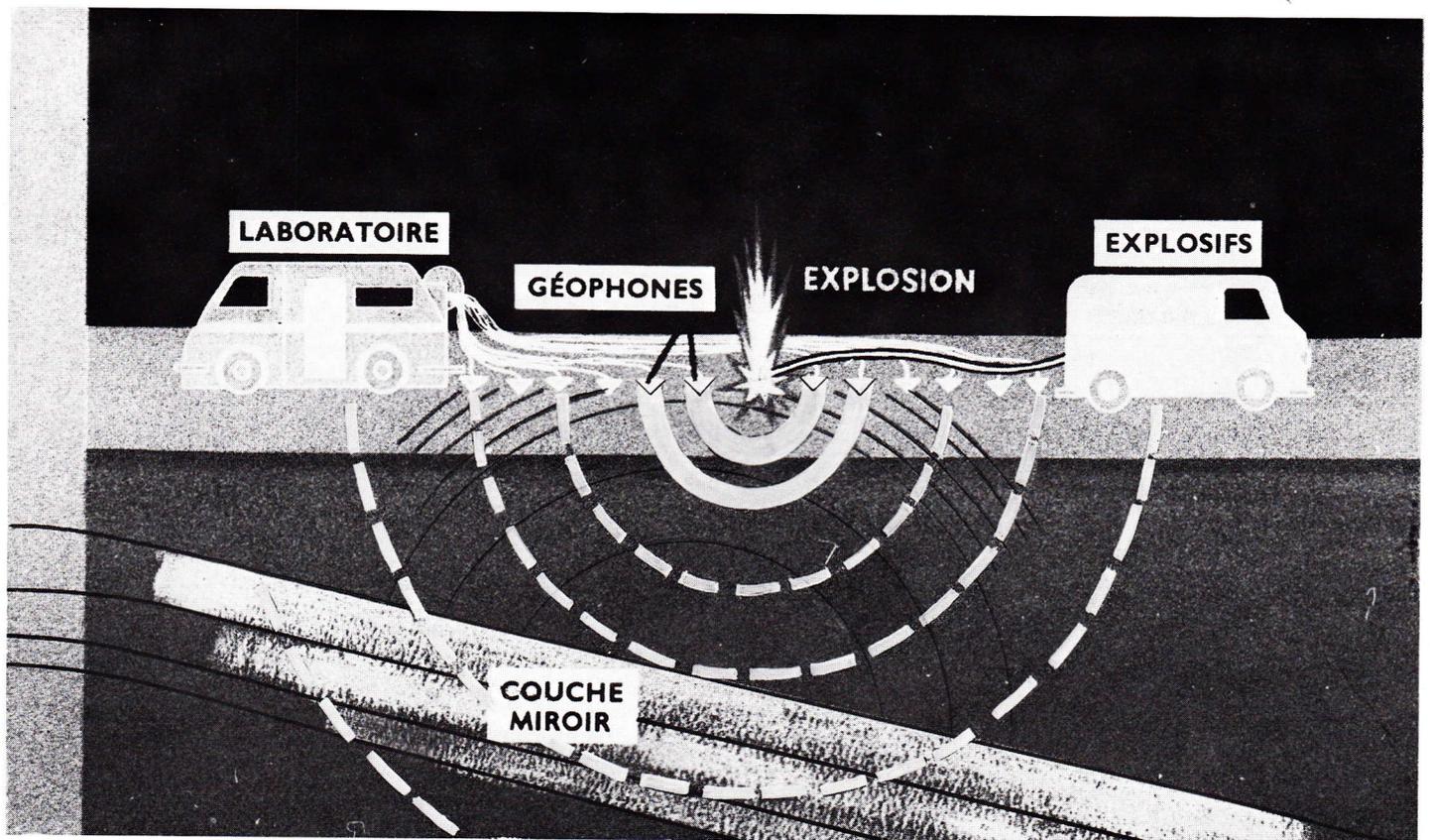
Le pétrole est suffisamment dissimulé pour que les méthodes nouvelles d'exploration fourbies dans le secret des laboratoires soient les bienvenues pour aborder les problèmes futurs et pour leur donner une solution dans des délais et des conditions de rentabilité compatibles avec les impératifs industriels. Parmi les territoires de chasse de l'avenir, la mer me paraît être le plus attrayant. Son exploration n'a été que timidement abordée au voisinage des régions déjà productives à terre. Les progrès récents et spectaculaires de la géologie sous-marine nous enseignent

de 70 % de la production mondiale actuelle !

Comme Vénus

Le pétrole de demain, comme Vénus, sortira-t-il de l'onde ? Il faut s'y préparer. Découvrir et produire économiquement des hydrocarbures par plusieurs milliers de mètres d'eau demande, certes, une grande maîtrise technique. Mais l'enjeu est tel que la compétition internationale est déjà lancée.

Pour gagner la bataille de l'énergie, rien ne peut être négligé. L'Europe ne peut prendre aucun risque aussi longtemps que le relais par l'énergie nucléaire ne sera pas définitivement assuré. Elles sont dans une situation moins favorable que l'Amérique du Nord qui, en plus de sa production de



La méthode sismique.

que le mode de formation et la structure des bassins sédimentaires marins sont étroitement liés aux phénomènes d'ouverture océanique. Or ce que nous savons aujourd'hui de ces phénomènes nous autorise à penser qu'ils ont créé en divers endroits des conditions géologiques favorables : à la genèse du pétrole, au dépôt des réservoirs et des couvertures, et à la formation de pièges. Ils occupent sur le globe une superficie de 25 millions de kilomètres carrés en se bornant à l'isobathe — 1000 m et de 90 millions de kilomètres carrés si l'on accepte de descendre jusqu'à — 4 000 m. Une simple comparaison avec les surfaces des bassins sédimentaires terrestres qui n'excède pas 65 millions de kilomètres carrés montre qu'il s'agit là du plus vaste domaine minier à peu près vierge qui ait jamais été offert à la convoitise des prospecteurs. Ces bassins sont de création récente datant tout au plus du début du secondaire, or on sait que les bassins récents, secondaires et tertiaires, fournissent à eux seuls plus

pétrole domestique (les Etats-Unis occupent encore le premier rang des producteurs mondiaux), dispose de gigantesques réserves de charbon, de sables asphaltiques et de schistes bitumineux. Les économies européennes et françaises sont plus directement sensibles aux vicissitudes du pétrole classique. La situation peut paraître préoccupante mais elle est, je crois, à la mesure de l'industrie française qui, en très peu d'années, a su se hisser, dans tous les domaines de l'exploration, au niveau de compétence des grands groupes internationaux. La France s'est dotée d'un vaste domaine minier qui couvre 1 300 000 kilomètres carrés et représente plus du dixième des territoires concédés dans le monde. Dans la mesure où elle est capable de dégager les moyens financiers nécessaires, elle peut prétendre occuper une position de force pour découvrir et mettre en œuvre les gisements qui pourvoient, de manière compétitive, à l'approvisionnement du pétrole de demain.

c.s.