

L'énergie des rochers: les schistes bitumeux.

par A. Combaz *

Parmi les termes anciens de la nomenclature géologique, consacrés par l'usage plus que par la raison, il faut compter l'appellation « schistes bitumineux ». D'aspect laminé, rarement fissiles, ils ne sont pas pour autant des « schistes », la pétrographie réservant ce terme aux roches argileuses ayant subi les atteintes du métamorphisme. Ce n'est pas le cas, bien au contraire, des soi-disant « schistes bitumineux ». Il ne faudrait pas non plus les rapprocher des « sables bitumineux » malgré leur adjectif trompeur. En effet, ces derniers sont imprégnés de « bitume », mélange d'hydrocarbures lourds associés à divers composés hétéro-atomiques alors que les « schistes bitumineux » n'en contiennent pratiquement pas.

N'étant pas des charbons, bien que combustibles, ne contenant que des traces de bitume, mais pouvant en produire, de quelles roches s'agit-il donc au juste ? Il en existe toute une gamme parmi les roches sédimentaires plus ou moins carbonatées et argileuses. Ignorant longtemps la notion même de « roche-mère » de pétrole, la tradition ancienne avait donc dénommé « schistes bitumineux » des roches organiques dont la chaleur peut extraire du « bitume ». Puis résumant d'un terme faussement savant le matériau et son usage, on a voulu substituer le terme « pyroschistes » au mot ancien jugé inadéquat. En fait, il est plus raisonnable d'adapter le vocabulaire aux connaissances acquises dans ce domaine.

Le terme « schistes bitumineux » consacré par un long usage peut difficilement être répudié, mais le langage pertinent que l'on doit utiliser à la suite des travaux d'Henri Potonie au début du siècle, est celui de « roches carbonées » par opposition aux « roches carbonatées » et de « roches sapropéliques » par opposition aux « roches charbonneuses ».

Les roches sapropéliques formées de matière organique de type algaire dominant, plus ou moins diluée par une composante minérale argilo-carbonatée, sont assez communes. Ce sont elles qui, à l'affleurement ou à faible profondeur, ont été traditionnellement dénommées « schistes bitumineux ». Leur intérêt économique tient à leur teneur appréciable en carbone (> 5 %) et, au fait que leur potentiel en huile est resté plus ou moins intact. Il s'agit dès lors d'en tirer artificiellement ce pétrole que la Nature a jusqu'ici négligé d'exprimer elle-même.

Comment exploiter les schistes bitumineux ?

Le pétrole une fois trouvé, son exploitation est relativement facile, à terre tout au moins, car il représente de l'énergie sous une forme concentrée, et liquide. La nature a distillé pour nous d'importantes masses de roches sapropéliques enfouies et a stocké le distillat dans des pièges plus ou moins bien cachés et inaccessibles. Le jeu consiste à les découvrir : on l'a joué si intensément au cours des dernières décades que le nombre, forcément limité, des cachettes encore inconnues diminue de plus en plus. Et l'on s'apprête, à grands frais, à en découvrir surtout au fond des mers, et bientôt à épuiser les dernières...

Avec le charbon, les difficultés sont déjà plus grandes puisqu'il faut aller l'extraire du sous-sol, mais c'est aussi de l'énergie concentrée. Les réserves sont à peu près connues. Elles sont importantes surtout dans les pays déjà bien pourvus en pétrole, notamment aux Etats-Unis. Des techniques nouvelles permettront peut-être la gazéification ou la liquéfaction sur place des veines de houille assurant un approvisionnement énergétique important et de qualité voisine de celle du pétrole.

Mais les roches sapropéliques même de bonne teneur, comme les Green River Shales avec 146 litres/tonne, posent de difficiles problèmes technologiques et économiques. L'énergie qu'elles contiennent, d'origine solaire elle aussi, ne se présente plus que sous forme de kérogène, dilué dans la matière minérale. Il faut donc, non seulement, aller chercher ces roches sous terre, mais encore les traiter à grands frais pour en extraire 1/20^e, au mieux 1/7^e de leur poids sous forme de gaz et d'huile de roche. A moins que l'on parvienne là encore à provoquer la distillation dans la couche même, et à produire l'huile en surface.

