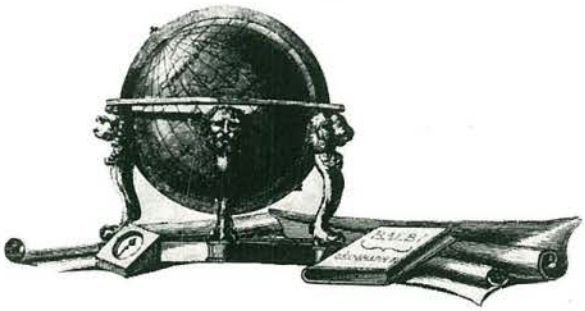
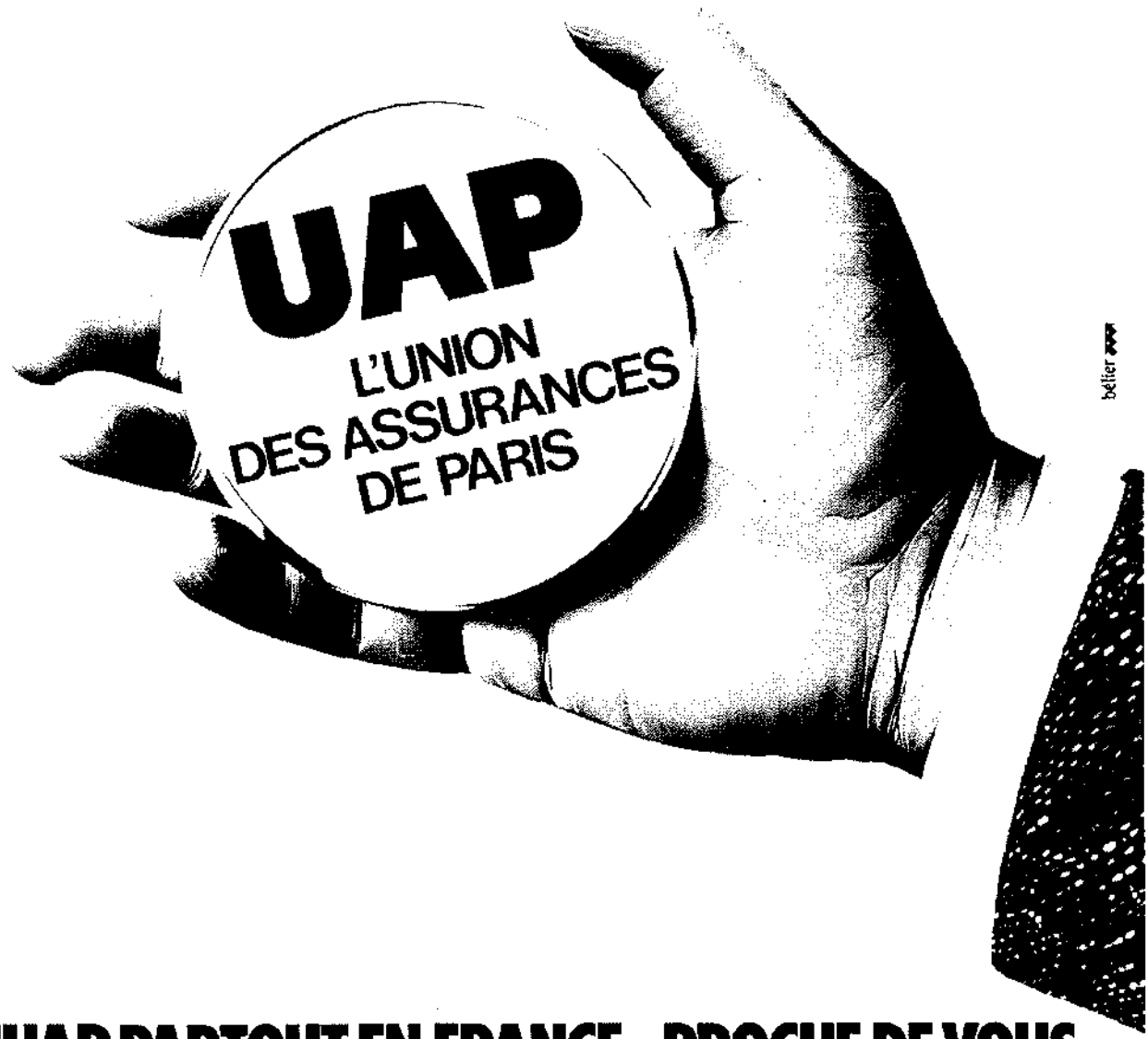
LA JAUNE ET LA ROUGE

LES SCIENCES DE LA TERRE



FEVRIER 1978 N° 327 20f. X REVUE MENSUELLE DE LA SOCIETE AMICALE DES ANCIENS ELEVES DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE

30000 PERSONNES TRAVAILLENT POUR VOTRE SECURITE.



L'UAP PARTOUT EN FRANCE - PROCHE DE VOUS.

SOMMAIRE

Dossier

3 **LES SCIENCES DE LA TERRE** dossier préparé par Marcel Sala (35)
4 Présentation par René Monory, Ministre de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat
7 Évolution des Sciences de la Terre, par Marcel Sala (35)
13 La Planète Terre, par Jean Goguel (26)
16 Le Service Géologique National au sein du BRGM, par Claude Guillemin
21 L'avenir de l'approvisionnement mondial en minerais, par François Callot (42)
25 Un nouveau champ d'action pour la recherche des matières premières minérales : les grands fonds marins, par Gabriel Turquet de Beauregard (31)
31 Vue générale sur la Tectonique terrestre, par Jean Goguel (26)
35 La carte sismotectonique, par Jacques Bodelle (56)
39 Utilisation de l'ordinateur pour le calcul en géomécanique, par Pierre Guellec
44 Géologie et mécanique : exemple d'application aux mines à ciel ouvert, par Michel Desurmont (69)
50 Techniques scientifiques avancées dans la Géologie appliquée au Génie Civil, par Marcel Rat (59)
55 Géothermie haute énergie, par Jean Démians d'Archimbaud (45)
61 Géochimie et recherche minière, par Jacques Halfon (66)
66 Récents développements de la géophysique appliquée, par Yves Ledoux (49)
73 Cherchez la phrase
74 In Mémoriam : Pierre Simon (04)

D'un mois à l'autre

75 Courrier
76 Carnet professionnel
77 Bibliographie
80 Informations diverses
81 Variétés
83 Assurance X

La vie de l'Association

84 Le déjeuner des présidents
85 Conseil d'Administration de l'A.X. du 24 octobre 1977
87 Comité de gestion de la Caisse de secours, séance du 15 septembre 1977
88 Groupes X, convocations de promotions, Maison de Joigny
89 G.P.X.
90 Carnet polytechnicien
92 Petites annonces
96 Dernière heure

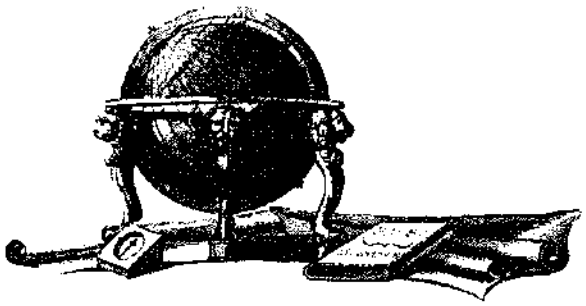
Plomb - Zinc - Argent - Germanium - Cadmium - Alliages et dérivés.
PREMIER PRODUCTEUR MONDIAL DE PLOMB
PRESENT SUR LES CINQ CONTINENTS.

Peñarroya

Tour Maine-Montparnasse - 33, avenue du Maine - 75751 PARIS CEDEX 15 - Tél. 538.48.48 - Télex : 208.30

IMETAL

LES SCIENCES DE LA TERRE



dossier préparé sous la direction
de Marcel Sala/35/
ingénieur général des Mines

Le Ministre
de l'Industrie du Commerce
et de l'Artisanat

Paris le 12 Janvier 1978

Les Sciences de la Terre intéressent de nombreux Départements ministériels, l'Université y joue un rôle fondamental, mais le Ministre chargé de l'Industrie se sent à leur égard des responsabilités particulières. Leurs applications, en effet, conditionnent l'approvisionnement du pays en matières premières minérales.

Les développements de ce que l'on a appelé la crise du pétrole, et qui n'est qu'un aspect d'un nouveau rapport des forces internationales, ont montré à quel point cet approvisionnement était un facteur important de notre équilibre économique et même de notre indépendance nationale.

Les Pouvoirs Publics ont agi sous des formes multiples pour relever les défis qui étaient ainsi posés. Dans le domaine des recherches scientifiques et techniques toutefois, les travaux entrepris sont souvent mal connus ; ils n'en ont pas moins été fort importants et se révèlent déjà efficaces.

En matière pétrolière, c'est bien avant la crise pétrolière que l'Etat avait considéré comme préoccupante la dépendance de la France, puisque, dès avant la guerre, il avait créé la Régie Autonome des Pétroles et, dès la libération, les recherches et les travaux de géologie pétrolière avaient reçu une impulsion considérable avec les résultats que l'on sait. Les connaissances scientifiques et technologiques accumulées ont contribué à créer une puissante industrie pétrolière française, qui est actuellement présente, de l'Indonésie au Canada, sur de nombreux champs nouveaux, et qui a pris une part majeure à la découverte des champs de la Mer du Nord.

.../...

Dans le domaine des matières premières minérales non énergétiques, le Gouvernement a arrêté en janvier 1975 les grandes lignes de sa politique d'approvisionnement qui concernent notamment :

- l'inventaire des ressources minières du territoire national,
- des stockages de précaution,
- les économies de matières premières et le recyclage,
- des moyens de coopération auprès des pays en voie de développement,
- un ensemble d'incitations spécifiques des opérateurs miniers.

Les crédits nécessaires sont inscrits en programme prioritaire pour le VIIème Plan. Dans un récent Comité Economique et Social en juillet dernier, le Gouvernement a réaffirmé sa volonté de mener à bien ce programme.

L'effort de recherche scientifique et technique dans le domaine des sciences de la terre est l'une des options essentielles de cette politique d'approvisionnement ; il constitue l'investissement indispensable pour nous donner dans l'avenir les méthodes de prospection, de valorisation des minerais qui seront de plus en plus difficiles à trouver, à traiter, pour en extraire les substances nécessaires au fonctionnement de notre économie.

Telle est la place, essentielle à mes yeux, des travaux dont ce numéro de la "Jaune et la Rouge" tente de dessiner un panorama. Le B.R.G.M., les Laboratoires des Ecoles des Mines, les Laboratoires et Instituts des Universités, les Laboratoires de recherche des entreprises y concourent, avec notre soutien. Cette diversification des moyens, dans lesquels s'interpénètrent la pratique et la recherche pure, donne aux géosciences françaises, au plan international, une remarquable vitalité.

René MONORY

Société anonyme des CARRIERES de LA MEILLERAIE

• •

Siège Social - Directions générales, Administrative et Commerciale

43, boulevard Maréchal-Joffre
BOURG LA REINE 92340
Téléphone : 702.43.00

12 EXPLOITATIONS

VENDEE : La Meilleraie
Pont-Charron
Albert
La Joletière
Les Clouseaux
Sable de Mer
(à La Pallice)

NORMANDIE : Vignats

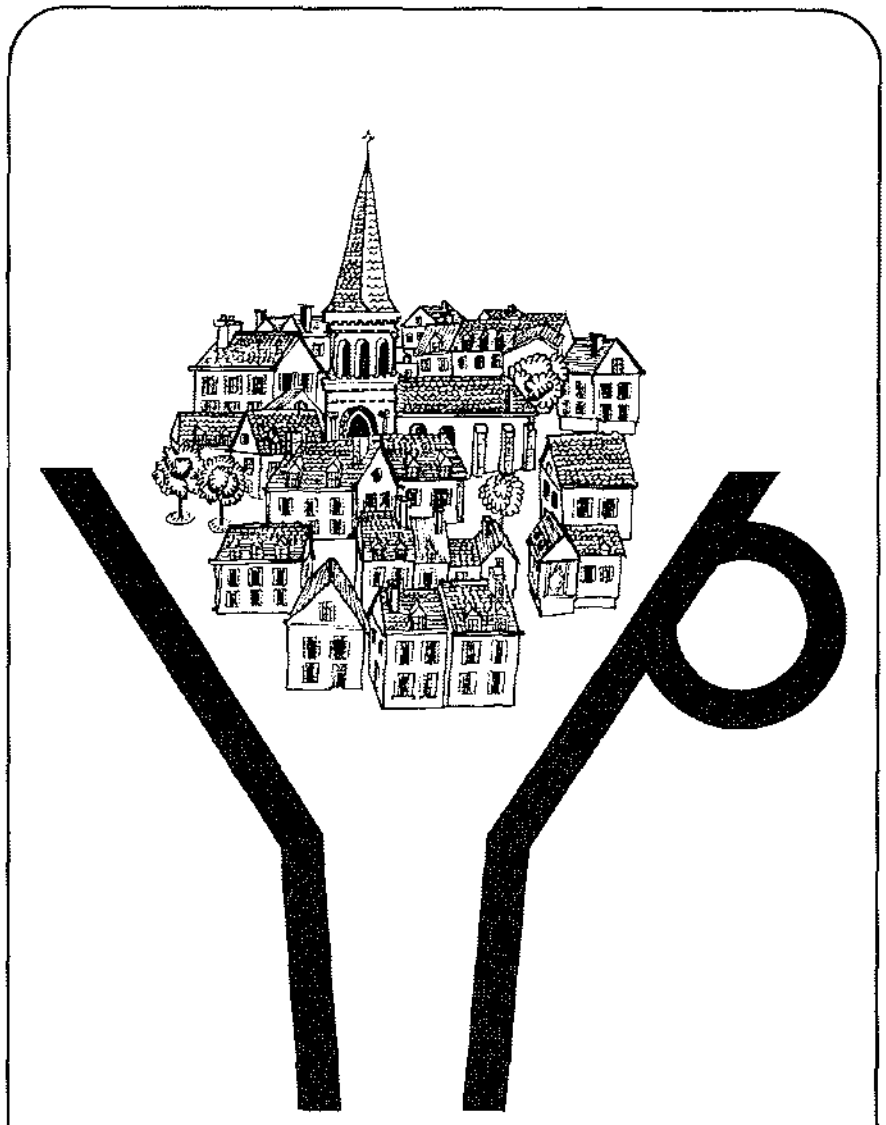
BOURGOGNE : Barnay
Pont de Colonne

BRETAGNE : Fougères
(Le Rocher Coupé)

VOSGES : Raon-L'Etape
Lepuix-Gy

Enrochements - Granulats
pour viabilité et construction

7 Embranchements
particuliers S.N.C.F.



et vos eaux usées
qu'en faites-vous ?

Degrémont
traitement des eaux

183 av du 18 Juin 1940 92508 Rueil Malmaison Cedex
Tél 772 25 05

801

EVOLUTION DES SCIENCES DE LA TERRE

par Marcel Sala (35),
Ingénieur Général des Mines

I. MYTHES

La Terre est une donnée immédiate de l'univers humain ; elle s'est intégrée aux plus anciens mythes. Symbole, essentiellement, de la mère, ou même de l'aïeule, Gaïa, épouse d'Ouranos, le Ciel, elle a donné naissance aux dieux et aux hommes. Et le mythe primitif a traversé les siècles. Chateaubriand, peut-être, a le mieux résumé ce qu'il représentait à l'aurore du monde moderne :

« C'est une mère charmante que la Terre ; dans l'enfance, elle nous tient à ses mamelles gonflées de lait et de miel (...) ; à notre mort elle nous rouvre ses entrailles, jette sur notre dépouille une couverture d'herbe et de fleurs, tandis qu'elle nous transforme secrètement dans sa propre substance (...) ».

Mais la civilisation obsessionnelle qui s'est développée depuis a enrichi ce symbolisme d'éléments très différents et sans doute moins gracieux. On se souviendra à ce sujet des titres de deux ouvrages de Gaston Bachelard : « La Terre et les rêveries du repos », « La Terre et les rêveries de la volonté ». C'est sur le second aspect que le monde contemporain mettra l'accent ; la Terre deviendra l'élément que l'on façonne, dans lequel on creuse, dont on extrait le charbon, le pétrole et le métal, et sur lequel on bâtit des ouvrages. Toujours nourricière, sans doute, mais par l'intermédiaire d'un effort industriel et scientifique toujours accru, qui fait éclater dans tous les sens l'ancien mythe contemplatif.

L'évolution des Sciences de la Terre, depuis une quarantaine d'années, s'est inscrite dans le cadre de

ce déplacement des mythes. Naguère source de connaissance heureuse, et largement désintéressée, les géosciences sont devenues une source de connaissance inquiète, fortement orientée vers des aspects pratiques.

Trois interprétations peuvent être données à ce mouvement général.

Les besoins

La première consiste à remarquer que, brusquement, les hommes se sont aperçu que la Terre rétrécissait, en proportion de l'énorme croissance de leurs besoins. Encore ne considérons-nous ici que les besoins d'une petite partie de l'humanité. Que deviendront-ils et à quel gigantisme faut-il s'attendre, lorsque la civilisation industrielle aura pleinement atteint le Tiers-Monde ?

Alors, on s'est dit que les matières premières, que fournissait normalement la Terre, allaient devenir de plus en plus rares : et pas seulement les minerais, ou le pétrole, mais aussi l'eau, le sable, les graviers, bientôt n'importe quel matériau, jusqu'aux simples cailloux. Leur recherche allait donc devenir plus exhaustive, s'orienter vers des gisements moins apparents, s'entourer de procédés plus élaborés, et se diriger vers des buts nouveaux : gisement cachés, indices indirects, teneurs plus faibles, minerais jusqu'ici négligés, sites jadis inaccessibles, tels les fonds marins. Le tout exigeant des technologies, et même des bases scientifiques beaucoup plus puissantes que par le passé, que ce soit pour la recherche, l'extraction ou le traitement.

Et c'est en effet ce qui s'est produit, dans certains cas, et risque de se produire dans beaucoup d'autres. A la limite, dans ces cas, la simple disponibilité de la matière première, ou la simple connaissance géologique de son occurrence, aura moins d'importance que par le passé. Elle est d'ailleurs soumise, bien souvent, à des contraintes politiques ou écologiques. *Mais la possession de la science et de la technologie nécessaires à sa recherche, à son extraction, à son traitement, deviennent l'avantage fondamental* dont une collectivité doit se doter, face à une concurrence actuellement sévère, et qui pourrait devenir féroce.

On a remarqué en outre que l'épiderme de la Terre lui-même, en tant que simple support de l'activité humaine, devenait précieux. Les sites favorables aux entreprises les plus traditionnelles, habitat ou agriculture, comme les plus sophistiquées, grands barrages ou centrales nucléaires, devraient donc être recherchés, répertoriés, caractérisés à de multiples points de vue : hydrogéologie, pédologie, minéralogie, sédimentologie, résistance des roches...

Toutes ces recherches, que ce soit pour les richesses du sous-sol ou pour l'utilisation du sol, entourent les sciences de la Terre traditionnelles de tout un ensemble d'autres sciences, de techniques et de technologies, qui en deviennent pratiquement inséparables, et qui de plus tendent à la normalisation, et s'intègrent à des processus de plus en plus rationalisés. On s'en réjouira, sans doute, et de toute manière c'est une évolution irréversible.

Mais on évoquera parfois avec nostalgie telle activité d'autrefois, la carte géologique faite sans arrière-pensée, par exemple, presque pour le simple plaisir d'observer la nature, ou bien la recherche minière, qui avait toujours eu tant de rapports avec le risque et l'aventure. Que l'on se fasse une raison : les Trésors de la Sierra Madre sont maintenant intégrés dans des processus sophistiqués, se situant dans le cadre de travaux stratégiques et tactiques, et dans des conditions scientifiques et économiques strictement définies.

Bien sûr, quand on n'a pas la hantise du modernisme, on peut se dire que tout cela n'est pas si nouveau : car de tous temps, ingénieurs et mineurs, et les géologues qui collaboraient avec eux, ont recherché l'efficacité, la normalisation des processus, l'optimisation des dépenses et la sûreté des choix. Mais jamais cependant avec une telle liaison avec les sciences géologiques stricto sensu, et les disciplines associées, ni avec un tel luxe de moyens industriels ou scientifiques, chimiques, physiques, même mathématiques.