Envisageons donc les diverses perspectives d'exploitation des « schistes bitumineux ».

La pyrogénéation

De même que les Allemands brûlent à grande échelle leurs lignites rhénans pour produire d'importantes quantités d'énergie électrique, les Esthoniens brûlent directement 60 % de leur production de kukersite (à 35 % de matière sapropélique) dans leurs centrales thermiques.

Pour obtenir la température de pyrolyse

du kérogène, on considère qu'il faut brûler une part de celui-ci (qui peut être le C résiduel) équivalant à 2,5 % du poids de la roche.

Sachant d'autre part qu'environ la moitié du kérogène est susceptible de se transformer en huile, il faut donc un minimum de 5 % en poids de kérogène (rendement en huile environ 25 litres/tonne) pour qu'une roche sapropélique présente de l'intérêt. Ce seuil technologique de 25 litres/tonne est différent du seuil d'intérêt économique lié à une notion de rentabilité et, donc à divers autres paramètres. Aux U.S.A. il est fixé à 10 gallons/sh. ton, soit 42 litres/tonne.

Les huiles naturelles se sont lentement formées au « bain-marie », à des profondeurs de 2 000 à 3 000 m, et des températures comprises entre 65° et 130 °C. Elles ont abandonné dans la roche-mère la plus grande partie des composés les plus lourds, et notamment des hétérocycliques. A notre échelle de temps, loin des immenses durées des époques géologiques, nous sommes contraints, pour former artificiellement l'« huile de schiste » à partir du kérogène, d'utiliser des températures supérieures ou égales à 500 °C. Les produits obtenus sont donc sensiblement différents des huiles naturelles. D'autre part, leurs caractères varient selon l'origine (la nature) de la roche et selon le procédé de pyrolyse utilisé.

Les huiles extraites à l'essai Fischer des schistes d'origine et de productivités diverses montrent des propriétés différentes. Ainsi l'huile des Green River Shales ne coule pas à température ordinaire et nécessite par conséquent un pré-traitement très onéreux pour l'acheminer jusqu'à la raffinerie. L'huile des « schistes carton » elle, est très souffrée par opposition aux autres, notamment à celles des schistes d'Autun et de la Kukersite. Elle est, par contre, très fluide et après désulfuration, pourrait être acheminée sans peine par oléoduc vers une raffinerie.

A l'inverse des huiles naturelles, qui ne contiennent pratiquement pas d'hydrocarbures insaturés (oléfines), les huiles artificielles peuvent en contenir jusqu'à 46 % dans la fraction « naphta » (distillant avant 204° C). Ceci est une propriété importante valorisant l'huile de schistes dans la perspective d'une utilisation pétrochimique.

Le traitement thermique appliqué à la

* Compagnie Française des Pétroles.

Tableau 1
Variation des caractéristiques de l'huile de schistes du Colorado selon le procédé d'extraction

Procédés de Pyrolyse	Caractères		Distillation fractionnée			
	°API	Point de congélation	<204°C	204-316°	316-427°	Résidu
Externe	29	16°C	18	30	40	12
Caloporteur gazeux	20	32°C	3	16	35	46
Interne	20	32°C	5	13	32	50
Caloporteur solide						

Tableau 2
Productions et réserves des 3 pays exploitant leurs "schistes bitumineux"

	Rend. l/t	Procédés	Production en million de t/an			Réserves exploit. en millions de m ³	
			1945	1962	1972	Prouvées	Probables
CHINE		PINTSCH					
Fushun	60		0,5	2,3	10,0	4 500	22 000
Kwantung					0,7		
U.R.S.S.		UTT					
Esthonie	200					3 500	
Russie	100		?	0,8	3	13 000	100 000 ?
Sibérie	40-280					26 000	
BRESIL		PETROSIX					
Paraíba	40-105		—	—	0,058	320	130 000
Irati					8 000		

Tableau 3
Réserves des Etats-Unis et production envisagée

	Rend. en l/t	Procédés prévus	Réserves exploit. Millions de m ³			Production Millions de m ³ /an	
			1975	1980	1985	Prouvées	Probables
COLORADO		TOSCO PARAHO UNION GARRETT					
UTAH	105-146		—	5 à 7	20 à 43	13 000	350 000
(WYOMING)							

roche est également d'une grande importance pour la qualité des produits qui en résulte (tableau 1).