Les inquiétudes

Jamais non plus avec une telle inquiétude et un tel sentiment de la nécessité. Et ici, nous entrons dans la deuxième interprétation. Car il n'y a pas que la recherche de l'efficacité. Il y a aussi un état d'esprit beaucoup plus général, qui hante les milieux scientifiques et les pouvoirs publics et qui, par le canal d'organisations mondiales telles que le Club de Rome, s'est répandu dans l'opinion. Il s'agit en somme d'une réappréciation soucieuse des relations de l'humanité avec son milieu, et singulièrement avec la Terre qui ne tend à rien moins qu'à remplacer les anciennes métaphysiques. Un sentiment collectif d'un nouveau devoir, celui de respecter et d'utiliser au mieux cette Terre qui est unique, qui est notre unique bien, tend à s'instaurer au sein des peuples développés. *Un nouveau culpabilisme est né.*

C'est que la Terre ne rétrécit pas seulement en fonction des besoins économiques, mais en fonction de la taille même de l'humanité : les espaces infinis, les solitudes désertes, sont devenus des espaces pollués et des foules grouillantes. La Terre n'est pas seulement un trésor de matières premières, c'est aussi le support de la Vie. Et c'est peut-être — les progrès de l'astronautique nous le suggèrent — le seul support probable de la Vie dans un rayon de plusieurs années-lumières.

Du coup l'« homo sapiens », qui se considère, à tort ou à raison, comme la pointe exquise de cette vie et de son évolution, trouve matière à inquiétudes. Car il constate qu'il devient l'« homo proliferans » et qu'il met en danger cette vie même. Et cela le plonge dans de sombres transes et la Terre lui devient sacrée.

On ne se méfie pas assez de la paléontologie. C'est une géoscience tout à fait modeste en apparence. Au temps de nos études, dans les années 30, on la présentait comme une sorte de chronomètre servant à dater les strates. C'était déjà beaucoup, certes, et les géosciences ne se sont développées que grâce à elle. Mais déjà un certain Darwin s'en était servi, à d'autres fins, qui n'avaient pas été négligeables, et cela aurait dû donner à réfléchir ; mais la paléontologie des mammifères supérieurs entrait peu dans le champ des géosciences.

Un autre fait qui aurait dû donner à penser : l'extraordinaire cécité de l'humanité à l'égard des fossiles. L'antiquité avait probablement reconnu en eux des vestiges d'animaux. Sans avoir eu l'idée de les utiliser pour corréler les couches, et trouver ainsi le véritable fil conducteur de l'observation géologique. Le Moyen Age perdit même cette connaissance élémentaire, et se réfugia dans l'idée que c'étaient des jeux de la nature, produits d'une « vis petrificans ». Le 18e siècle, tout en reconnaissant leur caractère d'anciens êtres vivants, les datait du

Déluge, et lorsque l'on en découvrait au sommet des montagnes. Voltaire n'était pas loin de soupçonner quelque supercherie, due aux représentants de l'obscurantisme. Bref, on ne *voulait* pas voir, comme si les manifestations de la vie, antérieurement à l'apparition de l'homme, étaient génératrices d'inquiétudes. Même de nos jours, les phénomènes liés à la naissance des espèces et à leur disparition restent mystérieux, et vaguement gênants.

On pense par exemple, que 98 % des espèces connues, depuis l'origine, se sont éteintes. Et pourquoi l'espèce humaine n'irait-elle pas rejoindre un jour cette écrasante majorité ?

On pense encore que certaines espèces disparaissent sans raison apparente. Du coup, l'« homo proliferans » se met à craindre le sort des ammonites du Jurassique : On connaît l'histoire de ces bestioles : elles ont rempli les mers, durant des millénaires et puis elles se sont mis à augmenter de taille, et à se compliquer, tout comme l'actuelle humanité, produisant des ornements inutiles et des formes extravagantes. Et elles ont brusquement cessé d'exister.

On commence à savoir, enfin, que la vie est née beaucoup plus tôt que l'on ne pensait, dès le précambrien, sous forme, probablement, d'algues bleues, analogues à celles que nous connaissons de nos jours, et dont la capacité d'évolution était presque nulle ; et que cette vie fruste a traversé deux milliards d'années avant de déboucher sur l'évolution, laquelle a pris ultérieurement le caractère d'une explosion, et peut-être d'un phénomène terminal et instable, dont l'homme constituerait la pointe, extrême et éphémère.

On sait enfin que les espèces ne subsistent qu'en symbiose avec le milieu, à l'intérieur d'un « biotope » qui leur est indispensable et qu'elles peuvent créer, mais aussi dégrader. Et on commence à savoir que, tout comme les espèces fossiles ont créé des sédiments et façonné la terre, de même l'homme a une influence géologique incontestable, qui prendra peut-être, dans un proche avenir, des proportions insoupçonnées. Et on imagine alors que c'est l'homme lui-même qui mettra les espèces en danger, y compris la sienne. Bref, sur cette Terre limitée se dessine un destin qui ne peut plus être conçu comme infini.

Les réponses raisonnables

Tout cela témoigne d'inquiétudes fort intéressantes, mais un peu trop cosmiques pour des scientifiques ou des ingénieurs. Dans la mesure où cela entraîne une rationalisation dans l'utilisation de la Terre, sol et sous-sol, et même atmosphère, on peut les admettre. Mais il faut, je pense, entrer dans la troisième voie, celle d'une interprétation raisonnable, en évitant de se plonger dans des visions apocalyptiques. Car les mythes de la Terre subissent à notre époque, une distorsion « Rousseauiste » et romantique, ne relevant pas spécialement de l'esprit scientifique, et charriant dans son sillage beaucoup d'idées de faible consistance.

En vérité que s'est-il passé depuis quarante ans ?

Simplement ceci, qu'à la faveur d'un développement économique sans précédent dans l'histoire, le support terrestre des activités humaines est devenu un sujet de préoccupations. Soit : les géosciences, du coup, sont devenues extrêmement utiles, et même nécessaires. La « joie de connaître », chère à notre maître et grand antique Pierre Termier, n'est plus leur moteur principal. Mais ceci dit, rien d'indique qu'elles ne seront pas capables de remplir leurs nouvelles tâches. Elles ont, au contraire, parfaitement bien démarré dans ce sens. Et puis, en vérité la Terre reste immense, d'autant plus qu'elle s'adjoint actuellement les espaces marins : ses ressources restent considérables et la plus grande partie encore inutilisée. Et pour finir, il est permis d'espérer que l'ingéniosité de l'espèce humaine dépassera celle des céphalopodes.

II. SCIENCES

Le présent numéro spécial, eu égard à son public potentiel, a cru devoir faire une large place à tous les aspects des géosciences tournés vers l'économie et l'application. Encore, dans ce domaine, n'est-il pas exhaustif. Des choses aussi importantes que l'hydrogéologie, la sédimentologie, la géologie du pétrole, la gitologie -et la vieille recherche minière classique, qui a pourtant gardé tous ses charmes-n'ont pu y trouver place, faute d'espace. La Jaune et la Rouge est, comme la Terre, limitée. Nous devons le regretter et nous en excuser auprès des spécialistes des disciplines correspondantes.

Mais nous devons regretter encore plus de n'avoir pu faire aussi toute la place nécessaire aux aspects proprement scientifiques des sciences de la Terre, et n'avoir pu leur consacrer que deux articles. Car il faut dire que, parallèlement à tous les progrès pratiques, la géologie et les disciplines voisines revendiquent à bon droit le statut des sciences valables pour leurs mérites propres. Et que d'ailleurs d'immenses progrès théoriques ont été accomplis récemment dans la connaissance spéculative de la Terre. Il semble d'ailleurs que ce soit là une règle quasi-générale : l'intérêt pratique et technologique accordé, par une civilisation, à un secteur de la connaissance, s'accompagne toujours, et probablement se nourrit, d'un approndissement des connaissances fondamentales.

Aussi voudrions-nous, dans ce paragraphe, non pas résumer ces progrès — cela sortirait largement de notre cadre — mais essayer de caractériser le fait scientifique particulier, propre aux sciences de la Terre, d'un point de vue épistémologique, par rapport aux mathématiques, à la physique et même par rapport aux autres disciplines naturalistes.

L'entreprise est hasardeuse. Elle a été peu tentée, et j'avoue même qu'elle m'avait paru jadis impossible. C'est que, vers les années 30, la Géologie, pas plus que les disciplines voisines, ne me semblait déboucher sur l'universel. La plupart des sciences, certes, s'occupaient aussi de phénomènes particuliers. Mais en droit à la limite, la Physique débouchait sur l'ordre des choses, les mathématiques sur celui de l'esprit, et les Sciences Naturelles sur celui de la vie. Un « Système du Monde » — cette grande ambition de l'âge classique —, se dessinait au bout des perspectives scientifiques. Rien de tel, en géologie, les phénomènes restaient contingents. La quatrième écaille du Briançonnais pouvait bien se parer du prestige des cimes, et s'insérer dans d'intéressantes interprétations, mais il était difficile de la tirer vers des synthèses plus globales. Celles-ci, d'ailleurs, étaient suspectes, une modestie fâcheuse -qui était dans l'esprit de l'époque, et sévissait, en France du moins, dans bien des domaines-tendait à minimiser le risque intellectuel, à se ramener sans cesse à l'honnêteté de la classification, à la finesse de l'observation et

du détail. C'est ainsi que la théorie de Wegener - la dérive des continents-était considérée comme une intuition curieuse, que l'on ne pouvait citer qu'incidemment. Et on passait vite aux choses sérieuses, c'est-à-dire à de fort belles descriptions locales strictement contrôlées, à des préoccupations de classification, de chronologie et, trop souvent, hélas ! à des querelles d'écoles. La Science, d'ailleurs, restait cloisonnée : De ce côté-ci de l'Atlantique, elle restait, pour la tectonique, largement tributaire de la Géologie alpine, cependant que l'école américaine se tournait déjà vers les océans, vers les arcs insulaires et les bordures océaniques, et vers une coopération plus confiante entre les géologues de tradition et les géophysiciens. De cela surtout devaient sortir les interprétations de la récente tectonique des plaques.

De grands esprits, cependant, avaient depuis longtemps ressenti la recherche géologique comme extrêmement enrichissante, et propre à s'intégrer dans une théorie -ou, du moins, une méthodologie générale de la connaissance. Le plus notoire est sans doute Goethe qui écrivait :

« La géologie ouvre à l'esprit humain une merveilleuse possibilité ; elle entretient une intuition, gage de perfectionnement qui s'élève, chez de nombreux observateurs, à un degré étonnant de clairvoyance ».

Parmi les contemporains, Claude Lévy-Strauss attribue à la géologie une part essentielle dans sa formation intellectuelle. Et rappelant les temps où il suivait, sur le terrain, quelque faille ou quelque affleurement capricieux, il écrit :

« Cette quête incohérente pour un observateur non prévenu offre, à mes yeux, l'image même de la connaissance, des difficultés qu'elle oppose, des joies qu'on peut en espérer ».

Et ceci encore :

« Je me sens baigné par une intelligibilité plus dense, au sein de laquelle les siècles et les lieux se répondent et parlent un langage enfin réconcilié ».

Mais où se situe, derrière le tableau des successions de strates, cette « intelligibilité » plus dense ? Lévy-Strauss a plus tard affirmé que la Science procédait du sentiment qu'il y avait dans l'univers, « une rationalité diffuse ». Peut-on la traquer, cette rationalité dans des phénomènes aussi contingents ? Car en somme, la croûte terrestre nous apparaissait bien souvent comme un rébus à déchiffrer, une phrase à reconstituer dans le langage des siècles, mais rien ne situait cette phrase dans un discours coordonné.

Bien des choses ont changé, depuis quarante ans, dans la géologie, mais aussi dans l'idée que l'on se fait du fondement général des Sciences de sorte que les questions posées ci-dessus, qui étaient jadis ressenties comme importantes le paraîtront peut-être moins aux nouvelles générations. En gros, disons que nous ne croyons plus tellement au « Système du Monde ». Nous n'espérons plus, comme les Classiques, découvrir derrière le spectacle changeant des choses, la majesté d'un moteur immobile, ou d'une déduction universelle. Nous ne sommes plus, en ce sens, ni aristotéliciens, ni cartésiens. Je crois même que beaucoup d'entre nous n'espèrent même plus découvrir une dynamique universelle, une loi de progrès et de synthèse, une « aufhefung » -et en ce sens, nous ne sommes plus Hégéliens. Pour faire bonne mesure, disons encore que nous ne sommes pas non plus tellement positivistes, car nous pensons vaguement que derrière l'expérience et le rationnel, il y aura encore des mytères. Que reste-t-il alors ? Simplement l'activité de l'esprit qui, inlassablement, et selon ses voies propres, met de l'ordre dans le tableau des phénomènes ; qui fait courir à travers eux une intelligibilité, dont on ne sait si elle émane de l'esprit même, ou si elle est inhérente au monde, ou aux deux. Et ces « choses » que l'esprit traite ainsi, avec obstination, comme s'il était mû par la patience et l'acharnement d'un instinct, se placent n'importe où entre l'abstrait et le concret : depuis les totales abstractions des mathématiques jusqu'au caractère totalement concret des faits géologiques.-

Débarrassé ainsi de tout handicap finaliste ou métaphysique, l'esprit scientifique trouve dans ces « faits » terrestres un champ particulièrement excitant. L'objectivité même de ces faits -leur parfaite neutralité à l'égard de l'observateur-leur donne un caractère pur de porteurs de structures que l'esprit doit essayer de dégager, et où il peut exercer toute son ingéniosité.

Mais, en contrepartie, dans des cadres qu'il sait ne plus être infinis, l'esprit scientifique contemporain, dans les géosciences, a beaucoup gagné en hardiesse.

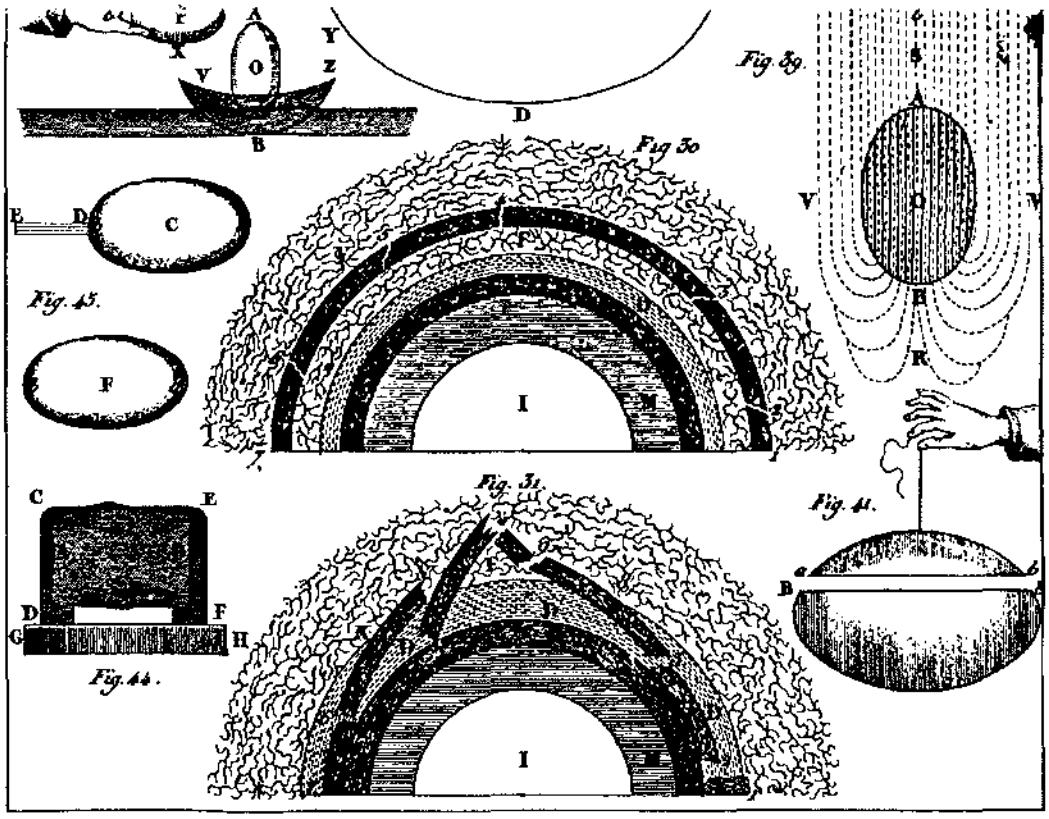
Peut-être est-ce un effet de la nécessité, de la pression des applications pratiques -ou peut-être du contact avec les branches des géosciences plus proches de la physique et de ses méthodes. Quoi qu'il en soit, la géologie ne se contente plus de décrire et de classer-. Elle n'est plus maussade devant les processus inductifs, les hypothèses, les synthèses de plus en plus vastes, même si elles sont parfois hasardeuses. Et elle veut rechercher les causes : « Nous sommes en face d'objets. Notre ambition est de rechercher leur génèse » écrit en 1969 le Professeur Routhier. Je ne sais si la majorité des géologues des années 20 et 30 n'auraient pas considéré cette ambition avec scepticisme. Et pourtant, de nos jours, elle se réalise dans la plupart des secteurs.

Le résultat le plus spectaculaire des nouvelles synthèses, c'est la tectonique des plaques, ou « nouvelle tectonique globale ».

Synthèse du point de vue de l'« objet » -puisqu'elle s'applique à la Terre entière, au moins depuis le Jurassique, et du point de vue de l'esprit, puisqu'elle résulte de la conjugaison d'observations relevant de l'océanographie, du paléomagnétisme, de la géophysique en général, et de bien d'autres branches des géosciences, et aussi... d'une application du théorème d'Euler. Le tout pour revenir à des conséquences qui affectent la compréhension des faits géologiques les plus conventionnels.

On a parlé, à propos de cette théorie nouvelle, de « Révolution dans les Sciences de la Terre ». Notre époque, on le sait, fait une grande consommation de révolutions. Disons plutôt qu'il s'agit d'une grande base fondamentale pour une compréhension effectivement globale de la Terre. Celle-ci, désormais, fonctionne comme un « système », une sorte de machine où jouent des influences thermodynamiques d'ensemble. Du coup, à défaut d'un système du monde, on a un système de la Terre, comme le rêvait Descartes. Et il est amusant de relire les quelques lignes que ce philosophe lui consacrait. Il croyait bien pourtant avoir « déduit » la vérité. Or, pour remplacer ces quelques lignes par une thèse solide, il a fallu trois siècles de progrès général, et des milliards d'heures de travail - sans parler des millions de dollars.

LA TECTONIQUE GLOBALE EN 1644



... 44. Comment ont été produites les montagnes, les plaines et les mers. ensuite de quoi, si nous pensons que les corps B et F (fig. 31) ne sont autre chose que de l'air, que D est de l'eau, et C une croute de terre intérieure fort solide et fort pesante de laquelle viennent tous les métaux, et enfin que E est une autre croûte de terre moins massive qui est composée de pierres, d'argiles, de sables et de limons, nous verrons clairement en quelle façon les mers se sont faites au dessus des pièces 2, 3. 6, 7 et semblables (...) mais que ce qui a été plus élevé et fort en pente, comme 1, 2, 9, 4V, a fait les montagnes, et enfin considérant que les grandes pièces n'ont pu tomber en la façon qui a été dite sans que leurs extrémités aient été brisées (...) nous verrons pourquoi il y a des rochers en quelques endroits au bord de la mer (...).

Descartes
Les principes de la philosophie

Terminons par quelques mots sur l'évolution des méthodes. Il faut bien préciser à cet égard que les géosciences restent, et doivent rester, des Sciences Naturelles : La démarche fondamentale du géologue et de ses collègues sera toujours celle du naturaliste. L'observation, à diverses échelles, reste sa qualité fondamentale. Le goût du terrain, de l'espace, des paysages, de la Terre telle qu'elle se présente, reste son état d'esprit de base. Il est bon qu'il en soit ainsi, et personne ne songe à enchaîner le géologue devant un terminal d'ordinateur.

Mais l'abondance de l'information, le nombre fabuleusement croissant de faits qui se découvrent, et surtout le nombre élevé de paramètres qui caractérisent un fait géologique, imposent une réflexion méthodologique nouvelle.

Devant la surabondance de documents, on est amené à se poser le problème de la pertinence et de la hiérarchie des informations ; devant l'abondance de paramètres, celui d'un traitement qui ne laisse rien perdre d'essentiel, et d'un support de présentation qui, éventuellement, remplace la multiplicité des données par quelques éléments caractéristiques. La carte géologique, ou bien des cartes spécialisées, restent des supports simples et commodes ; ils ne peuvent cependant traiter qu'un nombre limité de paramètres.