On constate dans le tableau 1 que l'emploi de la pyrolyse interne favorise beaucoup la production d'une fraction lourde dans laquelle la part du résidu est 4 fois plus importante que dans le procédé de pyrolyse externe.

Il ressort de ces constatations qu'une bonne connaissance d'une roche sapropélique donnée doit permettre, à la faveur d'une étude expérimentale, de prévoir une certaine modulation de la composition des produits obtenus. Le choix de la technologie optimale devrait alors tenir compte des résultats de cette expérimentation et de la situation prévisible du marché au moment où interviendra cette production.

Les co-produits

Exploités dans la couche même (« in-situ »), les schistes n'auront d'autre production que l'huile et le gaz. Mais ceci est pour après-demain. Les projets d'exploitation envisagés pour l'avenir proche concerne les procédés « ex-situ », supposant l'extraction du schiste du gisement et la pyrogénéation de celui-ci. Dans cette perspective deux cas sont possibles :

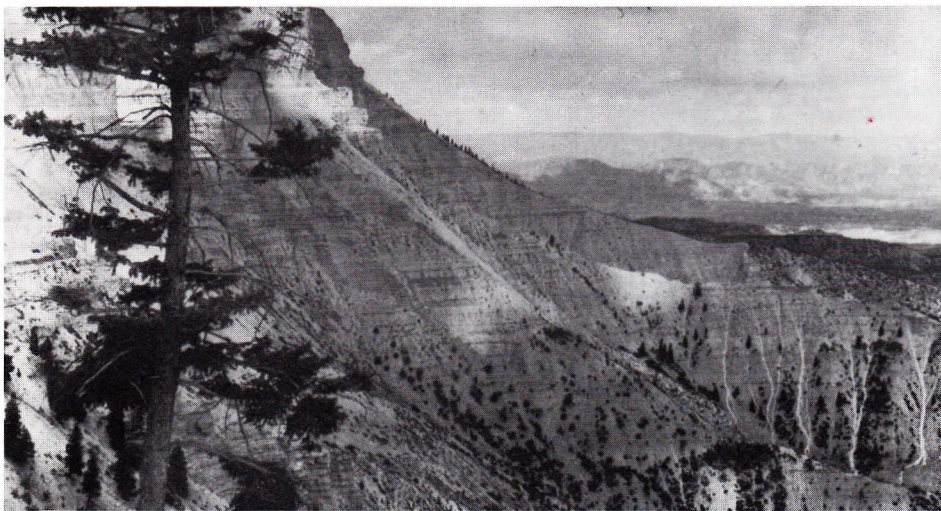
- ou bien la couche à exploiter est recouverte d'une grosse épaisseur de morts-terrains et il faut avoir recours au minage, avec accès à flanc de coteau par galerie et exploitation par chambres et piliers ;

- ou bien la couche est (presque) à l'affleurement, ce qui autorise une exploitation à ciel couvert.

Le coût de ces deux types d'exploitation est fort différent, la première étant sensiblement le double de la seconde, qui suppose la découverte - dans les limites de la contrainte économique - des morts-terrains au-delà de la zone d'affleurement de la couche.

Que faire de ceux-ci et de la masse des schistes cuits résiduels ?

Le premier usage en est évident : il va permettre le comblement de la carrière, conformément au plan prévu de reconstitution du paysage. Mais des usages industriels sont également envisageables. Ainsi certaines zones pourraient être favorables à la production de ciment. Aux Etats-Unis les schistes du Colorado contiennent, en outre, de notables quantités de Nahcolite et de Dawsonite qui, extraites par lixiviation des



La falaise des « Green River Shales » dans le Colorado (U.S.A.).

schistes traités, apporteront une appréciable contribution aux besoins du pays en soude et aluminium. En France les schistes traités se présentent comme une importante source possible d'aluminium également, mais aussi de silice pouvant notamment servir à la fabrication de laines minérales. L'emploi des co-produits de l'huile de schistes peut fournir un crédit non négligeable au baril d'huile, auquel on doit ajouter le produit de la vente du soufre et de l'ammoniac issus de la purification de l'huile.