Ainsi donc, que ce soit pour les méthodes de documentation, pour la constitution de fichiers, ou pour le traitement proprement dit des problèmes géologiques, l'informatique a fait son apparition – non sans soulever des réticences, d'ailleurs – cependant que ses partisans parlaient, une fois de plus, de Révolution. Il n'en est pas question ; mais une adaptation réciproque de la démarche géologique et de la démarche informatique, la création, en somme d'un langage permettant la communication entre le géologue et les systèmes de traitement semble indispensable.

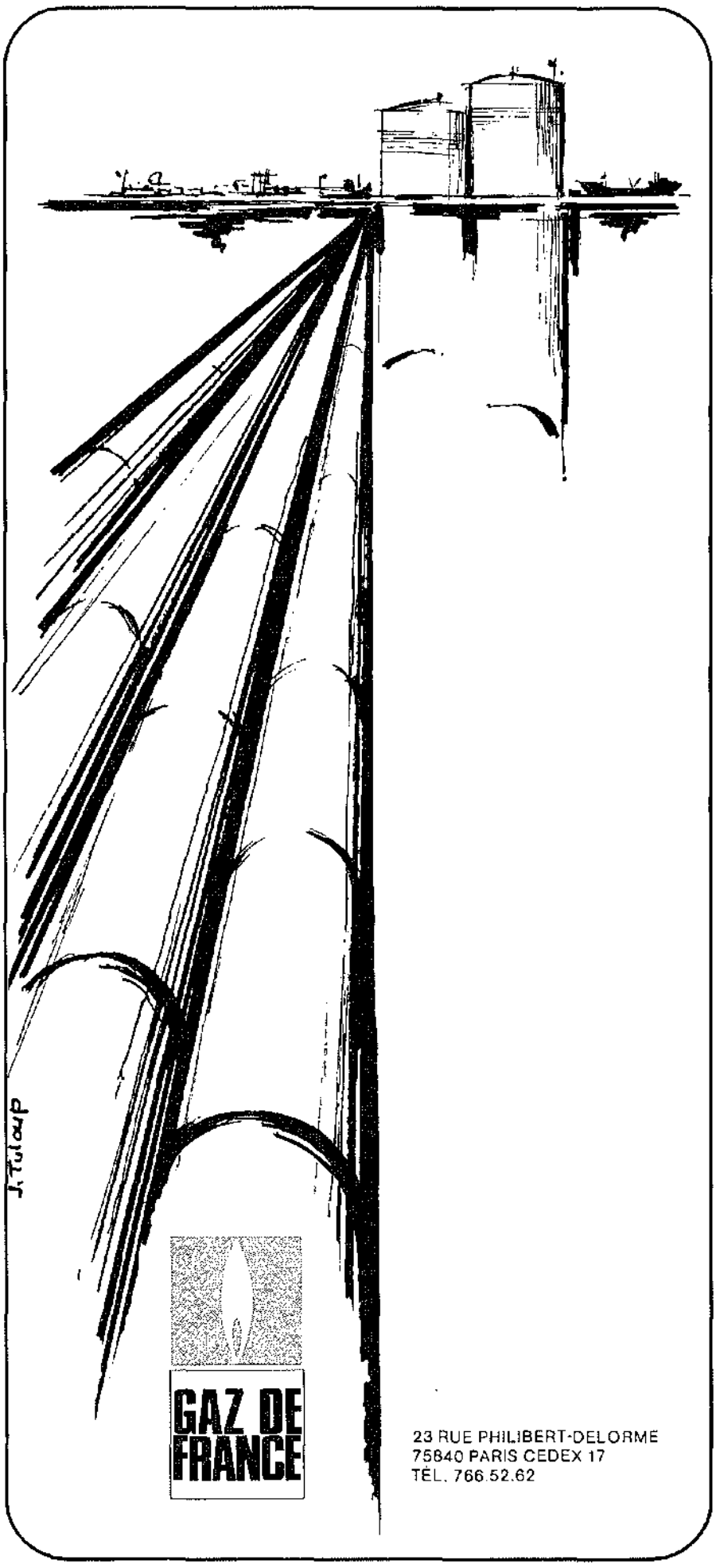
D'excellents travaux d'« Informatique géologique », et notamment en France, ont été faits dans divers secteurs (morphologie mathématique ; théorie des variables régionalisées ; analyse factorielle). Leur généralisation, et surtout leur large utilisation dans divers domaines sera peut-être l'évolution méthodologique future.

COMEX SERVICES

Comex Services est spécialisée dans les domaines suivants :

- Ingéniérie et direction d'opérations sous-marines,
- Construction et maintenance d'installations sous-marines,
- Connexion et réparation de pipe-lines sous-marins,
- Ingéniérie et implantation d'installations sous-marines,
- Interventions par sous-marins industriels,
- Plongée d'assistance sur les barges de forage et de construction,
- Service de logistique maritime,
- Inspection (N.D.T.), expertise et réparations d'ouvrages,
- Recherches et essais sur site.

Avenue de la Soude B.P. 143
13275 Marseille Cédex 2
Tél. : (91) 41.01.70 - Télex : 410.985



LA PLANETE TERRE

par Jean Goguel (26)
Ingénieur général des Mines
ancien Vice-Président du B.R.G.M.

Il y a dix ans encore, l'opposition entre les Sciences de la Terre, étudiant le globe solide, et butant sur l'impénétrabilité de ses parties profondes, et l'Astronomie, analysant le mouvement de planètes, assimilables à des points matériels (et qui n'apparaissaient, dans les meilleurs instruments, que comme des disques dont la surface défiait presque l'analyse), semblait totale.

Aujourd'hui, nous pouvons parler d'une « planétologie comparée », dont l'étude de la Terre n'est qu'un chapitre ; les surfaces de Mercure, de la Lune et éde Mars sont connues, dans leur ensemble, avec plus de détail que ne l'était celle de la Terre il y a deux siècles (et les analogies sont telles que l'on n'hésite plus malgré le statut de satellite que lui impose la mécanique céleste, à ranger la Lune parmi ces planètes) ; l'atmosphère de Vénus a été traversée, et quelques points de sa surface observés.

Dans cette « planétologie comparée », la Terre joue encore un rôle éminent, non point tant par le détail de l'évolution de sa surface, dont nous verrons qu'il lui est propre — que par ce que nous savons de sa constitution interne, et qui sert de référence pour comprendre celle des planètes.

Les plus récents traités de géophysique n'en donnent cependant pas la description, mais analysent séparément les informations que nous apportent des disciplines aussi foncièrement différentes que la Géodésie (dans un sens très large), la Séismologie, et l'étude du champ magnétique.

Tentons d'en faire brièvement la synthèse : Par rapport au modèle idéal, d'une masse fluide en rotation, soumise à sa propre attraction, les écarts sont faibles. Ils se situent essentiellement au niveau d'une croûte superficielle, dont les irrégularités, de relief et de composition, nous sont directement visibles, et dont l'épaisseur ne dépasse guère une quarantaine de km. Au delà, nous ne connaissons avec certitude d'irrégularité, d'ailleurs faibles, qu'en certains sites, sur une centaine de km de profondeur.

L'aplatissement dû à cette rotation, connu depuis 240 ans (ce qui a marqué le triomphe de la théorie de Newton), et maintenant mesuré à 10^{-5} près par le mouvement des satellites, indique une notable augmentation de la densité au centre. La réflexion des ondes sismiques indique — à mieux que 10 km près

— une profondeur de 2 860 km pour la discontinuité qui correspond à cette augmentation de densité, et leur propagation montre que le noyau a les propriétés d'un fluide, (ne transmettant pas d'ondes transversales), sauf peut être en son centre.

L'analyse du champ magnétique, et en particulier du spectre de son développement harmonique montre, d'une part, de hautes fréquences, avec des longueurs d'ondes inférieures à quelques dizaines de km, qui s'interprètent facilement par le magnétisme des roches situées à une profondeur inférieure aux 10 à 20 km au delà desquels la température devient supérieure à celle du point de Curie des minéraux ferro-magnétiques, d'autre part le fondamental, qui correspond au champ d'un dipôle centré, assez prépondérant pour autoriser l'usage de la boussole, et des cinq ou six premiers harmoniques, dont l'intensité à pu être déterminée. Au delà, c'est le vide. Et cela constitue une très forte présomption — assimilable à une certitude — pour que l'origine du champ magnétique se situe dans le noyau. Une seule interprétation est proposée ; il a été démontré qu'elle est possible, mais aucun modèle n'a été construit : celle d'une origine magnéto-hydrodynamique. La masse dense du noyau, dont on a vu qu'elle est fluide, (et qu'on suppose conductrice, sans doute métallique) serait brassée mécaniquement par un jeu de courants, vraisemblablement de convection thermique, jeu d'ailleurs influencé par la force de Coriolis (et c'est pourquoi la boussole indique le Nord). Des courants électriques circulent dans ce fluide conducteur, engendrent des champs magnétiques, et ceux-ci, coupés par la matière en mouvement, y produisent des différences de potentiel qui entretiennent les courants électriques. Ce mécanisme s'accommode de renversements du sens du terme fondamental, dont la preuve est apportée par l'étude de l'aimantation rémanente des roches de surface, en fonction de leur âge.

Le champ que nous observons (à 2 860 km de profondeur), est filtré, c'est-à-dire que l'intensité des termes successifs du développement harmonique est divisée, sensiblement par les puissances successives de deux. Mais si on calcule l'énergie du champ magnétique correspondant à ces ordres successifs, on les trouve à peu près du même ordre de grandeur ce qui suggère qu'au niveau du noyau, les termes suivants du développement harmonique peuvent jouer un rôle aussi important, et que le champ magnétique peut être beaucoup plus irrégulier qu'il n'apparaît vu de la surface. Il en est sans doute de même des mouvements de la matière liquide et conductrice qui constitue le noyau. D'autre part, l'étude, sur quelques dizaines ou centaines d'années, des variations du champ magnétique, montre qu'elles correspondent à des variations, sensibles sur quelques siècles. Mais ce que nous savons de la conduction électrique du « manteau » qui entoure le noyau, montre que toute variation plus rapide du champ magnétique y serait étouffée par les courants de Foucault. Les mouvements dans le noyau, et les champs magnétiques qu'ils produisent, pourraient donc être beaucoup plus rapidement variables, sans que nous ayons les moyens de nous en rendre compte.

Ce fut sans doute une déception, pour les explorateurs, par l'intermédiaire de Satellites, des autres planètes inférieures, de n'y point trouver de champs magnétiques appréciables, ce qui affirmait l'originalité de la Terre par rapport à elles. Par contre, on sait — par l'observation astronomique — que le Soleil d'une part, Jupiter de l'autre, présentent à leur surface des champs magnétiques extrêmement intenses, et très rapidement variables. Jusqu'à quel point le noyau de la Terre est-il analogue à ces autres astres, complètement ou essentiellement fluides ?

Deux théories rivalisaient pour expliquer l'origine des cratères, visibles sur la Lune avec n'importe quelle lunette astronomique : Volcans, ou points de chute de météorites ? La question a été réglée, par les premières photographies à courte distance. La distribution en fréquence des diamètres est continue jusqu'aux plus petits, ce qui est compatible avec l'origine météorique pour un astre sans atmosphère, et ne le serait pas avec une origine volcanique, la rupture d'une écorce solide impliquant un minimum d'énergie pour chaque éruption.

On aurait pu, depuis des siècles, se demander pourquoi la Terre n'est pas aussi criblée de cratères que la surface de la Lune, si le géocentrisme, dérivé d'un anthropocentrisme sûr de lui et dominateur, n'avait écarté une question, qui n'a été posée que lorsqu'on a commencé à préparer les explorations lunaires. Lorsque les surfaces de Mars et de Mercure sont apparues tout aussi grêlées de cratères, cette question est devenu lancinante. Et d'abord, la Terre en est-elle réellement dépourvue ? Un réexamen systématique a fait découvrir quelques dizaines de structures assimilables à des cratères météoritiques, et qui avaient été méconnues. L'un des exemples les plus caractéristiques est celui du Riess, dépression de 25 km de diamètre, autour de la ville de Nordlingen dans le Jura Souabe, occupée par des sédiments lacustres miocènes. Connue de tout temps, ce n'est que récemment que cette structure a été définitivement interprétée comme cratère météoritique.

Il n'en reste pas moins que de telles structures sont très rares. Cela s'explique parce que la surface de la Terre se renouvelle, à l'inverse de celle des trois autres planètes inférieures que nous connaissons, et qui, au moins pour partie (c'est-à-dire à l'exception de vastes coulées basaltiques) pourraient remonter à l'origine du système solaire (4,6. 10^9 ans). Il faut aussi tenir compte de ce que dans la jeunesse du système solaire, les chutes de météorites étaient beaucoup plus fréquentes qu'aujourd'hui. La matière, initialement dispersée, avec des mouvements plus ou moins désordonnés, a été progressivement collectée par les planètes.

La surface de la Terre se renouvelle par sédimentation, par érosion, mais également par de lents bouleversements périodiques, qui la soulèvent, la plissent, et peuvent l'entraîner en profondeur. C'est là, avec l'existence d'un champ magnétique et la présence de la vie, l'une des différences fondamentales entre la Terre et ses voisines.

J'aurais cité aussi la présence d'une atmosphère, si l'une de nos plus proches voisines, la planète Vénus, n'en possédait une, encore beaucoup plus dense. C'est une occasion de vérifier des calculs météorologiques : c'est, en partie l'extérieur de l'atmosphère qui se met en équilibre de température avec le rayonnement externe, principalement solaire. Et dans l'atmosphère règne un équilibre adiabatique, ce qui conduit aux quelques 400 °C, avec 100 atmosphères, à la surface de Vénus.

Cette atmosphère est assez nuageuse pour que la surface soit invisible de l'extérieur. Elle n'est connue que là où une sonde soviétique l'a photographiée, autour de son point de chute. Et nous voyons là une surface qui nous paraît familière, couverte de cailloux plus ou moins arrondis. Faut-il en déduire que des écoulements, des ruissellements, ont remanié les matériaux de la surface, comme ils le font sur cette Terre ? une unique prise de vue est insuffisante pour conclure, mais elle suggère une parenté, qui ne peut qu'attiser notre impatience.

A l'opposé, l'atmosphère de Mars, beaucoup moins dense que celle de la Terre, comporte cependant des vents, capables de soulever des nuages de poussières.

La forte proportion d'oxygène dans l'atmosphère terrestre paraît être une conséquence de la vie, grâce à la synthèse chlorophyllienne, qui fixe le gaz carbonique, en utilisant l'énergie du rayonnement solaire, et libère de l'oxygène, plus que la respiration n'en consomme. Et cela conduit à penser que la vie a dû naître en l'absence d'oxygène, donc sous un rayonnement ultraviolet, non filtré par l'ozone.

Brassage et renouvellement de la surface d'une part, variations du champ magnétique, de l'autre, sont des manifestations d'une dissipation interne d'énergie, dont le flux de chaleur qui s'échappe par toute la surface (50 kw thermique/km^2) est la forme largement prépondérante. Trois origines concourrent à expliquer cette chaleur interne ; il faut, en premier lieu, tenir compte de ce que, si le mécanisme qui a entraîné le rassemblement de la matière terrestre impliquait un échauffement, cette chaleur ne s'est que très partiellement dissipée, depuis les 4,6 milliards d'années qui nous séparent de cet évènement. La radioactivité est une autre source de chaleur, beaucoup plus active à l'origine qu'aujourd'hui, à cause de la décroissance des quantités existantes des éléments à vie très longue, encore présents aujourd'hui, et peut-être de la disparition d'éléments à vies moyennes (jusqu'à quelques dizaines de millions d'années), aujourd'hui complètement disparus. Et enfin, le rassemblement des matières plus dense vers le centre, dissipe une énergie mécanique, qui peut se transformer en chaleur. Ce rassemblement s'est produit au moins pour différencier le noyau dense — et peut être sa partie tout à fait centrale, ou « graine » — à partir de ce qui devait être à l'origine un mélange à peu près homogène ; et rien n'exclut que ce processus de concentration par gravité ne se poursuive encore aujourd'hui.

Ce sont, sans aucun doute, les phénomènes liés au transfert par la surface de l'énergie ainsi dissipée dans les parties internes, qui sont à l'origine du renouvellement et des bouleversements de la surface, qui caractérisent la planète Terre, comme de son champ magnétique.

Pourquoi, pour Mars, Mercure et la Lune, cette énergie interne ne joue-t-elle plus un rôle appréciable ? Et a-t-elle joué un rôle dans le passé ? L'existence de traces de dislocations sur Mars, l'aimantation des roches lunaires, témoins d'un champ magnétique dans le passé, tendraient à le faire penser.

Les sondes « Voyager » sont en route vers Jupiter et Saturne. Que nous apprendront-elles sur des planètes où la dissipation interne d'énergie est sans aucun doute beaucoup plus intense que pour la Terre ? Pouvons-nous espérer y trouver des repères par rapport auxquels nous situer ? Et, parmi leurs satellites, certains approchent de la taille de la Terre ; l'un d'eux (Titan) a conservé une atmosphère. Y retrouvera-t-on un jour, parmi d'autres points de comparaison, des structures plus proches de celles de notre planète ?

LE SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL AU SEIN DU BRGM

Claude Guillemin
Directeur Délégué
au service Géologique national (B.R.G.M.)

L'objet des géosciences est l'étude de la nature de notre globe, de son histoire et des phénomènes dont il est le siège.

Mais, avant tout, les géosciences se rapportent à notre environnement, source de matières premières et de l'énergie qui nous sont nécessaires et milieu conditionnant directement les modes de vie de l'humanité.

La France ne couvre, par ses ressources propres et sans prendre en compte les produits recyclés, que 14 % de sa consommation en métaux et minérais non ferreux. Elle importe 70 % de l'énergie qu'elle utilise.

Les plans actuels tentent de redresser un peu cette situation, en particulier le B.R.G.M. a été chargé d'animer un inventaire de conception avancée des ressources minérales de notre sous-sol, l'objectif étant de doubler notre production de minerais et de matériaux en 1985. Cet objectif ne pourra être atteint que par la découverte de gîtes cachés ou la mise en exploitation de gisements à basse teneur, ce qui requiert entre autres la mise au point de nouvelles méthodes de prospection et de valorisation.

L'ensemble des recherches sur la mise en valeur des matières premières minérales est un tout indissociable, allant du développement intensif de la cartographie, à grande et petite échelle, à la métallurgie, et mettant en œuvre toutes les techniques, l'informatique géologique, la géochimie, la pétrologie, l'exploitation des mines, la minéralurgie...

De plus, les géosciences sont des connaissances indispensables à une meilleure utilisation du sol et du sous-sol, donc à l'aménagement du territoire.

Le problème le plus immédiatement crucial est posé par l'eau douce. Il convient d'en inventorier les ressources, d'organiser et de réglementer son utilisation, de suivre et de protéger sa qualité.

En l'an 2000, plus de 50 millions de français vivront dans les villes de plus de 10 000 habitants. Dès maintenant, il faut préparer la croissance des métropoles régionales, l'implantation de villes nouvelles, d'industries diverses, la réalisation des équipements collectifs et des voies de communication. Ceci implique une étude minutieuse du sol et du sous-sol. Les interventions du géologue de génie civil sont souvent d'un coût très modique, sans aucune mesure avec les économies considérables qu'elles permettent de réaliser.

La prévision des catastrophes naturelles (séismes, volcans, glissements de terrain...) prend une importance croissante avec le développement de l'urbanisation et nécessite un nouveau style de géologie « appliquée ».

De plus, l'environnement pose une question directement liée à la consommation en matières premières minérales, celle du recyclage. En effet, les vertus du recyclage sont doubles ; elles améliorent les ressources autarciques et diminuent les pollutions ; elles ont, en outre, un effet psychologique anti-gaspillage très important pour la politique d'économie des matières premières.

Avant la dernière guerre mondiale, la profession géologique était en France presque uniquement représentée par les membres du corps enseignant et les chercheurs des universités et grandes écoles. Le Service de la carte géologique de la France (créé en 1868), dépendant de la direction des Mines, disposait de très peu de moyens.

En 1941, la Direction des Mines créa le B.R.G.G. (Bureau de recherches géologiques et géophysiques). Ce service, peu important, devait effectuer certains travaux d'inventaire des ressources en minerais et substances utiles.

De 1945 à 1955, on assista en France à un développement remarquable de la profession géologique, sous l'influence de divers facteurs : l'essor de la recherche des substances énergétiques : pétrole uranium ; le développement des recherches minieres et géologiques dans les territoires de l'Union française ; l'action menée par certains enseignants pour créer de véritables géologues professionnels.

En même temps, le B.R.G.G. s'agrandit. Il devient établissement

public en 1953, sous le nom de Bureau de recherches géologiques, géophysiques et minières, chargé, en plus de certaines tâches de service public, de promouvoir la recherche minière en France métropolitaine.