3 000 brevets de traitement

Bien que n'ayant pas connu de révolution depuis le siècle dernier, la technologie du traitement « ex-situ » a considérablement augmenté son efficacité.

Elle a d'ailleurs fait l'objet de plus de 3 000 brevets. En gros, on peut regrouper les divers types de traitements en trois principaux groupes, les schistes étant traités dans un four vertical, horizontal ou oblique :

- Chauffage externe : (Pumpherstons, Kvarntorp, Fours Tunnels) ;
- Chauffage interne par caloporteur gazeux (Grande paroisse, Pétrosix) ou solide (Tosco, Utt) ;
- Chauffage interne par combustion : chargement par le bas (Union Oil), ou chargement par le haut (Paraho A, Fushun).

Les plus récents de ces procédés, surtout américains (Tosco, Union, Paraho) n'ont encore jamais fait l'objet d'un emploi industriel et doivent être mis en œuvre au cours des prochaines années. Les fours Kvarntorp, Pumpherstons, Grande Paroisse déjà anciens, ont été utilisés en Europe aux premiers stades du dévelop-

pement de l'industrie schisteuse. Seuls les fours de la seconde génération tels que Fushun en Chine, Fours Tunnels en Esthonie ont un emploi industriel actuel. Au Brésil, le gisement actuellement exploité d'Irati est traité par le procédé Petrosix.

Traitement « in-situ »

Le traitement « in-situ » en est, lui, à ses débuts. Il compte schématiquement trois phases :

- fracturation de la couche devant permettre la circulation d'un mélange gazeux-combustible ;
- injection du mélange gazeux devant assurer la combustion de la couche à partir du puits d'injection ;
- pompage par un puits de production de l'huile et du gaz issus de la pyrogénération de la roche « in-situ ».

Toutefois, l'exécution pratique satisfaisante de ces opérations est des plus ardue. Si le Bureau of Mines a déjà pu produire de l'huile sur son terrain d'expérimentation de Rock Springs (Wyoming) les résultats obtenus ne sont pas pour autant satisfaisants. Une grosse quantité d'explosifs a été nécessaire pour le broyage souterrain de la roche. Le rendement a finalement été très décevant. Des études ont aussi été entreprises sur un projet d'explosion nucléaire dans la couche, mais aucune expérience n'est encore prévue.

Un moyen terme entre les procédés « ex-situ » et « in-situ » a également connu un début de réalisation pilote. Il s'agit du procédé Garrett (Occidental Petroleum) qui consiste en un minage

préalable d'une chambre carrée à piliers dans la couche, de façon à permettre, par foudroyage de la couche à la verticale de la chambre, la circulation de fluides dans le volume d'éboulis ainsi produits. La masse foudroyée est alors pyrogénée par le toit au moyen d'une injection de gaz combustible et d'air. L'huile produite filtre jusqu'au mur de la couche où elle est pompée par les puits de mine ou la galerie d'accès. Selon les auteurs du procédé le taux de récupération global de l'huile serait supérieur à celui des procédés de surface et le coût réduit de 40 %. Une production de 3 000 barils par jour pourrait être obtenue sur 4 000 m², 140 m de couche, avec 5 à 7 cheminées. Si ces espoirs sont confirmés dans les années à venir, ce procédé semble promis à un développement qui concurrencerait sérieusement celui des traitements « ex-situ ».

L'industrie minière dans le monde

Les exploitations de schistes dans le monde se sont arrêtées peu à peu dans les années 50 et 60 au temps du pétrole à bas prix.