Dès 1958, on assiste à deux phénomènes :

- d'une part, le 1er novembre 1959 nait l'actuel B.R.G.M. par fusion : du Bureau de recherches géologiques, géophysiques et minières, du Bureau minier de la France d'Outre-Mer, du Bureau de recherches minières de l'Algérie, du Bureau minier guyanais.
- D'autre part, les géologues tant universitaires que professionnels, la Direction des Mines, s'inquiètent du sous-développement de l'infrastructure géologique de la France, en particulier en ce qui concerne la carte géologique, et de la nécessité de disposer d'un véritable service géologique national.

Le décret du 22 décembre 1967 fondait en un seul organisme le B.R.G.M. et le Service de la Carte géologique de la France et préparait la création du Service géologique national au sein du B.R.G.M. (1er août 1969).

C'est donc une histoire assez complexe qui amène la France à disposer en 1969, d'un service géologique national, bien tard par rapport à la plupart des autres nations, mais avec un aspect original, puisque ce « Service public » fonctionne au sein d'un organisme à caractère industriel et commercial.

Le B.R.G.M. : En 1977, son budget est de 420 MF, ses effectifs sont de 2 130 personnes dont 810 ingénieurs et cadres.

Ses missions sont :

1. assurer l'infrastructure géologique du territoire national en collaboration avec l'université et les autres organismes de recherche géologique ;

2. mettre au point de nouvelles méthodes de prospection minière, de valorisation des minerais, de recherche et d'exploitation des eaux souterraines, d'étude géotechnique des sols et sous-sols ;

3. améliorer l'approvisionnement français en substances minérales en recherchant seul ou en association avec des intérêts privés de nouveaux gisements en France ou à l'étranger ;

4. mettre en évidence les réserves en eaux souterraines et en matériaux de construction dans le cadre de la politique d'aménagement du territoire ;

5. contribuer au rayonnement de la technique française par le développement des relations de coopération.

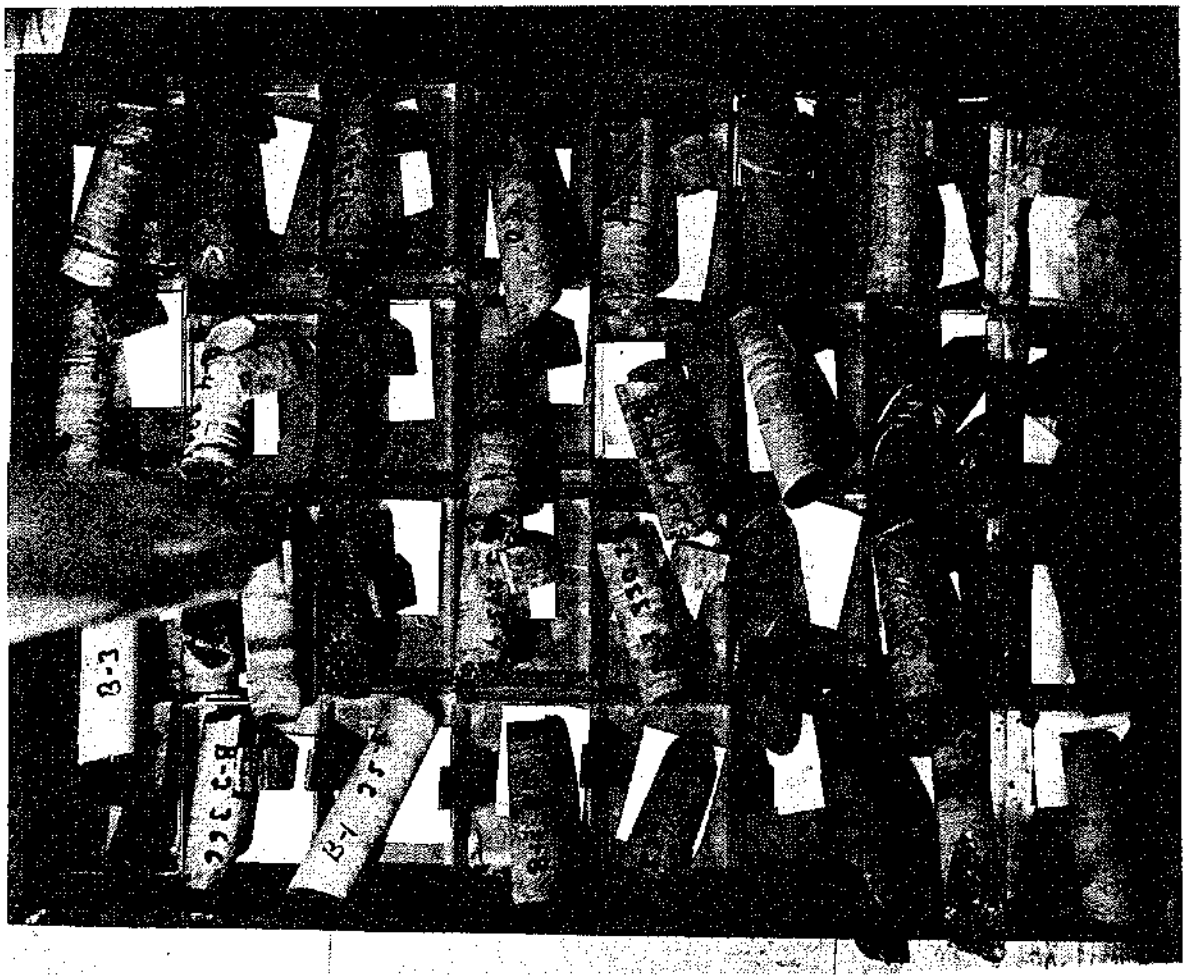
En 1977, ses moyens financiers étaient :

1. Crédits de subvention : recherche scientifique, service public, inventaire des territoires français et guyanais, prospections minières : 122 millions du Ministère de l'industrie, du commerce et de l'artisanat (M.I.C.A.) et 20 millions du Fonds d'aide et de coopération (F.A.C.) soit 34 % du budget.

2. Ressources propres : dividendes, ventes, bénéfices, réserves (très variables suivant les années) : 22,6 millions soit 5,5 %.

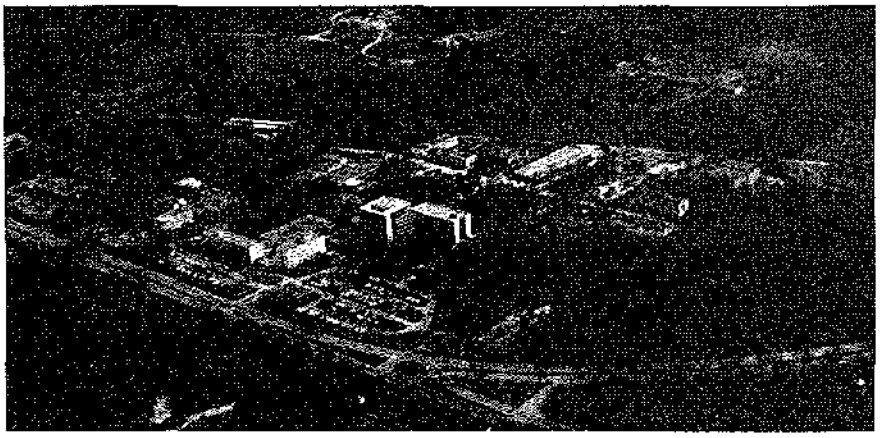
3. Fonds de concours et contrats commerciaux (avec des ministères, des organismes publics, des collectivités locales ou régionales, des Etats étrangers, des particuliers) : 260 millions de francs soit *60,5 % du budget.*

Les dépenses sont réparties : 47 % en métropole, 5 % dans les D.O.M. - T.O.M., 48 % à l'étranger.



Les légumes les plus chers du monde : Carottes de sondage.

Sous l'autorité de la Direction générale, deux directions déléguées assurent le développement des principales branches d'activités : la Direction du Service géologique national (DSGN) et la Direction de la recherche et du développement minier (DRDM).



B.R.G.M. Orléans.

LE SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Sa vocation est triple. Il effectue au bénéfice de la communauté nationale des travaux de recherche scientifique et de service public (38 % de ses activités en 1977). Il apporte son soutien sous forme de prestations de service allant jusqu'à la mise à disposition de personnel à la Direction générale et à la DRDM du B.R.G.M. (13 % de ses activités). Il met enfin ses moyens à la disposition de tiers publics ou privés (49 % de ses activités). Ces dernières activités sont financées sur contrats.

Le Service géologique national représente 960 personnes (dont 500 ingénieurs et cadres). Orléans en regroupe 630, le personnel restant étant réparti dans les 14 services géologiques régionaux couvrant la métropole et les départements d'Outre-mer.

Les activités de ce Service concourent à quatre objectifs nationaux.

Premier objectif

Assurer l'infrastructure géologique du territoire.

Pour cela le SGN procède à la collecte, à la conservation, au traitement et à la mise à la disposition du public des renseignements et échantillons d'ordre géologique, hydrogéologique ou minier, recueillis sur le sous-sol en application des dispositions de la loi lors de travaux souterrains ou de prospections et ce sous la forme d'une banque de données interrogeable par ordinateur des informations géologiques ainsi recueillies.

Quelques chiffres à ce sujet, en 1977 nous avons plus de 250 000 dossiers et cette même année, près de 5 000 consultations ont eu lieu dont 1 500 à Paris ; le nombre de ces consultations prouve l'intérêt des utilisateurs, intérêt qui se montre d'autre part par des contrats passés avec des collectivités locales et des pays étrangers pour réaliser de telles banques.

Nous avons été nous-mêmes très heureux par exemple de pouvoir disposer pour effectuer nos évaluations du potentiel géothermique de la France des milliers de mesures thermométriques effectuées au cours des sondages pétroliers.

L'ensemble des connaissances sur le sous-sol, recueillies à l'occasion d'études scientifiques ou de travaux industriels, représente un capital considérable. Ces connaissances peuvent être exprimées de façon synthétique et commode par les cartes géologiques et pédologiques. A n'importe quelle échelle, une carte géologique donne plus de renseignements par unité de surface qu'un texte imprimé quel qu'il soit.

Le SGN anime, coordonne et exécute les travaux nécessaires à l'établissement de la carte géologique de la France, ainsi que des cartes spécialisées, en assure l'impression, l'édition et la diffusion.

L'effort porte sur la couverture du territoire à l'échelle du 1/50 000. Lors de la préparation du VIIe Plan, la plus haute priorité a été donnée à cette réalisation réclamée en France, non plus seulement par l'Université, mais par différents groupes professionnels dont certains sont traditionnellement utilisateurs de cartes géologiques (mineurs, pétroliers, pédologues...), tandis que d'autres ont découvert récemment cet instrument (architectes, urbanistes...).

La couverture de la France au 1/50 000 représente plus de 1 100 feuilles ; actuellement un peu plus de la moitié de la surface a été couverte avec l'aide constante de nos collègues universitaires. Si l'effort actuel ne se ralentit pas, nous espérons finir cette tâche entre 1985 et 1990. Je signalerai simplement qu'une feuille représente en moyenne *deux années géologues.*

Rappelons qu'à côté de la carte géologique proprement dite (qui s'étend désormais à la marge continentale), le SGN veille à fournir des cartes plus spécialisées, telles que cartes géophysiques, hydrogéologiques, gîtologiques, géotechniques, de substances utiles, etc..

Deuxième objectif

Participer à l'aménagement du territoire :

a) en effectuant l'inventaire des ressources hydrauliques du pays, en mettant au point et en appliquant les méthodes permettant d'assurer la surveillance, le contrôle et la gestion des eaux souterraines, l'étude et la prévention des effets de la pollution des eaux souterraines.

b) en contribuant à l'inventaire des ressources en matériaux, notamment des granulats, en effectuant les études nécessaires pour une exploitation rationnelle et écologique de ces ressources par la réalisation de plans d'urbanisme, par l'étude des méthodes de réaménagement de de réhabilitation des paysages.

c) en développant les études de géotechnique et de géologie de l'ingénieur dans des domaines variés : hydrodynamique des massifs, implantations urbaines et industrielles, stockage des déchets nucléaires, surveillance des ouvrages d'art (en particulier des tunnels), risques géologiques séismes, éruptions volcaniques, éboulements, glissements de terrain...).

Troisième objectif

Apporter notre concours à une des grandes tâches du B.R.G.M. : **contribuer à l'approvisionnement de la France en matières premières minérales : minerais métalliques et non-métalliques.**

La tâche du SGN réside dans l'amélioration des techniques de mise en valeur des richesses minérales, que ce soit au niveau de l'invention ou du perfectionnement de méthodes de prospection et de prognose ou à celui fort important de la valorisation des matériaux et minerais.

a) *Méthodes de prospection géophysique*

La plus grande part des activités du SGN en géophysique consiste en la mise au point d'appareillages et de méthodes directement applicables aux recherches de minerais ou d'eau, à la géotechnique, aux opérations d'aménagement du territoire. Ses résultats n'ont pas été étrangers à l'amélioration des connaissances sur les amas sulfurés de Bretagne ; à l'évaluation des ressources en eaux souterraines du Sahel africain ; à l'appréciation des risques encourus lors de l'urbanisation sur des massifs calcaires susceptibles de recéler des entonnoirs de dissolution.

b) *Méthodes de prospection géochimique*

Cette méthode relativement récente d'approche des gisements cachés a été developpée au B.R.G.M. dès 1953 ; les développements méthodologiques des récentes années, nos études de discrimination mathématiques des microteneurs en métaux des sols permettant le repérage en profondeur de concentrations métalliques font de la prospection géochimique multiélémentaire avec analyse séquentielle, l'outil de base de l'inventaire des indices du territoire.

c) *Gîtologie*

Les activités en ce domaine comprennent : la cartographie gîtologique du territoire ainsi que les synthèses régionales qui en découlent ; l'étude des modes de génèse et les guides de recherche des différents types de minéralisation, des missions de conseil ou d'expert auprès des chantiers de recherche minière ; l'étude des minéralisations sous-marines.

d) *Traitement des minerais*

Dans les dernières décennies, l'accroissement de la production métallique (à l'exception du fer et du manganèse) à moins tenu à la découverte de nouveaux gisements qu'à l'abaissement des teneurs exploitables ; ainsi, pour le cuivre, on est passé de 2,1 % en 1925 à 0,5 % actuellement.

Au SGN, on étudie les techniques de séparation et d'épuration des minerais, par des méthodes basées sur les différences de propriétés physiques ou chimiques des minéraux porteurs des métaux intéressants. Les principes de séparation étant d'essence semblable, nous avons été amené à étudier les techniques de recyclage des déchets urbains incinérés ou bruts. Les méthodes mises au point fourniront aux grandes villes des solutions contribuant à la fois à l'amélioration de l'environnement et à la récupération de matières premières (métaux, papiers, plastiques, etc..).

Quatrième objectif

Apporter notre modeste contribution aux problèmes énergétiques. Le SGN est à l'origine du développement de la géothermie basse enthalpie en France ; en effet le sous-sol métropolitain renferme d'importantes nappes d'eau chaude dans les grands bassins sédimentaires à forte urbanisation. L'année 1976 a vu la réalisation d'une importance installation à Creil. Les prochaines années verront enfin se développer plus largement l'appel à cette énergie nouvelle.

Dans une un autre domaine trop délaissé en France, celui du charbon, nous avons relancé avec de trop faibles moyens un inventaire des possibilités du territoire pour des prolongements des bassins existants ou la recherche de nouvelles réserves.

En plus de ces objectifs et pour les réaliser, le SGN développe un certain nombre d'activités techniques générales :

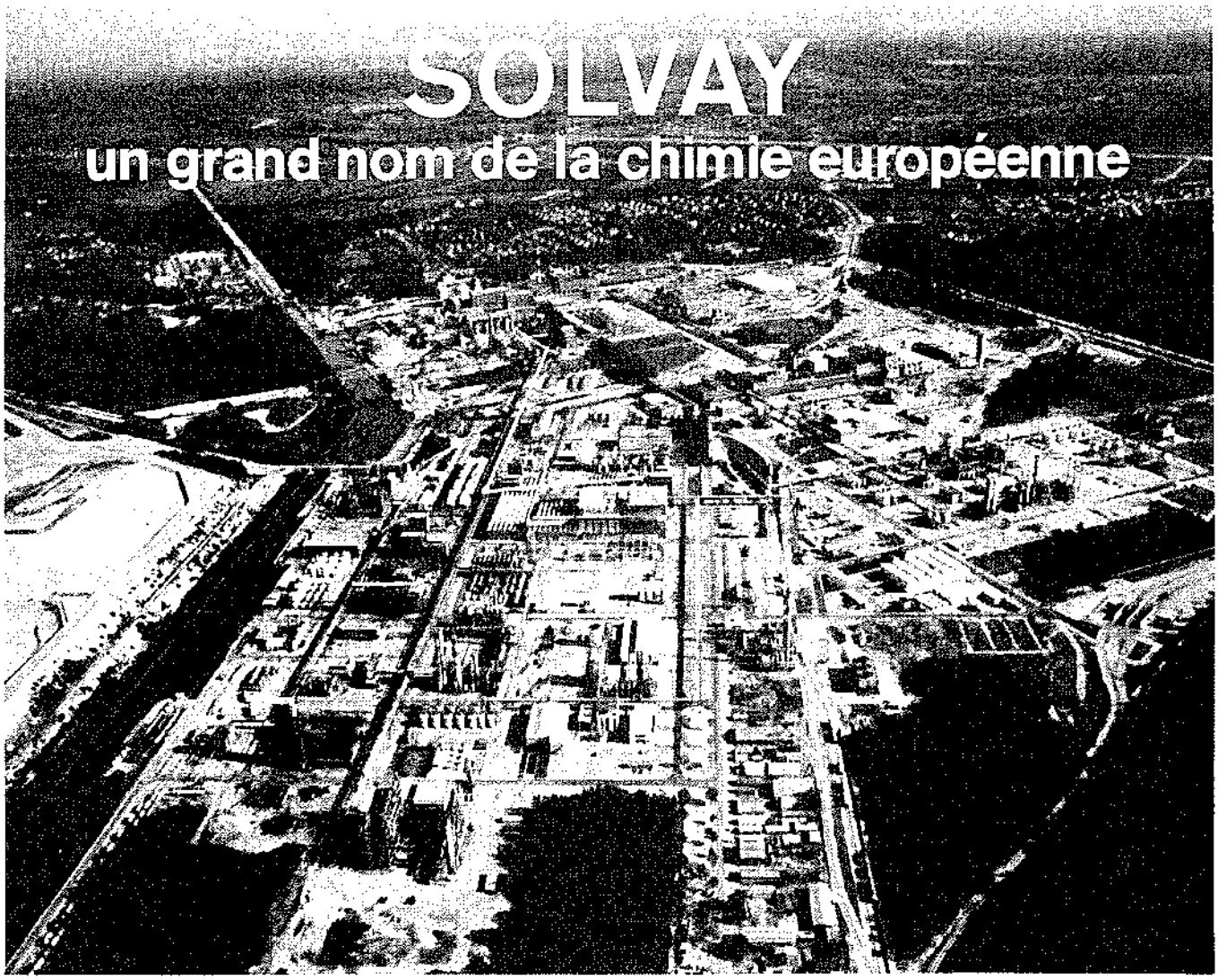
En documentation, nous éditons en commun avec le C.N.R.S. la bibliographie nationale dans le domaine des géosciences. Pour cela, nous avons établi des accords avec de nombreux pays étrangers.

Nous avons mis en place, de plus, la diffusion sélective de l'information. D'ores et déjà, l'on peut fournir chaque mois à un utilisateur une bibliographie sélectionnée selon son profil d'intérêts.

Le SGN dispose enfin d'un ensemble analytique équipé de puissants moyens, chargé tant de mettre au point des méthodes d'analyses que d'en assurer l'utilisation à des cadences réellement industrielles. C'est certainement en Europe l'ensemble analytique le plus important dans les géosciences.

Au sein du B.R.G.M., le SGN est le réservoir principal des spécialistes capables de participer activement aux activités de formation et de coopération : enseignements dans les universités ou les grandes écoles, formation de nombreux stagiaires français ou étrangers. Il participe à l'infrastructure géologique du tiers-monde : cartes géologiques, inventaire des ressources en eau, minerais et matériaux, mise en mémoire des données géologiques, etc.. Ces dernières activités sont essentielles pour le Service géologique national et pour le B.R.G.M. ; en effet, une forte position scientifique et technique doit permettre à la France, non seulement de gérer son patrimoine propre, mais aussi d'apporter aux pays en voie de développement un soutien qualifié nécessaire à la mise en valeur de leurs ressources naturelles, soutien qu'ils attendent de notre pays pour des motifs économiques et politiques. Ceci ne peut que nous aider pour promouvoir une réelle coopération internationale dans le domaine controversé des matières minérales et énergétiques.

Le Service géologique national dépendant du B.R.G.M. est donc fondé sur une conception rare sur laquelle je vais insister pour terminer. En effet, Service public et organisme de recherche, il est également doté du caractère industriel et commercial et doit de ce fait s'autofinancer en grande partie. C'est une formule qui lui donne un champ d'application très large, parfois critiqué, mais qui se révèle à l'usage excellent pour maintenir au sein du personnel un esprit d'émulation propice au progrès scientifique et technique, car la possibilité de voir, dans un délai raisonnable, des recherches déboucher sur une amélioration technique ou un profit industriel ne peut laisser insensible un chercheur conscient de ses responsabilités vis-à-vis de ses mandants, c'est-à-dire la société.



Le groupe SOLVAY présente une gamme de fabrications très étendue allant de la chimie de base aux matières plastiques et à leur transformation. Il compte actuellement plus d'une centaine d'usines et filiales implantées dans 17 pays, dont 12 en Europe, et occupe plus de 44.000 personnes.

Un effort permanent de recherche et une technologie de pointe ont permis à SOLVAY de disposer de procédés originaux de production et de réaliser ainsi plus de 40% de son chiffre d'affaires (12 milliards de FF en 1976) avec des produits de moins de 20 ans.
Parmi les capacités actuelles de production, on peut citer :

- plus de 6.000.000 de tonnes d'alcalis
- 1.800.000 tonnes de chlore
- 12.000.000 tonnes de sel
- 200.000 tonnes de peroxyde d'hydrogène
- 380.000 tonnes de persels (perborate et percarbonate de sodium)
- 950.000 tonnes de polychlorure de vinyle
- 500.000 tonnes de polyéthylène haute densité
- 100.000 tonnes de polypropylène.

Au cours des dernières années, le groupe SOLVAY s'est également spécialisé dans le domaine du bâtiment et de la décoration où il occupe une place importante (revêtements de murs VENILIA, plaques et châssis en PVC, produits de protection du bois XYLAMON, etc.). Les activités du groupe SOLVAY recouvrent de nombreux autres secteurs de l'industrie.

Elles sont reprises dans une brochure qui vous sera envoyée gratuitement sur simple demande.

SOLVAY

SOLVAY & Cie
Direction Nationale pour la France,
12, Cours Albert Ier
75383 Paris Cedex 08

888 ampliv

L'AVENIR DE L'APPROVISIONNEMENT MONDIAL EN MINERAIS

par François Callot (42)
ingénieur général des mines
Directeur du Bureau de Documentation Minière

Le problème des ressources minérales de la planète et de l'avenir de l'approvisionnement en matières premières minérales est depuis quelques années sur la place publique.

Quels sont les journaux ou les revues, spécialisées ou non spécialisées, qui n'en ont pas à plusieurs reprises entretenu leurs lecteurs, avec trop souvent des titres à sensation que rien ne justifie.

Pour clarifier le débat nous voudrions apporter quelques éléments de réflexion en distinguant les 3 aspects de ce problème, aspects qu'il convient de ne pas mélanger et auxquels correspondent 3 questions :

- *aspect géologique :* les ressources existent-elles dans la planète ?

Réponse : Oui, en très grande abondance

- *aspect politique :* ces ressources sont-elles disponibles ?

Réponse : Pas toujours, mais c'est pour des raisons essentiellement politiques

- *aspect économique :* à quel prix faudra-t-il les payer ?

Réponse : Très vraisemblablement nettement plus cher mais ce n'est pas dramatique.

Voyons successivement ces trois aspects de la question :

a) Les ressources existent-elles dans la planète ?

Pour répondre à cette question, il faut bien distinguer :

- les *réserves connues* de telle ou telle substance, réserves dont la littérature technique et même la grande presse font souvent état, et
- les *ressources de la planète* qui sont toutes les quantités de minerais, connues ou non connues, économiquement exploitables ou non dans les conditions actuelles.

Les réserves connues sont généralement limitées à 20 ou 30 années de consommation et cela est normal, car la prospection des gisements coûte cher et il ne servirait à rien d'avoir déjà investi des capitaux pour découvrir des gisements qui ne seraient exploités que dans 50 ans ou davantage. L'industrie minière est aussi sûre de reconstituer ses réserves, c'est-à-dire de mettre en évidence chaque année de nouvelles réserves qui compensent en moyenne les tonnages exploités dans l'année (1) *à condition de faire les efforts de prospection d'investissement et d'amélioration des techniques qui sont nécessaires,* que l'agriculture est certaine de renouveler chaque année ses productions **à condition d'avoir semé, planté et fait progresser ses techniques.**

Les ressources de la planète, quant à elles, sont immenses. S'il est bien vrai que les ressources minérales ne se renouvellent pas, du moins à l'échelle humaine, et que la terre a un volume fini, ce volume est tellement immense, à l'échelle de l'humanité et de ses besoins, que

les mille premiers mètres de croûte terrestre contiennent des quantités de métaux (y compris l'uranium) égales à plusieurs millions ou à plusieurs centaines de millions de fois les consommations annuelles actuelles du monde (2). Il n'est bien entendu pas possible techniquement ni économiquement d'exploiter tous ces tonnages, mais l'humanité n'en aura besoin que d'une très petite fraction au cours des prochains siècles, même si la demande continuait à progresser au rythme actuel, ce qui est peu vraisemblable.

Une représentation très simplifiée, mais parlante, de ces réserves et ressources peut être donnée par le graphique de la figure 1.

Une exception - particulièrement importante - à ce qui vient d'être dit concerne les hydrocarbures dont tous les experts s'accordent à reconnaître que les ressources (y compris celles des mers profondes que l'on ne sait pas encore prospecter ni exploiter, et celles des schistes bitumineux) sont modestes à l'échelle de la consommation actuelle. On s'attend donc à ce que la production passe par un maximum vers la fin du siècle, avant de décroître, les hydrocarbures étant alors progressivement réservés à leurs usages spécifiques (transport, industrie chimique).

On ne saurait nier que cela est préoccupant mais moins, probablement qu'il n'y peut paraître à première vue. Car, enfin, *ce dont l'humanité à besoin ce n'est pas de pétrole, mais d'énergie,* pour se chauffer, s'éclairer, se déplacer et faire fonctionner ses industries, et peu importe à l'utilisateur que l'électricité qui fait fonctionner sa lampe de bureau, son réfrigérateur, le métro ou une usine d'aluminium vienne d'une centrale à fuel ou à charbon ou d'une centrale hydroélectrique, nucléaire ou éventuellement solaire. Les énergies sont également largement interchangeables dans tous les processus de chauffage domestiques ou industriels.

L'épuisement progressif des ressources d'hydrocarbures posera à l'humanité un grand nombre de problèmes dus à cette vaste conversion vers d'autres sources d'énergie : problèmes financiers, humains, politiques, etc. mais les autres sources existent qu'il s'agisse du charbon, de l'uranium dont les ressources sont immensés (3), sans parler du soleil qui, s'il n'est pas éternel, durera bien aussi longtemps que l'humanité.

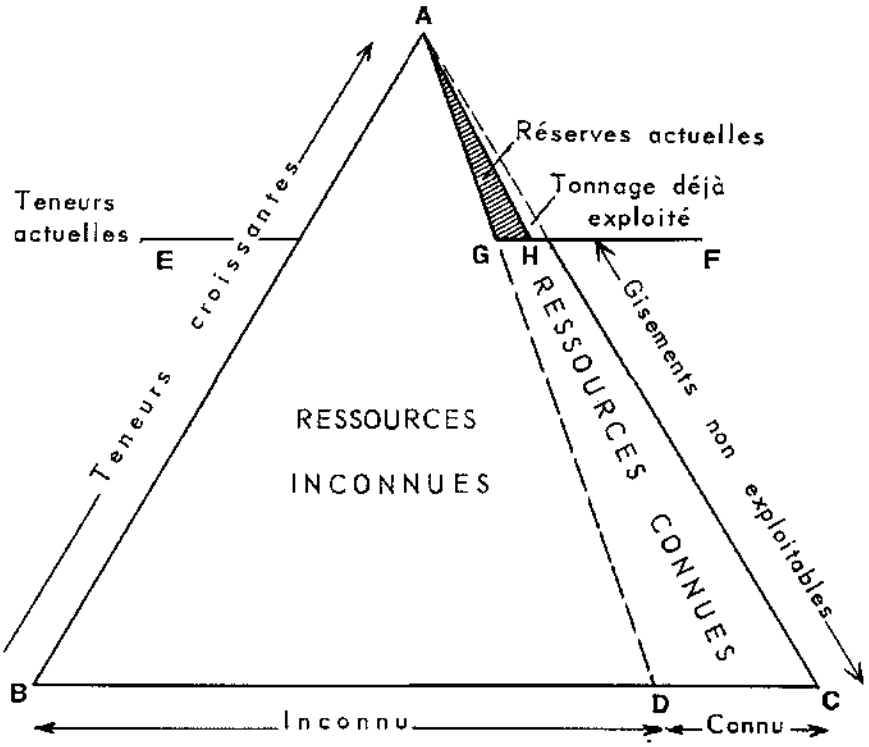


Fig. 1 - représentation schématique des réserves et des ressources minières. La zone hachurée AGH représente les réserves qui diminuent par l'exploitation (déplacement de AH vers la gauche) et se reconstituent d'une part par la prospection (déplacement de AGD vers la gauche), d'autre part par l'exploitation de gisements plus pauvres ou plus difficiles (déplacement de EF vers le bas) sans (ou avec) augmentation de prix de revient suivant que le progrès technique a (ou n'a pas) réussi à compenser les effets sur le coût, de l'exploitation de gisements moins favorables.

Cette représentation est très schématique. En particulier la position de la ligne BC dans l'échelle des teneurs est arbitraire. On peut dire qu'elle correspond aux teneurs les plus basses que l'on peut imaginer voir exploitées à l'avenir. Par ailleurs, la ligne AGD n'est certainement pas une droite car la prospection s'intéresse peu aux basses teneurs et les ressources connues vers le bas du triangle sont très faibles.

En résumé, il n'y a donc pas d'inquiétude à avoir sur l'existence physique de ressources immenses de minerais et d'énergie à la disposition de l'humanité.

b) Ces ressources sont-elles disponibles ?

La réponse à cette deuxième question sera malheureusement beaucoup moins affirmative.

Il ne suffit pas en effet que les ressources existent dans la planète, il faut encore qu'elles soient :

- *identifiées :* ce qui nécessite des travaux de prospection effectués en temps utile
- *produites :* ce qui nécessite des investissements importants et ce qui implique également que les rythmes d'exploitation ne soient pas volontairement limités en dessous des capacités des installations et de la demande du marché
- *mises à la disposition du consommateur :* ce qui nécessite un commerce mondial non perburbé par les troubles politiques, embargos ou autres mesures discriminatoires.

Ces trois fonctions de prospection, d'exploitation et de commerce ont à être autorisées par les États concernés ; dans certains cas l'autorisation ne suffit pas, et il faut, en plus, inciter les opérateurs éventuels ou, au moins, ne pas les rebuter.

On voit donc immédiatement combien l'approvisionnement du monde en matières premières minérales pourra dépendre des politiques des États (États consommateurs, mais plus encore États producteurs).

Rappelons ici quelques obstacles possibles :

- les investissements de prospection et de mise en exploitation risquent de n'être pas poursuivis au rythme voulu, à l'échelle du monde, parce que trop de pays, sans avoir assez de capitaux par eux-mêmes, refu-

sent les investissements étrangers, ou leur inspirent une méfiance telle que le résultat est identique. Depuis une dizaine d'années les investissements miniers du monde occidental se sont concentrés sur l'Australie et le Canada, considérés comme accueillants et sûrs, mais même dans ces pays, sont intervenus ces dernières années des restrictions aux investissements étrangers, des alourdissements de la fiscalité et même des nationalisations (potasse au Saskatchewan).

Par ailleurs, les bénéfices fournis par les très beaux gisements pouvaient être réinvestis en prospection à l'échelle du monde par les grandes entreprises privées qui les exploitaient. Ils sont maintenant strictement réservés au développement national des pays en voie de développement qui les ont nationalisés, limitant de ce fait les capitaux disponibles pour l'exploitation minière des pays qui ont peu, ou pas, d'activités minières.

- dans les pays industrialisés les activités minières et métallurgiques ont été souvent entravées depuis quelque temps, car il leur était reproché de porter atteinte à l'environnement. Malgré l'efficacité des mesures qui peuvent leur être imposées pour pallier ces inconvénients, on peut craindre que cette politique ne se poursuive sous la pression d'une opinion publique mal informée.
- les capacités de production risquent de n'être pas utilisées à plein lorsqu'un gouvernement, comme ceux de la Libye et de Koweit, décide de réduire le rythme de production en dessous de ce qui est possible, afin de conserver leurs réserves, ou de faire monter les prix, ou de ne pas vendre à tel pays « non ami »
- pour des raisons politiques, des pays peuvent comme les pays arabes à différentes reprises, ou comme le fit l'URSS pour le minerai de manganèse à destination des USA au moment de la guerre de Corée, établir un embargo de leurs exportations à l'encontre de tel ou tel pays.

c) A quel prix faudra-t-il les payer ?

Il est certain que les prix des matières premières minérales seront structurellement orientés à la hausse dans les décennies qui viennent. Cette hausse ne sera, bien entendu, pas régulière et elle compormarque » et, de ce fait, elle risque de se voir imposer, en réaction, des tera des hauts et des bas à caractère conjoncturels, mais la tendance à long terme sera à la hausse.

Il y a, à ces hausses structurelles prévisibles, des raisons de trois ordres :
- prix de revient technique
- contrainte de l'environnement
- politique des États

1. Prix de revient technique

Sous cette rubrique, nous voulons évoquer deux phénomènes qui ont des conséquences de sens opposés :
- d'une part, l'épuisement progressif des gisements les plus « faciles » conduit régulièrement à exploiter des gisements à plus faible teneur, à plus grande profondeur, situés dans des pays plus éloignés et souvent inhospitaliers, etc..., ce qui bien évidemment tend à accroître les prix de revient des minerais,
- d'autre part, les technique évoluent dans le sens d'une plus grande efficacité et donc d'un abaissement des prix de revient.

Ceci n'est pas nouveau et a toujours eu lieu, la conjonction de ces deux phénomènes se traduisant entre les années 20 et 70 par une hausse sensible du prix du cuivre, une baisse encore plus sensible de celui de l'aluminium et une relative stabilité de ceux du plomb et du zinc.

Pour l'avenir, on peut penser que le progrès technique aura de plus en plus de difficultés à compenser la hausse des prix de revient due à l'exploitation de gisements progressivement moins favorables, mais la hausse résultante devrait être très progressive (disons pour fixer les idées, un doublement en 30 ou 40 ans pour la moyenne des minerais et métaux, certains progressant plus vite et d'autres moins vite).

2. Contraintes dues à l'environnement

L'industrie minière et métallurgique a, dans le passé, certainement beaucoup trop négligé son environnement. Cela ternit son « image de marque » et, de ce fait, elle risque de se voir imposer, en réaction, des exigences parfois un peu excessives.

Quoiqu'il en soit, cette industrie devra à l'avenir respecter davantage les sites (car c'est cela qui est surtout son problème) et cela entraînera un certain accroissement de ses investissements et de ses prix de revient (disons, pour fixer les idées, de l'ordre de 5 à 10 %).

3. Politique des états

Les pays producteurs de matières premières minérales, quand ils sont en même temps consommateurs, et que les entreprises productrices sont principalement à capitaux nationaux, n'ont guère de raison de prélever des taxes particulièrement élevées ou de rechercher une élévation spectaculaire des prix.

Il n'en va pas de même dans les pays où la majeure partie de la production est exportée, comme c'est le cas de la plupart des pays en voie de développement et même, dans une certaine mesure, de pays développés, comme l'Australie et le Canada.

Ces pays, et cela est bien compréhensible, souhaitent accroître leurs recettes budgétaires et leurs rentrées de devises, et, par conséquent, sont tentés d'alourdir la fiscalité et, s'ils le peuvent, de faire monter les prix de vente à l'exportation.

Pour agir de la sorte, il faut être en position de force, c'est à dire qu'il faut contrôler, seul ou avec d'autres producteurs, une part très importante du marché et avoir la certitude que les consommateurs ne pourront pas à court ou à moyen terme se détourner vers des producteurs moins exigeants ou vers des produits de substitution. Telle est effectivement la position des pays exportateurs du pétrole qui ont augmenté considérablement leur fiscalité, et celle du Maroc qui a décidé brutalement, à la fin de 1973, de tripler le prix des phosphates vendus par l'organisme d'État marocain qui a le monopole de la production.

Les hausses de prix dues à la politique des États sont imprévisibles quant à leur amplitude et quant à l'époque où elles peuvent survenir, et les exemples du pétrole et du phosphate montrent qu'un quadruplement du jour au lendemain, ou en quelques mois, a été possible.

De nouvelles hausses aussi brutales sont-elles susceptibles de se produire à l'avenir sur l'une ou l'autre des substances minérales, par déci-

sion d'un seul pays producteur ou d'un groupe de pays producteurs. C'est peu probable au niveau d'un triplement de prix, mais ce n'est pas à exclure à l'échelle d'une augmentation de 50 ou 100 %, en période de haute conjoncture, et pour tel des produits pour lesquels existent des associations de producteurs : cuivre, bauxite, minerai de fer..., mais il faut noter que ces 2 derniers minerais ne représentent que 10 à 20 % du métal qu'ils servent à élaborer, une augmentation notable de leur prix (comme il en est survenu sur la bauxite des Caraïbes) ne peut avoir qu'une incidence modérée sur le prix de l'aluminium ou de l'acier.

Plus vraisemblables sont des augmentations de prix dues à la raréfaction, plus ou moins provisoire des quantités disponibles de tel ou tel minerai ou métal, raréfaction due, non pas à l'épuisement des ressources de la planète, mais plus simplement, comme nous l'avons évoqué ci-dessus, à la politique des États qui n'auront pas permis ou encouragé un suffisant effort de prospection ou de mise en exploitation de gisements nouveaux pour faire face en temps utile à la demande des consommateurs.

4. Conséquences des hausses de prix

Ces conséquences peuvent être graves dans le cas extrême, dont les économies occidentales ont du mal à se remettre, du quadruplement du prix du pétrole survenant très brutalement. Elles sont, au contraire, négligeables s'il ne s'agit que de la tendance au renchérissement régulier et progressif des matières premières dû au recours à des gisements moins favorables.

Voyons d'abord ce deuxième cas en précisant que la valeur de la production minière mondiale représente environ 4 à 5 % seulement du produit national brut de l'ensemble des pays du monde. Ce très faible pourcentage illustre bien le fait que, entre les minerais à la sortie des mines et les objets manufacturés que nous utilisons, il y a une longue série d'opérations : et que toutes ajoutent de la valeur à celle relativement assez négligeable des minerais.

Un doublement en 30 ou 40 ans du prix moyen des minerais et de l'énergie se traduirait simplement par un retard de 4 à 5 % dans la progression du produit brut de l'ensemble du monde, progression qui, avant la crise actuelle, se situait aux environs de 5 % par an environ ; la conséquence en sera donc minime.

Au contraire, un quadruplement brutal du prix du pétrole, entraînant un accroissement parallèle des prix des autres énergies sur le marché mondial est considérablement plus sensible, surtout pour les pays d'Europe occidentale et pour le Japon qui doivent importer, à ce prix mondial, 50 à 85 % de leurs besoins énergétiques. Il l'a été beaucoup moins pour les USA qui n'importent encore que 15 % de leurs besoins.

Pour les minerais et les métaux un triplement brutal de prix, comme celui imposé à la fin de 1973 par le Maroc, suivi d'une nouvelle augmentation de 50 % au milieu de 1974, aurait des conséquences beaucoup moins graves pour l'économie des pays consommateurs. Ces conséquences sont en effet, en première approximation, proportionnelles à la valeur des productions correspondantes ; or, avant les augmentations de prix de 1973, la production mondiale de pétrole valait à elle seule le double de la valeur de tous les minerais métalliques soit environ 7 fois la valeur du plus important d'entre eux, le minerai de cuivre, et 40 à 50 fois celles des minerais de nickel, de plomb ou de zinc.