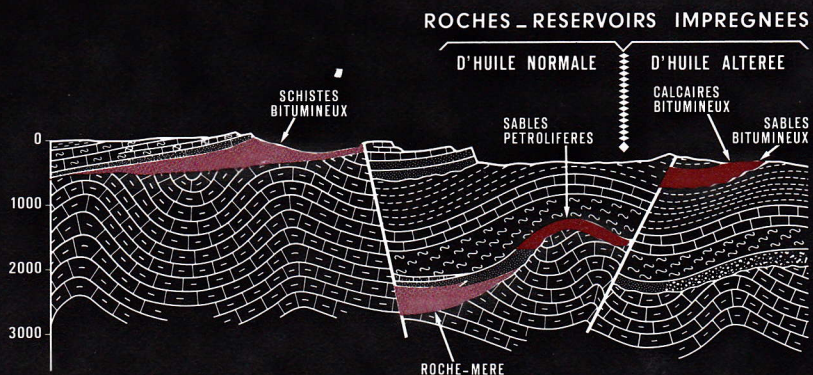
Deux pays toutefois n'ont jamais cessé de produire de l'huile de schistes : la Chine héritant de l'industrie schisteuse de Mandchourie (Fushun) créée en 1929 et développée par les Japonais, a depuis lors approvisionné son industrie en huile de schiste pour une part non négligeable de ses besoins énergétiques. L'U.R.S.S., en Esthonie, entretient l'exploitation de la kukersite. C'était pour la République Balte le moyen d'assurer une autonomie énergétique à laquelle elle était très attachée. Ce n'est que tout récemment que cette industrie a atteint le seuil de la rentabilité grâce à une meilleure valorisation de ses produits. Au Brésil, après de nombreuses années d'exploitation du gisement tertiaire de la vallée de la Paraíba (Sao Paulo) et un temps de réflexion et d'étude, une nouvelle exploitation schisteuse est répartie en 1972 sur le gisement permien de l'Irati avec le procédé « Pétrosix ». C'est la Compagnie Nationale Petrobras qui assure cette exploitation considérée comme indispensable, par suite de l'important déficit du Brésil en pétrole, en gaz et en soufre.

Privilegiés par leurs ressources énergétiques classiques : pétrole, charbon et par celles en matières premières, les U.S.A. possèdent les plus importantes réserves de « schistes » du Monde. Satis-

**RESERVES CONNUES D'HUILE DE SCHISTES POTENTIELLE
POUR LES ROCHES AYANT UNE TENEUR ≥ 42 g/t**

LOCALISATIONS	TENEURS	RESERVES CONNUES POTENTIELLES EN MILLIONS DE M ³												
		100	2	3	400	10	100	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶			
AFRIQUE														
UNION SUD AFRICAINE Ermelo	●													
CONGO Kinshasa	●													
AMERIQUE														
CANADA Nova Scotia	●													
U.S.A. Green River Shales Divers	●													
ARGENTINE														
BRESIL Irati	●													
CHILI Paraiiba - Remembe	●													
EUROPE														
ALLEMAGNE FEDERALE														
ESPAGNE Puertollano	●													
FRANCE Autun - S ^t Hilaire Lorraine	●													
GRANDE BRETAGNE Ecosse	●													
ITALIE Sicile	●													
LUXEMBOURG														
SUEDE Kvarntorp	●													
ASIE														
BULGARIE														
YOUSLAVIE Aleksinac	●													
URSS Esthonie Divers	●													
OCEANIE														
BIRMANIE Siberie	●													
CHINE Fushun Divers	●													
ISRAEL	●													
JORDANIE	●													
THAILANDE Maesod	●													
TURQUIE	●													
AUSTRALIE Glen Davis Tasmanie	●													
NOUVELLE ZELANDE Orepuki	●													

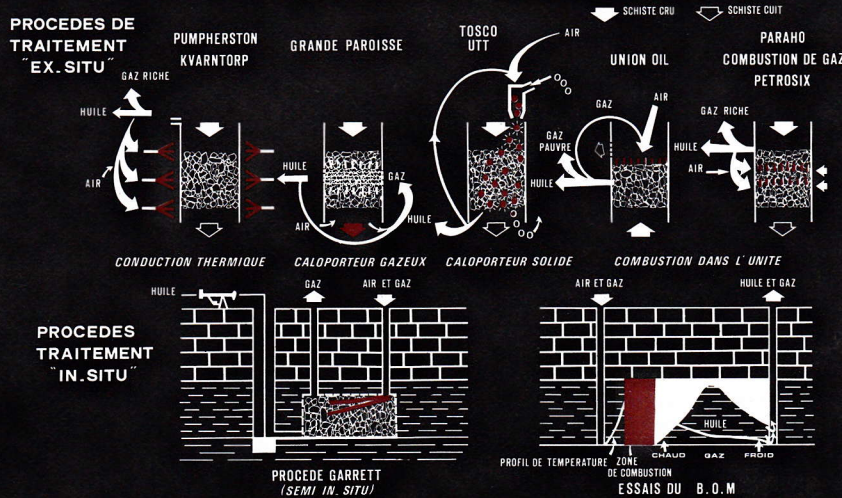
**SOURCES ET RESERVOIRS
D'HYDROCARBURES**