En ce qui concerne les phosphates, leur production mondiale ne représentait que moins de 2 % de la valeur de la production de pétrole et 1 % de celle de l'ensemble des produits minéraux énergétiques. Même pour un pays comme la France qui en consomme plus que la moyenne du monde, ses importations de phosphates (avant les hausses récentes) ne représentaient que 4 % de la valeur des importations de pétrole brut. Le triplement de son prix, s'il a entraîné des charges très lourdes pour l'agriculture, n'a constitué pour la balance des comptes de la France qu'un fardeau relativement modeste par rapport à l'augmentation analogue des produits pétroliers. Ce fardeau n'était cependant pas négligeable, car il s'ajoutait au déficit considérable dû aux très fortes augmentations de prix du pétrole et des autres matières premières.

Notons également que le doublement ou le triplement du prix d'un métal ou d'un minerai n'a pas de conséquences très graves pour les économies des pays industrialisés, à condition seulement que tous les consommateurs subissent simultanément ces hausses de prix. S'il n'en était pas ainsi, et si les consommateurs français devaient par exemple payer leur cuivre 2 ou 3 fois plus cher que leurs collègues des pays voisins, il en résulterait, bien entendu, une très préjudiciable distorsion dans les conditions de la concurrence au niveau des demi-produits (câbles électriques) ou des objets manufacturés (moteurs, alternateurs, etc...)

Ce doit être une préoccupation permanente des responsables des approvisionnements que d'obtenir des conditions de prix au moins aussi favorables que la concurrence.

Conclusions

Au terme de ces quelques réflexions certains lecteurs me trouveront abusivement optimiste.

Optimiste je le suis en ce qui concerne l'existence physique dans l'écorce terrestre des ressources nécessaires pour satisfaire les besoins croissants de l'humanité, et en particulier les besoins grandissants de ceux qui consomment peu actuellement.

Mais ces ressources doivent être, d'abord identifiées, ensuite exploitées, et enfin mises à la disposition des consommateurs et cela nécessite d'immenses efforts

- de recherche technique pour améliorer les procédés et en abaisser les coûts
- de prospection minière pour découvrir de nouveaux gisements
- d'investissement pour équiper de nouvelles capacités de production afin de remplacer les gisements qui s'épuisent et de faire face à une demande accrue.
- et surtout de négociations internationales, bilatérales et multilatérales, afin de surmonter les difficultés d'ordre politique qui semblent bien être la principale menace qui pèse sur l'avenir de l'approvisionnement mondial en matières premières minérales.

(1) - Les tonnages découverts doivent être nettement plus importants que la production de l'année, afin que les réserves connues se maintiennent sensiblement à un même multiple d'une production qui augmente chaque année.

(2) - F. Callot, Annales des Mines, décembre 1971, page 14.

(3) - Les ressources d'uranium sont d'autant plus immenses que, surtout avec la technique des surgénérateurs, la part du minerai d'uranium dans le coût du kilowatt-heure est très faible, ce qui autorise des abaissements importants des teneurs d'exploitation minière, sans incidence notable sur le coût de l'électricité produite.

UN NOUVEAU CHAMP D'ACTION POUR
LA RECHERCHE DES MATIERES PREMIERES MINERALES :

LES GRANDS FONDS MARINS

par Gabriel Turquet de Beauregard (31)
Ingénieur général des mines

La nature dévoile parfois des aspects inattendus. Ils deviennent alors des objets de curiosité puis les hommes de science s'efforcent de les comprendre c'est-à-dire dè les intégrer dans des schémas généraux, ils peuvent aussi devenir l'occasion d'une nouvelle forme d'activité.

De nombreux éléments de la vie moderne ont une telle origine ; l'expérience d'Oerstedt a ouvert la voie à presque toutes les applications de l'éléctricité. Plus récemment la découverte des semi-conducteurs a transformé les applications de l'électronique et parallèlement certaines théories scientifiques ont connu de nouveaux développements.

I - Les nodules polymétalliques

En 1874 un navire océanographique britannique, le ss « Challenger » entreprit une croisière autour du monde pour explorer le fond des mers. Il recueillit ainsi de nombreux échantillons parmi lesquels de petites boules presque sphériques reposant sur la surface de certaines plaines abyssales et contenant du manganèse et accessoirement du fer.On les appela alors nodules de manganèse et pendant près d'un siècle ces nodules furent considérés comme une curiosité minéralogique.

A partir de 1960 des savants américains de l'Université de Scripps ont entrepris une étude systématique des dépôts de nodules, ils ont découvert que surtout dans le Pacifique Nord existaient des étendues importantes où les nodules renfermaient du nickel et du cuivre et accessoirement du cobalt à des teneurs appréciables. La valeur des métaux contenus rendait alors possible d'envisager une exploitation industrielle de ces éléments naturels et dès 1965 deux sociétés américaines : Deep Sea Venture et Kennecott Cooper Corporation ont procédé à une exploration systématique de certaines zones de l'Océan Pacifique et économiques en vue de déterminer les conditions d'exploitation industrielle de cette nouvelle ressource minérale.

Par la suite plusieurs organismes publics ou privés des Etats-Unis, du Canada, du Japon et de l'Europe ont procédé à des études sur les minéralisations existant dans les grands fonds marins. Ces études ont montré que les nodules représentaient une importante ressource de minerais métalliques. Accessoirement on a découvert en Mer Rouge l'existence de boues métalliques qui contiennent principalement du zinc et du cuivre. On ignore s'il existe d'autres gisements semblables dans les mers et les océans.

L'exploration du fond des océans s'est poursuivie depuis plus de dix ans mais elle est loin d'être achevée et les résultats obtenus ne sont pas tous connus. Les données chiffrées publiées jusqu'à présent font apparaître l'existence d'une zone relativement riche en minerais métalliques entre les îles Hawaï et le Mexique, limitée en gros par les parallèles 7° N et 15° N et les méridiens 120° et 160° de longitude Ouest, soit sur une surface de 8 millions de Km². C'est ce que les géologues appellent la région Clarion - Clipperton. Il existerait dans cette zone d'assez vastes surfaces garnies de nodules à 1,2 % de cuivre, 1,4 % de nickel et 0,2 % de cobalt par des fonds qui se situent entre 4 et 5 000 mètres de profondeur.

Les teneurs indiquées ci-dessus peuvent évidemment être dépassées sur certaines superficies d'extension limitée, elles ne semblent pas devoir être notablement plus élevées dans des champs minéralisés justiciables d'une exploitation industrielle.

Des teneurs plus basses peuvent par contre être observées dans des étendues beaucoup plus vastes. Il est certain toutefois que les teneurs des nodules en cuivre et en nickel seront un facteur déterminant de leur exploitabilité puisque la valeur du produit extrait est étroitement liée aux teneurs des métaux commercialisables.

Un dépouillement statistique a été effectué par un géologue britannique N. Allan Archer. Il porte sur 530 échantillons ainsi répartis :

Océan Atlantique	73
Océan Indien	55
Océan Pacifique Sud	148
Océan Pacifique Nord	254
	530

Un tel échantillonnage ne peut donner qu'une idée extrêmement grossière de la réalité si l'on rapproche le nombre des échantillons de la surface prospectée qui s'étend sur environ 260 millions de Km² .

Les prélèvements effectués ont permis d'avoir là où ils ont eu lieu une estimation des teneurs des nodules en métaux et de la concentration des nodules sur le fond de la mer c'est-à-dire de leur densité au mètre carré de surface minéralisée.

Les données publiées ont donné lieu à divers traitements statistiques. L'un de ceux qui paraît le plus réaliste a cherché à déterminer les surfaces minéralisées où se trouvent des dépôts de nodules relativement abondants à des teneurs plus élevées qu'ailleurs ; on a considéré qu'il en était ainsi pour une teneur supérieure à 1,76 % en Cuivre + Nickel. On aboutit ainsi à une surface minéralisée de 2,2 millions de kilomètres carrés soit environ quatre fois la surface de la France métropolitaine.

Pour apprécier la signification de ce chiffre il faut tenir compte d'une part du rendement probable des procédés de ramassage et d'autre part du volume de l'extraction annuelle qu'il conviendra d'atteindre pour réaliser une exploitation économiquement viable. Les études menées depuis dix ans à ce sujet tant en Europe qu'aux Etats-Unis conduisent à estimer que pendant plusieurs années le taux de récupération des nodules ne dépassera pas 20 % et que la capacité d'une exploitation industrielle devra s'élever à environ 3 millions de tonnes sèches par an. En supposant alors que la durée d'une exploitation minière soit de 20 ans on peut penser que le nombre des exploitations qui pourraient être ouvertes dans les conditions techniques et économiques actuelles seraient d'environ une centaine. Chaque exploitation serait capable de fournir annuellement 27 000 tonnes de cuivre, 32 000 tonnes de nickel et 6 000 tonnes de cobalt.

La mise en exploitation de ces nouveaux gisements ne pourra évidemment être entreprise que pour faire face à un accroissement considérable de la demande notamment pour le nickel dont la consommation annuelle est d'environ 700 000 T actuellement (704 000 T en 1974).

Les travaux menés pour l'exploration des champs de nodules ont suscité un certain nombre d'études théoriques relatives à l'origine des nodules et à leur localisation. Aucun résultat définitif n'a été atteint dans ces deux domaines. Quand on effectue la coupe d'un nodule on constate qu'il est constitué d'une série de couches plus ou moins concentriques formant une sorte de cortex autour d'un noyau souvent microscopique formé de restes de protozoaires, de débris de roche sédimentaire ou volcanique ou de dents de requin.

La composition chimique des nodules est variable, on y trouve en général :

- des hydroxydes métalliques de manganèse et de fer auxquels sont associés la plus grande partie du nickel, du cuivre et du cobalt ;
- des silicates d'aluminium et de magnésium ;
- des carbonates de chaux et des phosphates.

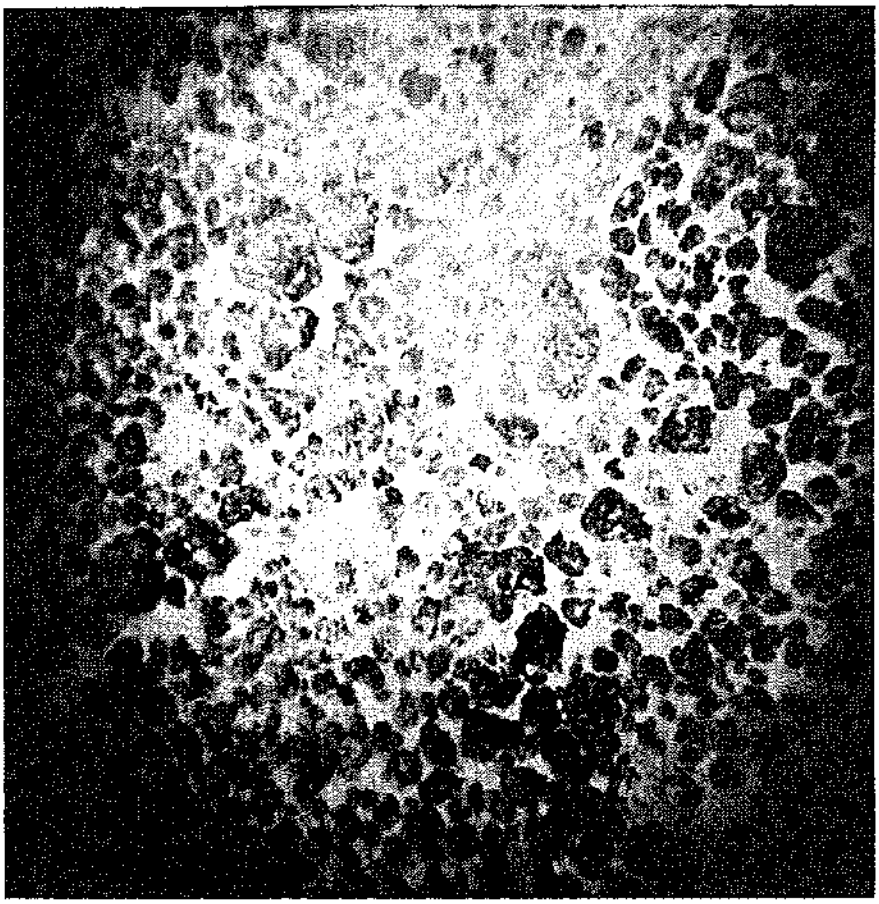
L'origine des nodules est encore controversée. Pour les uns ils sont le résultat de phénomènes liés au volcanisme, pour d'autres ils sont le produit d'une activité biologique. Enfin, il n'est pas certain qu'il existe un processus unique de formation des nodules dans tous les océans.

L'incertitude actuelle sur l'origine et la formation des nodules s'étend aux lois qui gouvernent leur localisation. Il semble toutefois que les nodules contenant des quantités appréciables de cuivre et de nickel se trouvent dans les zones où les sédiments contiennent des boues à radiolaires.

II - L'exploitation industrielle des nodules. Possibilités et contraintes.

Les résultats obtenus par l'exploration des champs de nodules fournissent un certain nombre de données nécessaires à l'élaboration d'un projet d'exploitation industrielle. La première est évidemment l'estimation de la valeur des métaux contenus dans une tonne de nodules. Suivant que l'on envisage ou

Coupe d'un nodule, photo CNEXO



Fond pacifique pris par engin libre, photo CNEXO

non de récupérer une partie du manganèse cette valeur se situe entre $140 et $120 par tonne sèche. Si l'on tient compte du rendement du traitement métallurgique envisagé, on doit considérer que la vente des produits extraits d'une tonne de nodules peut fournir de 110 à 130 dollars.

Partant de cette base, des études techniques et économiques ont été poursuivies sur la collecte et la remontée des nodules, leur transport et leur traitement. Il est apparu que le traitement industriel des nodules coûtera à lui seul près de la moitié du prix de vente des métaux récupérés. Deux usines pilotes ont été en activité pendant plusieurs mois pour mettre au point le procédé de traitement ; les études se poursuivent. Il n'est pas possible d'extraire des nodules les métaux utiles qu'ils contiennent par des procédés physiques. Les essais entrepris jusqu'à présent procèdent soit par lixiviation à l'acide chlorhydrique ou à l'acide sulfurique, soit par hydrométallurgie à base d'ammoniac. La séparation des divers métaux se fera probablement par lixiviation à l'aide de solvants organiques.

Le traitement des nodules a été étudié depuis plusieurs années aussi bien en Amérique qu'en Europe et en particulier en France ; il ne paraît pas nécessiter la mise au point de techniques nouvelles. Il n'en est pas de même de la collecte et de la remontée des nodules, ces opérations posent des problèmes qui ne sont pas encore résolus. Les essais se sont développés principalement dans deux voies : la première purement mécanique, l'autre hydraulique. Dans le premier cas les nodules sont raclés par une série de dragues formant noria qui sont remontées a la surface en étant réparties de long d'une boucle animée d'un mouvement continu à partir du bateau qui reçoit le minerai ou à partir d'un autre navire agissant de concert avec le premier. C'est le procédé C.L.B. (Continuous Line Buckett) qu'étudie un syndicat groupant plusieurs compagnies étrangères et le CNEXO.

La voie hydraulique est étudiée principalement par les consortiums internationaux. L'engin de collecte est alors distinct du système de remontée ; celui-ci est constitué par un tuyau dans lequel devront circuler les nodules en milieu liquide. Le consortium Deep Sea Venture entreprend actuellement des essais par voie hydraulique en vraie grandeur sur un champ de nodules qu'il a reconnu dans le Pacifique. Ces essais sont très importants car jusqu'à présent le problème du ramassage des nodules à l'échelle industrielle n'a pas été abordé en vraie grandeur. On doit prévoir en toute hypothèse que pour la première génération d'opérations, le taux de récupération ne sera sans doute pas supérieur à 20 %, il serait de 10 % seulement avec le procédé C.L.B.

Compte tenu de l'avancement des études techniques, il n'est pas possible d'établir un bilan prévisionnel précis d'une exploitation industrielle des nodules polymétalliques. On ne peut donner que des ordres de grandeur. Au cours d'un séminaire qui s'est tenu en février 1977 à Bruxelles, sous l'égide de la Communauté Economique Européenne, a été donnée une estimation des coûts et revenus d'une exploitation minière océanique extrayant 3 millions de tonnes de nodules sèches par an et livrant à l'industrie du nickel, du cuivre, du cobalt et du manganèse. Le montant du capital à investir évalué en US dollars 1976 s'élèverait à $730 millions dont $400 millions pour le traitement, le cash flow annuel moyen serait alors de $170 millions sans taxes ni impôts.

Bien entendu il s'agit là d'évaluations qui ont seulement une valeur indicative. Au surplus les calculs ont été faits en supposant que 30 % du manganèse serait récupéré et vendu, ce qui ne sera pas possible pour la plupart des exploitations en raison de la capacité d'absorption du marché.

III - Le cadre juridique

Dès 1967 l'attention des Nations Unies a été attirée sur le problème de la mise en valeur des ressources des fonds marins par M. ARVID PARDO, Ambassadeur de Malte, lorsqu'il a demandé que ces ressources soient « le patrimoine commun de l'humanité ».

Ce principe a été repris dans une résolution n° 2749 adoptée le 17 décembre 1970 par l'Assemblée Générale des Nations Unies sous le titre « Déclaration des Principes régissant le fond des mers et des Océans ainsi que leur sous-sol, au delà des limites de la juridiction nationale ».

Au termes de cette résolution il est prévu « qu'un régime international s'appliquant à la zone et à ses ressources et assorti d'un mécanisme approprié destiné à donner effet à ses dispositions sera établi par un traité international d'un ca-

ractère universel généralement convenu. Le régime prévoira, notamment, la mise en valeur méthodique et sûre et la gestion rationnelle de la zone et de ses ressources ainsi que le développement de leurs possibilités d'utilisation et assurera le partage équitable par les Etats des avantages qui en seront retirés, compte tenu particulièrement des intérêts et des besoins des pays en voie de développement, qu'il s'agisse de pays côtiers ou de pays sans littoral ».

En application de cette résolution la troisième conférence sur le Droit de la Mer qui a pour tâche de régler l'ensemble des problèmes soulevés par l'utilisation de la mer, s'efforce depuis 1973 d'élaborer un régime d'exploitation des fonds marins et de créer un mécanisme international dit Autorité Internationale des Fonds Marins chargée de gérer les ressources des fonds marins.

Après six sessions de la Conférence sur le Droit de la Mer les résultats acquis se limitent aux points suivants relatifs au « mécanisme ». Il y a accord sur la structure de l'Autorité Internationale ou plus précisément sur la nature de ses principaux organes, mais il n'y a accord ni sur les règles de fonctionnement de ces organes ni sur leur rôle. Les deux pricipaux organes seraient une Assemblée où siègeraient tous les Etats parties à la Convention et un conseil plus restreint, organe exécutif qui aurait pour rôle d'assurer la mise en route et le développement du régime.

Il y a accord également pour que soit créée une « Entreprise » organe distinct de l'Autorité qui effectuerait pour le compte de celle-ci les travaux d'exploration et d'exploitation.

Par contre aucun accord n'a pu être réalisé sur le régime d'exploitation. La question fondamentale est de savoir si l'Autorité Internationale aura le monopole de l'exploitation comme le demandent de nombreux pays en voie de développement ou si au contraire est reconnu un droit permanent des Etats et des Entreprises patronnées par ceux-ci d'avoir accès aux ressources de la zone internationale.

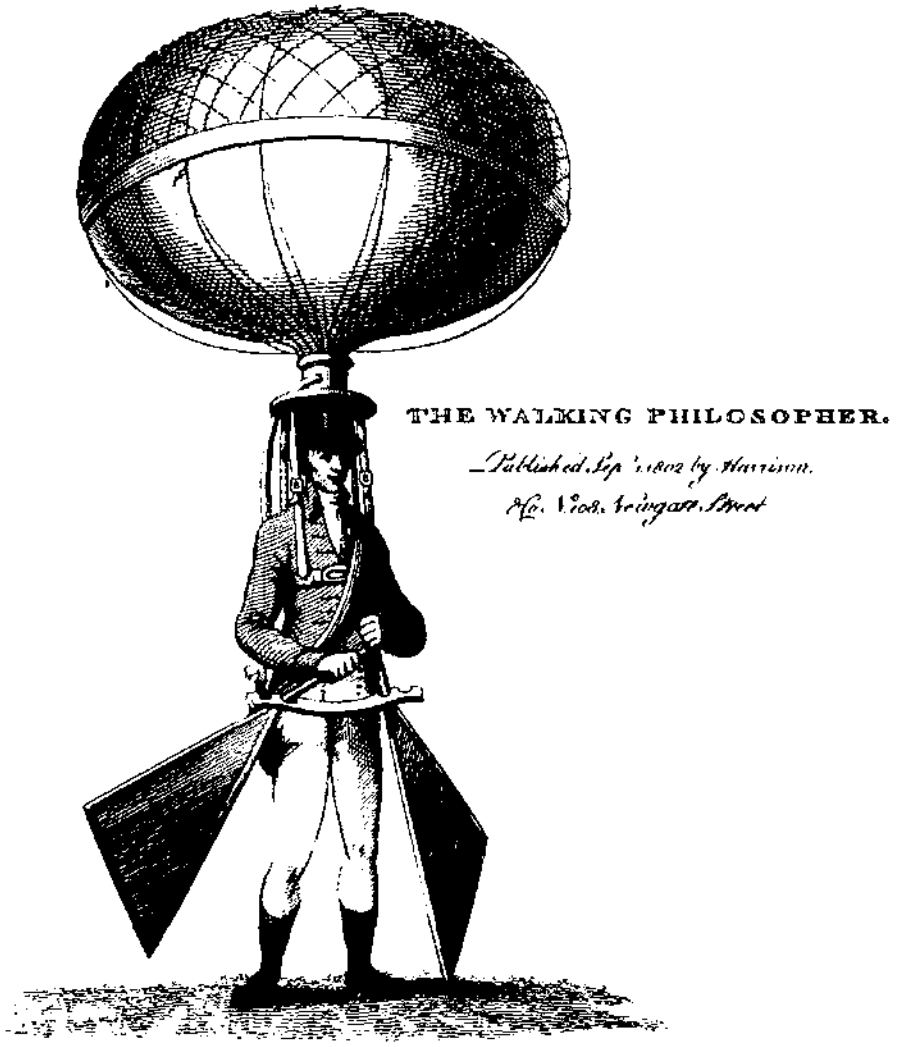
Pour sa part la France comme les autres pays industrialisés accepte que l'exploitation soit réglementée par l'Autorité Internationale mais elle entend que lui soit garanti l'accès aux ressources, la faculté d'exercer un choix des secteurs où les entreprises françaises pourront travailler, et la possibilité pour ces entreprises de conduire leur activité sans entraves anormales et de disposer librement des matière premières extraites. Cela suppose qu'il n'y aura ni stérilisation de la zone ni accaparement des surfaces à exploiter ou des ressources, ni contraintes excessives imposées à la conduite des opérations.

S'il n'est pas exactement tracé, le cadre juridique dans lequel doit en principe s'effectuer l'exploitation des nodules se trouve déjà esquissé. Aussi bien, les entreprises qui participeront à cette exploitation ont tenu compte des dispositions envisagées et en particulier les Sociétés Américaines ont estimé nécessaire de s'associer avec des entreprise européennes et japonaises, ainsi se sont créés :

- le consortium Kenecott où sont réunies les Sociétés Noranda (Canada) Consolidated Gold Fields et Rio Tinto (GB) et Mitsubishi (Japon) ;
- le consortium Deep Sea Venture qui groupe par filiales interposées US Steel (USA) et l'Union minière du Haut Katanga (Belgique) ;
- le consortium Ocean Management qui groupe la Société International Neckel Company, un groupe japonais et un groupe allemand ;
- un consortium groupant la Société Lockheed et une filiale du groupe Royal Dutch/Shell.

De son côté la France a créé sous l'égide du CNEXO une association AFERNOD qui groupe autour du CNEXO le CEA, le BRGM, la Société Le Nickel et les Chantiers de France Dunkerque.

Ainsi sont nées dans le monde de nouvelles entreprises industrielles en vue de l'exploitation des nodules polymétalliques. C'est là sans doute le début d'une aventure industrielle qui apportera en outre des découvertes nouvelles dans cette étendue de 260 millions de Km^2 dont l'exploration est à peine commencée.



L'imagination fait toute la différence

C.G.G. développe sans cesse de nouvelles idées

EN SISMIQUE :

- *Ondes transverses : Syslap*.*
- *Haute Résolution en Marine : Vaporchoc II*.*
- *Enregistrement de la signature : Signet*.*
- *Techniques 3D : Slalom Line*, WLP*.*
- *Système télémétrique SN 348 de Sercel.*
- *Corrélations entre vitesses et données lithologiques : Velog *.*

HORS SISMIQUE :

- *Méthodes électriques pour mesures d'extension de gisement : Tubel*, Telelog**.*
- *Combinaison méthodes électriques courant continu et alternatif : Direm *.*
- *Spectrométrie à 256 canaux : Madacs*.*
- *Images satellites : agrandissement au 1/100.000, corrections géométriques, couleur.*

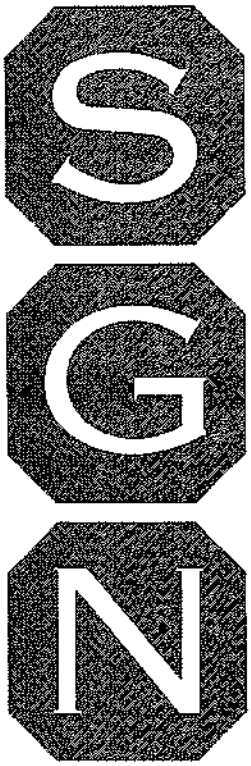
SIÈGE SOCIAL

6, rue Galvani
B.P. 56 - 91301
MASSY (France)
Tél. 920-84-08
Télex 692442 F

IMPLANTATIONS A L'ÉTRANGER

Calgary, Denver, Houston, London, Madrid, Rio de Janeiro, Tehran, Tripoli...

*C.G.G. trademark.
**I.F.P. trademark.

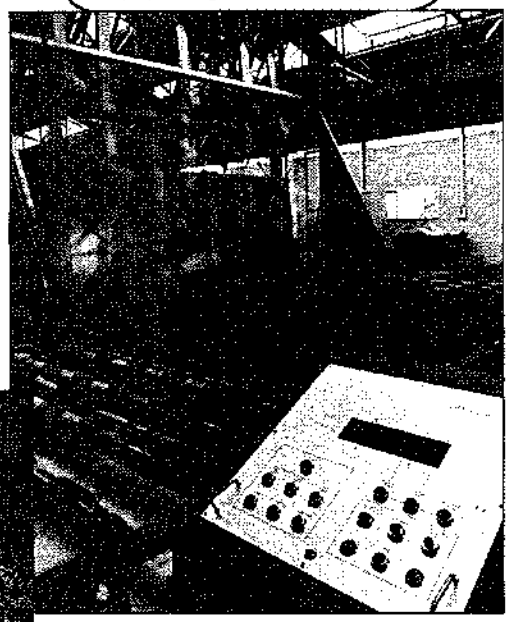


INGENIERIE

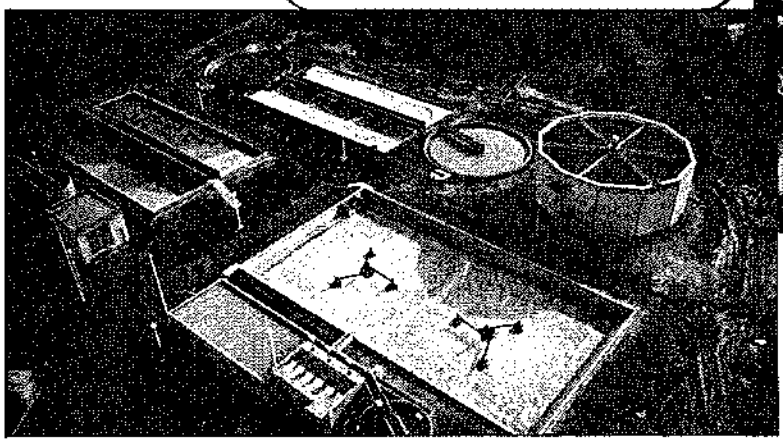
DE L'ÉTUDE A LA RÉALISATION CLÉ EN MAIN

AUTOMATION

Automatisation d'une machine verrière



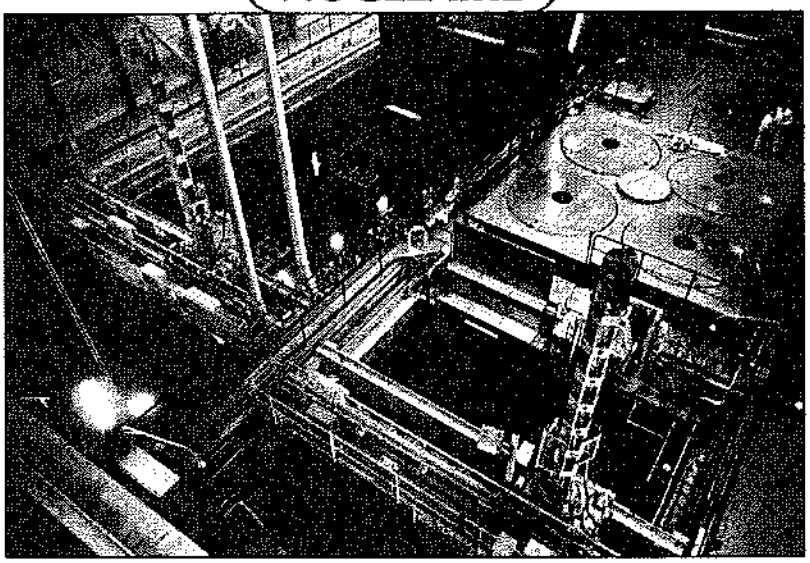
ENVIRONNEMENT



Epuration des eaux.

NUCLÉAIRE

Manutention et stockage de combustibles irradiés



photos P. JAHAN pubsoft

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
POUR LES TECHNIQUES NOUVELLES
23, boulevard Georges Clemenceau
92400 Courbevoie
France
Tél. : 637.01.30
Télex S.G.N. 610125 F

Il y a un siècle et demi, Brongniart identifiait une Ammonite trouvée dans la région des Fiz, où les couches sédimentaires forment, en face du Mont Blanc, les énormes plis décrits par H.B.de Saussure, avec une espèce de la craie de Rouen. Il établissait ainsi que les bouleversements de terrains, loin d'appartenir, comme le suggéraient les théories de Descartes et Buffon, à une époque antérieure de l'histoire de la Terre, s'étaient poursuivies en même temps que le dépôt des terrains sédimentaires, dont William Smith venait de montrer qu'il fournissait la base d'une chronologie. Et, très vite, il est apparu que de tels bouleversements se sont poursuivis tout au long des temps géologiques.

VUE GENERALE SUR LA TECTONIQUE TERRESTRE

par Jean Goguel (26)
Ingénieur général des Mines
ancien Vice-Président du B.R. G.M.

La méthodologie mise en œuvre pour l'étude de leur chronologie impliquait alors l'idée a priori de phases brèves et discontinues, et non de déformations lentes et progressives, et, par la langue qui s'est alors formée, (division du temps en étages, phases tectoniques situées entre ces étages), influence encore la pensée géologique contemporaine. Or, en fait, il y a tout lieu de penser qu'il s'agissait en général de déformations continues (sans qu'on puisse garantir l'uniformité de leur vitesse). Cette déformation progressive, exprimée ainsi par une succession de phases tectoniques, se regroupe dans chaque région en quelques grandes époques d'activité, séparées par de longues périodes de calme (par exemple, les époques d'activité hercyniennes et alpines de 50 à 100 millions d'années chacune, en France, séparées par le calme du Secondaire, pendant 100 à 200 millions d'années. Mais, d'une région du Globe à l'autre, ces époques d'activité tectonique ne sont pas simultanées, et il faut plutôt retenir l'idée d'un déplacement progressif de l'activité tectonique à la surface du Globe.

Dans le cadre de cette chronologie, l'étude de ces déformations tectoniques a donné lieu à des analyses très fouillées, dont il suffira de retenir les résultats généraux. Pour l'essentiel, la déformation de l'écorce se poursuit à des températures où la matière recristallise facilement, enregistrant ainsi, par la schistosité qu'elle acquiert, une déformation très poussée (l'analyse de cette texture permet même de distinguer les phases successives de déformation), si même une recristallisation ne se traduit pas par la formation de granite. Ce n'est qu'au voisinage de la surface que des roches trop froides réagissent par des déformations à plus grande échelle, nappes ou plissements, qui présentent l'intérêt de nous permettre d'analyser le cinématique de la déformation, laquelle correspond

pour l'essentiel à une compression latérale. Plus rarement, peut-être parce que c'est moins facile à mettre en évidence, on constate le coulissement relatif de deux compartiments séparés par une faille.

Il arrive que, la déformation s'accompagnant d'un soulèvement, des masses rocheuses - dont les dimensions peuvent aller jusqu'à des dizaines, voire des centaines, de kilomètres, glissent sur une pente. Leur mouvement est alors - à l'échelle des temps géologiques - très rapide, et cela a contribué à conforter l'idée *a priori*, de phases de déformation tectonique discrètes et brèves.

La surface des continents ne constitue guère que le quart de la surface du Globe, et l'analyse des déformations tectoniques successives, que l'on peut y observer, ne permettait donc pas une synthèse à l'échelle du Globe dans son ensemble. De toute évidence, en effet, la surface des continents ne constitue pas un échantillonnage valable de la surface du Globe. La seule distribution des profondeurs océaniques (le plus souvent 4 000 à 5 000 m) suffit à montrer l'opposition de structure entre les Océans et les Continents, (abstraction faite de la frange du « plateau Continental », surmonté par moins de 200 m d'eau, et qui doit être rattachée aux continents).

Dès 1910, Alfred Wegener avait tenté d'interpréter cette opposition, en montrant les analogies, de forme et de constitution géologique, de continents disjoints, qui auraient pu être initialement accolés (comme l'Afrique et l'Amérique du Sud, entre beaucoup d'autres exemples). Mais il n'offrait aucune explication de la genèse de l'Océan qui les sépare, et la synthèse qu'il proposait, avec la « dérive des continents », restait gravement incomplète.

Les moyens techniques qui ont permis l'analyse de la structure des fonds océaniques ont été, pour une large part, les suites de percées technologiques réalisées pendant et pour la guerre ; et, dans leur mise en œuvre, le désir de mieux connaître les profondeurs accessibles aux sous-marins nucléaires n'était pas absent. Ces moyens étaient essentiellement la mesure du champ magnétique (intensité totale), sur une plateforme en mouvement, remorquée par un avion ou un navire (née pour la chasse aux sous-marins), et le sondage sismique continu, d'abord pour la profondeur d'eau, mais qui a évolué ensuite pour la mise en évidence des interfaces subhorizontales entre masses rocheuses de propriétés différentes, en dessous du fond de la mer. En outre, l'attention portée à la détection des explosions nucléaires souterraines a entraîné un progrès décisif dans la sensibilité et la précision de la détection des séismes lointains.

La mise en œuvre de ces techniques a fait apparaître, assez vite, une organisation remarquable des fonds océaniques, reconnue d'abord sur un petit nombre d'exemples, généralisée à titre d'hypothèse, et bientôt largement vérifiée, au prix de certains ajustements. Statiquement, cette organisation consiste en l'existence au milieu des océans, d'un système linéaire de « rift », c'est-à-dire d'un fossé, bordé de part et d'autres d'anomalies magnétiques sysmétriques, avec des profils successifs dont les caractéristiques sont universelles, si l'on corrige les effets de l'inclinaison du champ terrestre. Les rifts ne sont pas continus, mais décrochés par un certain nombre de failles. Et les séismes se localisent, très précisément, le long des rifts, et des failles qui les décrochent.

L'interprétation dynamique est arrivée presqu'en même temps que la constatation de cette organisation. Elle repose sur l'idée que le rift est une zone d'expansion, dans laquelle s'injectent des roches volcaniques d'origine profonde, qui acquièrent en se refroidissant - et se partageant entre les deux blocs qui s'écartent - une aimantation fonction du champ magnétique existant alors.

L'alternance de signe des anomalies tient à ce que son sens s'est renversé fréquemment dans le passé (à un rythme de quelques millions d'années). Les changements de signe de l'aimantation rémanente des empilements de coulées de lave en avaient déjà fourni la preuve.

La détermination de l'âge de ces laves en années, fondée sur la désintégration radioactive du Potassium 40 en Argon et Calcium, a permis de dater les derniers renversements du champ magnétique et par là, d'évaluer à quelques centimètres par an, les vitesses d'écartement des deux lèvres du rift. Mais cela ne signifie pas que le mouvement soit uniforme. L'inertie ne joue aucun rôle, et il serait sans doute plus correct de parler de mètres par siècle, ou de décamètres par millénaire : c'est à cette échelle de temps que les séismes traduisent l'irrégularité du mouvement.

Le long des failles qui décrochent le rift, les deux blocs qui s'écartent coulissent suivant la direction de leur mouvement. Bien entendu, ces failles décrochent aussi les anomalies magnétiques parallèles au rift.

S'il y a ainsi création continue de fond océanique (un ou quelques km²par an), quelle en est la contrepartie, puisqu'on ne peut guère imaginer une Terre en expansion continue. La compression latérale dont témoigne, sur les continents, la structure des chaînes de montagnes pouvaient fournir la réponse. Assez curieusement, par suite de divergence d'Ecoles, cela n'est pas apparu immédiatement. Les Océanographes américains connaissaient la Géologie à travers une Ecole qui niait l'importance de ces compressions horizontales (à l'inverse des Géologues alpins), et ils n'ont d'abord envisagé que le rôle de ces chaînes de montagnes en formation, (comme le disait déjà Pierre Termier) que sont les guirlandes d'îles de type Pacifique ; elles comportent des volcans, des fosses océaniques du côté externe associées à des anomalies de la gravité ; les séismes y sont de plus en plus profonds vers la concavité de l'arc, et jalonnent ainsi une « Surface de Benioff », inclinée de 40° à 70° vers l'intérieur de l'Arc, et ceci jusqu'à 600 ou 700 km de profondeur. Il était séduisant d'admettre que, le long de cette surface, la croûte océanique s'enfonce sous la bordure d'une croûte de type différent plus ou moins continentale.

Comment est possible ce glissement latéral des plaques superficielles, par rapport à l'intérieur du Globe ? on savait depuis longtemps que la manière dont s'équilibre, dans le sens vertical, la croûte superficielle du Globe, implique que, à une certaine profondeur, la matière se comporte comme fluide, s'écartant sous une surcharge, affluant vers les zones les moins chargées. C'est cette fluidité qui permet également le déplacement horizontal des plaques. Mais à quelle profondeur commence-t-elle (une viscosité très élevée est d'ailleurs associée à cette fluidité) ? Certainement pas, contrairement à ce qu'on avait d'abord pensé, au niveau de

la discontinuité de Mohorovicic, où la vitesse des ondes sismiques augmente, en même temps que la densité, et qui se trouve à une faible profondeur en domaine océanique. Beaucoup plus bas — vers 100 à 150 km de profondeur — on a mis en évidence une baisse de la vitesse sismique, qui peut correspondre à un début de fusion, très partielle, de la matière (« Manteau supérieur ») que l'on suppose, à partir de la discontinuité de Mohorovicic, de composition ultra-basique (c'est-à-dire, très riche en Mg et Fe, et à proportion de Si02 relativement faible) Au fur et à mesure du refroidissement du Globe, cette zone de fusion commençante pourrait devenir plus profonde ; mais inversement, dans la zone de création des fonds océaniques, le long des rifts, elle serait beaucoup moins profonde, et on constate effectivement que le flux de chaleur y est très supérieur à la moyenne.

Tel est très rapidement indiqué, le schéma général de la « Tectonique des plaques », sous sa forme primitive, dont il restait à préciser le détail régional et à vérifier les conséquences.

Parmi celles-ci citons le fait que, en fonction du numéro d'ordre de l'anomalie magnétique, compté à partir du rift, toute partie du fond océanique a un âge bien déterminé. Lorsqu'est apparu l'instrument de recherche tout à fait exceptionnel, et resté unique, que constitue l'appareil de sondage installé sur le navire « Glomar Challenger », capable de faire un sondage carrotté de plus de 1 000 m, sous 5 000 m d'eau, âme d'un projet américain JOÏDES qui a bénéficié de nombreuses collaborations scientifiques étrangères, on s'est essentiellement attaché à vérifier cet âge maximum, qui est celui, indiqué par la Paléontologie, des sédiments les plus profonds, reposant sur un socle basaltique. Et la vérification a été éclatante. Le projet se poursuit sur une base internationale (IPOD) avec une participation française, et il faut espérer qu'on tentera de traverser ce basalte, aux points (comme la mer des Caraïbes), où il y a quelques indications qu'il repose sur des sédiments plus anciens.