HISTOIRE DE L'INDUSTRIE SCHISTIERE DANS LE MONDE

PAYS CONCERNES	CHRONOLOGIE							
	1840	1860	1880	1900	1920	1940	1960	1980
EUROPE	FRANCE	1838	AUTUN		1849	1848	1957	
	GRANDE BRETAGNE	1850	ECOSSE		1915		1963	
	SUISSE		MERIDE (Jura)		1915			
	SUEDE		KVARNTORP		1921		1965	
	ESPAGNE		PUERTOLLANO		1922		1966	
U.R.S.S.			ESTHONIE		1921			
U.S.A.			COLORADO					
BRESIL			1881	1900	1941	1957	1972	
			PARAIBA	IRATI				
AFRIQUE DU SUD					1935	1960	(Epuise)	
			ERMELLO					
AUSTRALIE		1865	GLEN DAVIS			1952		
CHINE			MANDCHOURIE (Fushun)		1929			
TYPES DE SITUATIONS ECONOMIQUES			PREINDUSTRIELLE	DE GUERRE	DE MARCHÉ	DE PENURIE		

**PRESENTATION SCHEMATIQUE DES DIVERS
PROCEDES DE TRAITEMENT DE SCHISTES BITUMINEUX**



faisait jusqu'ici une grande partie de leurs besoins énergétiques et important un complément de pétrole à bon compte, il suffisait alors d'envisager l'avenir en se préparant dans le domaine technologique. Les perspectives de pénurie de ces dernières années et singulièrement la situation de crise actuelle ont incité le Gouvernement américain détenteur de 80 % des réserves de « schistes » à proposer cette année même, aux sociétés privées, 6 parcelles de statut fédéral d'environ 2 000 hectares chacune.

La législation compliquée résultant du Mineral-leasing Act de 1920 s'est, en effet, sensiblement modifiée depuis juin 1971. Le montant élevé des droits de concession (pour 20 ans au moins) est en fait payable en 5 annuités égales. Diverses déductions sont en outre prévues : dépenses de développement et mesures d'incitation, le Gouvernement frais exceptionnels nécessités par la protection de l'environnement. Bien que marginal auprès des autres sources d'énergie et notamment du pétrole, l'apport en huile de schistes vers 1985 contribuera de façon non négligeable au programme d'indépendance énergétique, sans parler de son intérêt tout particulier pour la pétrochimie.

Mais l'exploitation envisagée ne va pas sans quelques problèmes graves, plus ou moins spécifiques à ce pays ou à l'état du Colorado, qui n'ont pu trouver de solution vraiment satisfaisante jusqu'ici. L'Europe occidentale et, en particulier la France, a été la première à mettre en œuvre une industrie schistière. Celle-ci n'a pas résisté au pétrole abondant et bon marché. La Suède et l'Espagne exploitaient cependant encore leurs schistes il n'y a pas dix ans ! En France, la mine d'Autun n'a été fermée qu'en 1957. Ces exploitations n'étaient plus rentables : très limitées, désuètes, elles se présentaient comme la survivance d'une industrie ancienne ayant connu la prospérité un siècle plus tôt. Toutefois, l'Europe et singulièrement la France, actuellement confrontée à d'énormes besoins en énergie dans son contexte économique et politique propre, doivent faire rapidement le bilan de ses ressources, et de décider de leur emploi.

Les petits gisements, éventuellement riches, sont relativement nombreux. Seules deux formations présentent de très importantes réserves sinon des teneurs très favorables. Ce sont le Miocène de Sicile, et les « schistes car-

ton » du Toarcien (Lias supérieur) bien représentés en France, en Allemagne et au Luxembourg, moins bien en Angleterre, en Suisse, en Espagne. Tandis que les teneurs des schistes à Diatomées du Tertiaire de Sicile sont relativement élevées (> 100 l/tonne), celles des schistes cartons sont pauvres : 25 à 60 l/tonne. Les réserves du gisement de Sicile sont estimées grossièrement à près de 6 milliards de m³ d'huile. Celles des schistes cartons, limitées aux seules zones d'affleurement, sont beaucoup plus importantes. Et dans l'hypothèse d'une extension de l'exploitation à des profondeurs supérieures à 100 m par procédés « in-situ » les réserves deviennent véritablement énormes.

Quel avenir ?

Les anciennes exploitations n'avaient qu'un caractère artisanal. Un nouveau départ n'est concevable qu'avec des objectifs à la mesure des besoins industriels de notre temps. Les recherches technologiques dans ce domaine ont été abandonnées depuis longtemps, ce qui implique qu'un programme industriel d'exploitation à court terme devrait utiliser les procédés opérationnels mis au point aux U.S.A. ou en U.R.S.S. Par ailleurs les contraintes et les risques inhérents à cette industrie restent applicables aussi bien en Europe qu'aux États-Unis et notamment la protection des prix de production face à une éventuelle baisse du prix du pétrole. Il reste aussi à dominer l'impact qu'aura éventuellement une importante industrie schistière sur l'environnement : pollution des eaux et de l'air, incidences esthétiques sur le paysage.

En France l'étude de tous ces problèmes est d'ores et déjà entreprise, elle est conduite activement par le Groupe d'Etude des Roches Bitumineuses (G.E.R.B.) qui doit parvenir à des conclusions décisives d'ici un an. L'objectif est d'importance et peut provoquer, si ces études sont concluantes tant sur le terrain de la rentabilité que pour la maîtrise des problèmes d'environnement, un véritable « boom » économique apportant à la fois une substantielle économie de devises, et de nombreux emplois nouveaux.

L'étape initiale sera nécessairement une exploitation « ex-situ » limitée au maximum, mais visant un objectif de l'ordre d'un million de tonnes d'huile par an. Cet appoint non négligeable à la con-

sommation nationale d'hydrocarbure, sinon en tant qu'apport énergétique, du moins comme matière première de choix pour notre industrie pétrochimique, sera accompagné de sous-produits (ciments, etc.) précieuse pour notre économie.

A moyen terme l'emploi du procédé « semi in-situ » ouvrira de nouvelles et intéressantes perspectives permettant à la fois une meilleure rentabilité et une bien meilleure sauvegarde des sites d'exploitation. Enfin, et grâce à une active recherche technologique développée dès l'étape initiale, il deviendra possible d'accéder aux immenses ressources des couches plus profondes, grâce à l'exploitation « in-situ ».

Cette évocation d'un futur prospère n'a rien de commun avec la vaine sagesse de ceux qui, se disant réalistes, prennent leur parti de l'énergie chère mais facile, laissant à la génération suivante la charge des solutions « futuristes ». Elle doit être comprise comme la promesse raisonnable d'une action qui commence et qui, s'accommodant des faits, exige pour aboutir, l'effort et l'imagination d'aujourd'hui.

A.C.

Le G.E.R.B. (Groupe d'Etudes des Roches Bitumineuses)

Association créée en décembre 1973 entre le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, les Charbonnages de France, la Compagnie Française des Pétroles, le Groupe Elf-Aquitaine et l'Institut Français du pétrole dans le but d'effectuer l'inventaire des gisements français de schistes bitumineux et la reconnaissance stratégique par sondages des « Schistes carton » du Lias Inférieur, qui représentent les réserves les plus importantes. L'analyse systématique des prélèvements doit permettre la définition des zones les plus favorables à une éventuelle exploitation industrielle.

Le B.R.G.M., Service Géologique National (1) assure le rôle de gestionnaire du Groupe. Un programme de 36 sondages fixé pour 1974 et mené avec vigueur s'est achevé début décembre. Les conclusions partielles obtenues à ce jour légitiment un complément de programme pour 1975. Celui-ci permettra d'envisager avec plus de réalisme le franchissement éventuel d'une nouvelle étape dès 1976 en vue de la création d'une véritable industrie schistière moderne dans notre pays.

Adresse : B.R.G.M. - Service Géologique National, 45018 Orléans Cédex 6009.