L'interprétation dont le principe a été indiqué ci-dessus, est-elle cohérente à l'échelle de l'ensemble du Globe ? Question essentielle, à laquelle une réponse a été apportée par Xavier LE PICHON, qui a montré qu'une solution complète et cohérente pourvait être construite, sur la base de six plaques, à condition d'admettre que la chaîne Alpino-Himalayenne jouait le même rôle - de lieu de disparition de l'écorce, ou de sa compression, ce qui revient au même, que les guirlandes insulaires (auxquelles il faut assimiler la côte occidentale de l'Amérique du Sud).

On s'est parfois mépris sur la signification de ce modèle. Il établit qu'une solution globale cohérente est possible. En aucune manière, il ne prouve que cette solution est unique, ni que celle qui a été proposée corresponde à la réalité.

En fait, il peut fort bien y avoir plus de plaques indépendantes que le nombre minimum primitivement envisagé, et la seule considération des structures océaniques a conduit à augmenter ce nombre. Mais surtout, la correspondance entre ce modèle et ce que nous savons de la structure géologique des continents, nous le fait apparaître comme très rudimentaire. La structure de la Chaîne Alpino-Himalayenne implique des déplacements mutuels très complexes d'une multitude d'unités, déplacements dont les chronologies sont très différentes. Les continents eux-mêmes ne peuvent être assimilés à des blocs rigides ; les diverses lignes de fossés africains, jalonnées par les grands lacs, correspondent au début de l'ouverture d'un « rift », et il nous faut envisager de la même manière le fossé rhénan (la mer Rouge représentant un stade un peu plus avancé).

En dehors même de ces fossés, indices d'une extension localisée, l'existence de bassins sédimentaires d'épaisseur très variable (Mer du Nord, ou Bassin Parisien, pour l'Europe), contrastant avec des zones de soulèvement, plus ou moins fortement érodées (Massif Central, Massif Armoricain, etc) ne peut guère s'interpréter que comme traduisant une certaine extension dans le 1er cas, une compression dans le second. Toutes ces évolutions se poursuivent en effet sans que soit modifié l'équilibre isotatique (que la Géodésie, et en particulier la gravimétrie permettent de vérifier), celui-ci impliquant que tout se passe comme si une croûte, relativement rigide, flottait en équilibre archimédien sur un milieu fluide profond, lui-même en équilibre. Dans ce cadre, affaissement ou soulèvement localisés s'interprètent plus facilement, comme la manifestation d'un étirement ou d'une compression, que comme résultant d'hypothétiques changements de densité.

Et dans les zones montagneuses, que l'on peut considérer, dans l'ensemble, comme des limites actives de plaques, les séismes, loin d'être étroitement alignés, comme dans le domaine océanique, occupent une largeur notable, et, sauf quelques sites isolés, ponctuels, se produisent à des profondeurs « normales », ne suggérant rien d'analogue aux « surfaces de Bénioff ».

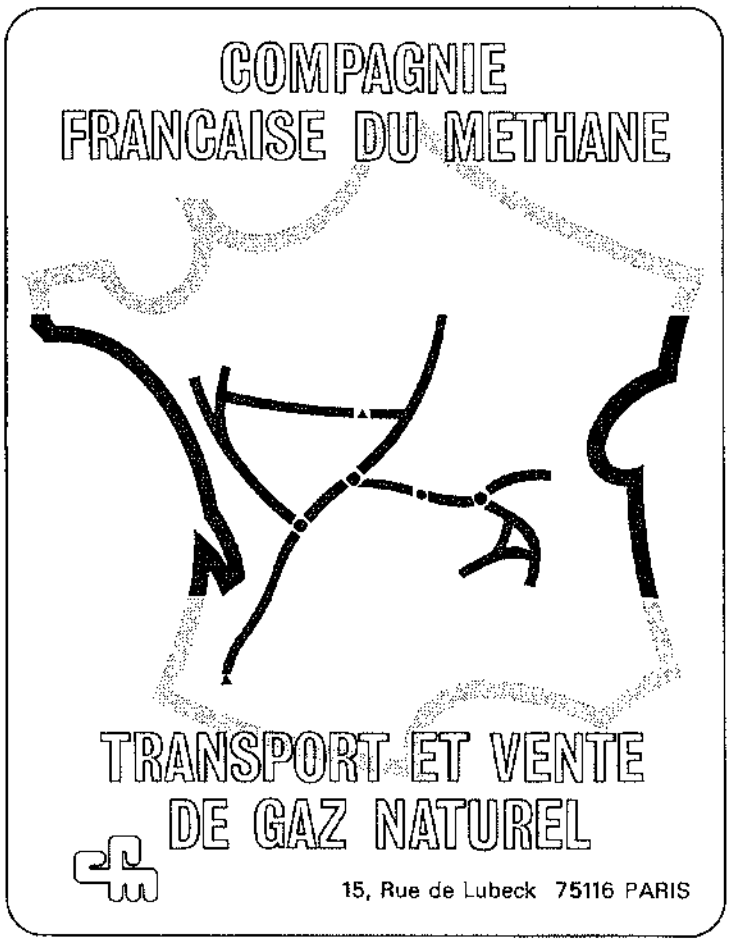
En Chine et dans l'Asie Centrale, ils ne jalonnent pas une limite de plaque, mais soulignent une multitude de cassures, le long desquelles de grands blocs ont coulissé les uns par rapport aux autres, le mouvement n'étant pas achevé. Les chaînes de montagnes intra-continentales correspondent à un mécanisme de compression, et de disparition en profondeur d'une partie de la croûte, très varié, et qui peut s'étaler sur une largeur notable. Il n'y a aucune raison de vouloir ramener ces mécanismes à celuique schématise le jeu des surfaces de Benioff sur la marge des Océans.

Il reste un très gros travail à faire, pour réinterpréter les connaissances acquises sur la structure de chaînes de montagnes, telles que la Chaîne Alpino-Himalayenne, dans le cadre de la théorie des plaques, tant pour l'époque actuelle que pour les périodes géologiques, pour lesquelles le jeu des limites entre plaques peut avoir été très différent de ce qu'il est aujourd'hui. Mais, si l'on se souvient que l'un des meilleurs critères pour situer les limites actuelles des plaques est la distribution des séismes, qui nous échappe totalement pour le passé géologique, cette reconstitution apparaît très aléatoire. Il ne suffit pas, comme on l'a fait fréquemment, de proposer une reconstitution. Une discussion approfondie, dont les éléments manquent souvent, serait nécessaire pour montrer qu'une telle reconstitution est la seule possible, ou au moins la plus vraisemblable. L'intérêt de ces reconstitutions est que, grâce à l'analyse détaillée de la structure des chaînes de montagnes, nous sommes mieux renseignés sur la cinématique de leurs déformations dans le passé, que sur la déformation actuelle,

que sa lenteur (quelques cm/an en moyenne) ne permet pas d'analyser en détail, même si nous avons l'espoir de pouvoir bientôt la mesurer.

La théorie des plaques est née dans le domaine océanique, où le niveau de nos connaissances objectives sur la structure reste très limité. Elle a fourni quelques idées de base qui se sont révélées cohérentes, et permettent pour la première fois une interprétation globale du mode de renouvellement de la surface de notre planète. Mais, dès que nous la confrontons avec les zones dont nous avons une connaissance détaillée, en régime continental, on constate de nombreuses complications. Le modèle simple de la théorie des plaques n'est pas la solution miracle qui permettrait de tout expliquer, et de tout prévoir. Il constitue le schéma simplifié et général, qui permet de tenter une coordination de nos connaissances. Mais, plus celles-ci sont détaillées, plus les choses nous apparaissent comme compliquées.

Mais si les beaux schémas qui tentent de donner de cette théorie un modèle aussi simple qu'élégant, risquent de devoir se compliquer à mesure que nous connaîtrons mieux le détail des structures à expliquer, le fait que nous disposions d'un fil directeur pour situer ces structures, dans un schéma de déformation valable à l'échelle du Globe terrestre, constitue une étape décisive dans l'histoire des Sciences de la Terre.



En 1976, EDF, le CEA et le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), ont entrepris de réaliser une carte sismo-tectonique de la France, aidés et soutenus par le Service de sûreté des installations nucléaires du ministère de l'Industrie, du commerce et de l'artisanat. Ce projet a mis en jeu des moyens importants - sept millions de francs en trois ans - et il mérite sûrement de figurer parmi les « nouveautés » de la recherche géologique française dans les cinq dernières années. Plusieurs pays étrangers s'intéressent d'ailleurs à cet effort, qui n'a guère d'équivalent au monde dans la forme sous laquelle il est conduit, et bien que d'autres pays consacrent des dépenses sans commune mesure avec les nôtres à la prévention des risques sismiques.

LA CARTE SISMO-TECTONIQUE DE LA FRANCE

par J. Bodelle (56)
Ingénieur en chef des mines
Directeur adjoint du Service géologique national (BRGM)

Pourquoi une carte sismo-tectonique ?

L'association des partenaires du projet ne laisse aucun doute : c'est bien le souci de parer au mieux aux risques de dégradation des centrales nucléaires par des séismes qui a justifié la mise en chantier du projet.

Le constructeur d'une centrale est en principe capable d'adapter sa construction aux risques sismiques, à condition qu'on lui définisse ces derniers, en termes de mouvements maximum probables - amplitudes et fréquences-.

Cette adaptation est, plus qu'un problème technique, un problème de coût. D'où la nécessité de définir également la probabilité des différents risques à prendre en considération.

Le risque sismique, au point d'implantation de la centrale, dépend de deux types de facteurs : ceux qui sont liés à la nature des terrains aux alentours de la centrale, d'une part ; ceux qui caractérisent, d'autre part, l'activité sismique dans la région.

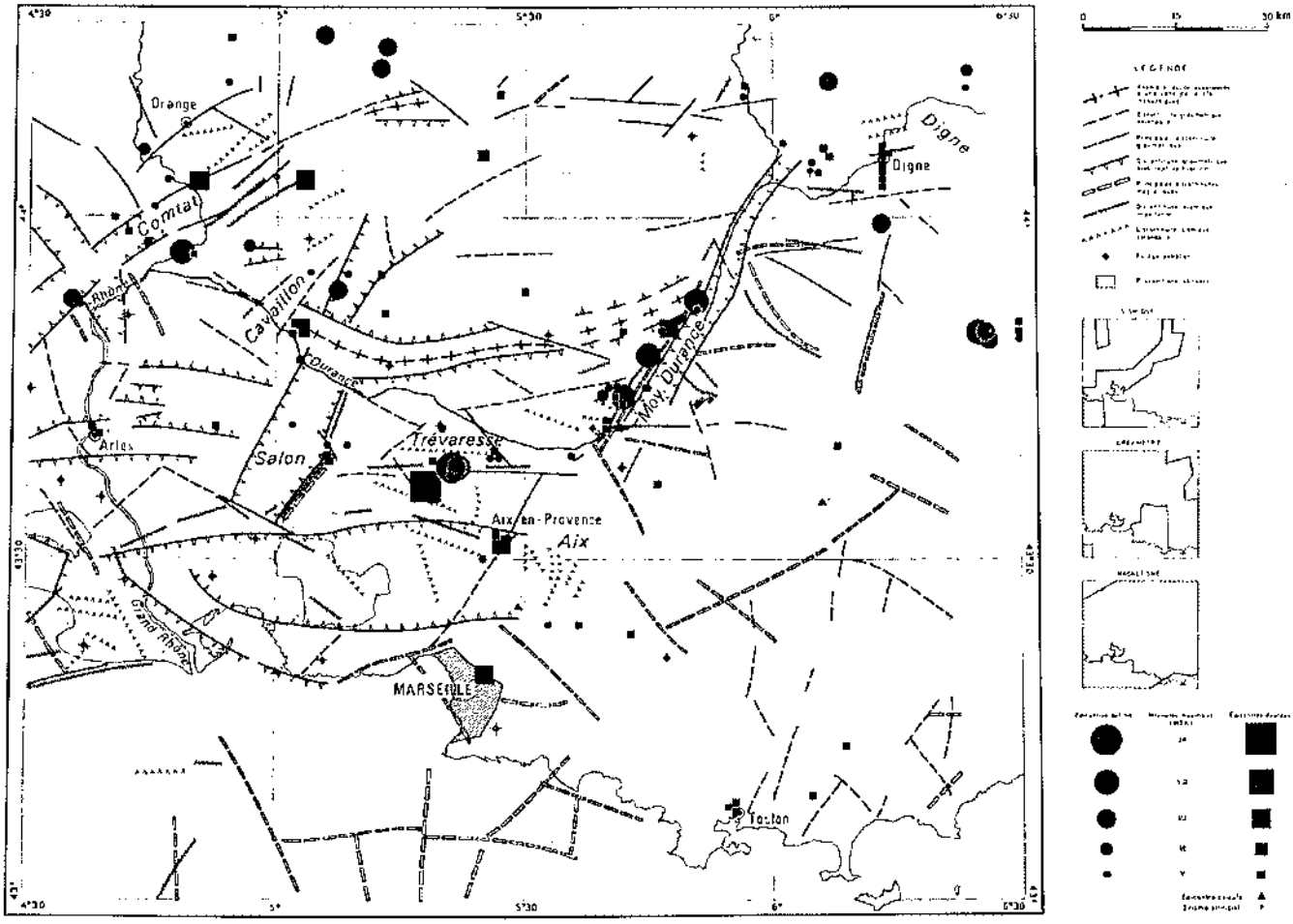
On sait que les premiers revêtent une grande importance : une même secousse est ressentie différemment

selon la nature des terrains superficiels ; ceux-ci peuvent également, selon leur agencement à l'échelle hectométrique, donner lieu à glissements, écroulements, etc. L'appréciation des risques sismiques pour l'implantation d'une centrale nucléaire nécessitera donc toujours une étude géologique détaillée du site à l'échelle kilométrique : lever géologjque détaillé, étude géophysique, sondages de reconnaissance avec analyse des roches...

Par contre, l'évaluation du risque d'une activité sismique dans la région suppose une approche à une autre échelle, d'ordre deca ou hectokilométrique. Cette évaluation doit avant tout s'appuyer sur l'observation historique des séismes : la position de leur épicentre, leur intensité, la forme approximative des courbes d'iso-intensité (isoséistes). Le rapport sur carte de ces informations donne bien sûr une idée de la séismicité des différentes régions ; mais une idée approximative seulement, du fait que l'on ne dispose d'informations valables que pour quatre ou cinq siècles, au maximum ; du fait également du caractère aléatoire du phénomène sismique.

Le but de la carte sismo-tectonique est de faire appel à d'autres notions que celle de l'observation historique des séismes pour organiser le nuage des points ainsi obtenus : différencier des zones à plus ou moins grande activité sismique avec plus de finesse ; définir par exemple des blocs plus stables dans un ensemble sismique, des alignements, voire des failles actives, en argumentant solidement ces interprétations.

L'idée en elle-même n'est pas neuve : les géologues ont toujours cherché à interpréter le caractère sismique d'une région à la lumière de ce qu'ils connaissaient de la structure géologique de cette région. Ce qui est par contre original dans la demande française, c'est l'utilisation simultanée d'un nom-



bre important de sources de renseignements sur l'évolution de l'écorce terrestre, rendue possible par les progrès de la connaissance de cette dernière.

Les thèmes de la carte sismotectonique

L'étude des linéaments de l'écorce

Les photographies par satellites ont permis de mettre en évidence des anomalies plus ou moins linéaires de l'écorce terrestre, connues sous la forme de failles, par exemple, sur une partie de leur parcours, mais que l'observation à plus petite échelle que celle des photographies aériennes traditionnelles a permis de prolonger. De même, des anomalies apparaissent là où, sur le terrain, aucune fracture n'est visible. On peut supposer que des facteurs ténus (par exemple : modification de la perméabilité des roches, donc de l'humidité, donc de la végétation) échappant à l'observation directe, apparaissent sur des photographies prises à haute altitude, dans la gamme très étendue des longueurs d'onde observées.

L'interprétateur doit se garder de tomber dans deux pièges majeurs :

- mettre sur le même plan et représenter avec la même valeur des phénomènes de portées très différentes ; d'où, la nécessité de hiérarchiser soigneusement les observations, ce qui est loin d'être commode à faire ;
- se laisser guider inconsciemment par le souci de raccorder des accidents entre eux, pour ainsi leur donner une importance plus grande (on se souvient de l'exemple classique des canaux observés sur Mars au télescope et du démenti apporté par les photographies prises par les satellites).

L'hypogéologie

L'interprétation des mesures géophysiques systématiques, notamment des mesures de gravité et de magnétisme, permet de déceler des anomalies non visibles en surface. Leur effet s'atténue avec la profondeur, mais des anomalies profondes de plusieurs kilomètres sont décelables si elles sont suffisamment étendues. L'arsenal des méthodes mathématiques de traitement des données s'est largement développé ces dernières années.

On sait maintenant accentuer les contrastes et rendre les cartes d'anomalies très parlantes et plus commodément interprétables. En fait, ce sont surtout les discontinuités profondes dans le sous-sol que l'on recherche ainsi ; elles se traduisent par des zones alignées à fort gradient du champ observé (gravimétrique ou magnétique). A priori, elles sont en relation directe avec des zones de discontinuité de l'écorce, soit par fracture dans une même masse rocheuse, soit par juxtaposition de deux masses rocheuses de comportements physiques différents. La méthode est indirecte, puisqu'il n'y a pas observation effective de la discontinuité recherchée ; elle est cependant actuellement le seul moyen d'appréhender l'architecture profonde de l'écorce.

L'étude structurale

C'est l'approche la plus familière au géologue. Elle consiste à observer les masses rocheuses en surface, les fractures, plissements qui les affectent, pour essayer d'en reconstituer la distribution en profondeur. Le structuraliste peut ainsi démêler dans un champ de fractures les familles, les interpréter en faisant des hypothèses sur champ des contraintes qui les ont produites et sur l'évolution de ce champ dans le

temps, car l'aspect historique est fondamental, la terre ayant connu une longue évolution déjà. Il est en théorie capable de prolonger en profondeur les accidents observés en surface, et les forages profonds réalisés montrent qu'il lui arrive de ne pas se tromper.

L'étude néo-tectonique

Si l'écorce terrestre se déforme encore actuellement, comme elle l'a toujours fait depuis son origine, cette déformation n'est pas partout aussi importante, aussi rapide. Il importe bien évidemment de cerner les régions actuellement soumises à déformation, car elles ont plus que d'autres vocation à connaître ces manifestations brutales, conséquences de déformations lentes, que sont les séismes. Cette démarche s'appuie en premier lieu sur des observations classiques de terrain : telle terrasse fluviatile quaternaire, donc de formation récente (quelques millions d'années au maximum) a été déformée ; le cours de telle rivière a été dévié par le soulèvement d'un massif rocheux...

Les limites à cette méthode, très fructueuse au demeurant, proviennent surtout de la difficulté qu'a le géologue à établir une chronologie précise des dépôts quaternaires. Les chronomètres traditionnels que sont les fossiles ne lui permettent que difficilement des subdivisions à l'intérieur d'une période aussi brève (quelques millions d'années). Les mesures topographiques de précision se sont révélées susceptibles d'apporter un complément intéressant à ce premier type de démarche. A condition d'avoir une série de nivellements de précision sur une longue période, il est possible de mettre en évidence des mouvements verticaux, vers le haut ou vers le bas, de l'ordre du centimètre par siècle qui donnent d'utiles renseignements sur la mobilité de l'écorce terrestre.

L'étude de la sismicité historique

On peut dire que la relation des séismes ressentis par les populations, dans des documents d'archives, est une source de renseignements de qualité pour les quatre ou cinq derniers siècles. D'autres pays, comme la Chine, ayant de longues traditions culturelles et où la sismicité est plus importante, et par conséquent la population plus sensibilisée à cette question, ont deux – voire trois millénaires d'observations relativement précises. Actuellement, le recueil des renseignements, en cas de séismes, est théoriquement organisé en France. Mais cela n'a évidemment pas toujours été le cas, et de nombreuses données, d'abord relatées dans des documents locaux (registres paroissiaux, petits journaux, récits d'érudits, mémoires...) ont été repris à plusieurs reprises dans des catalogues. Le retour aux sources de l'information, qui nécessite un travail d'archives important, est donc souvent nécessaire pour apprécier réellement les effets des séismes.

Or, seule l'observation des effets sur les constructions permet d'apprécier l'intensité du séisme (fonction essentiellement de la magnitude du séisme, c'est-à-dire de l'énergie mise en jeu, de la profondeur de celui-ci sous la surface de l'écorce terrestre et de la nature du sous-sol). Leur répartition dans l'espace (tracé des « isoseistes ») est également d'une grande valeur, si imprécise soit-elle : des isoséistes très allongés laissent par exemple supposer l'influence d'une faille sur la répartition en surface de l'énergie du séisme.

La sismicité instrumentale

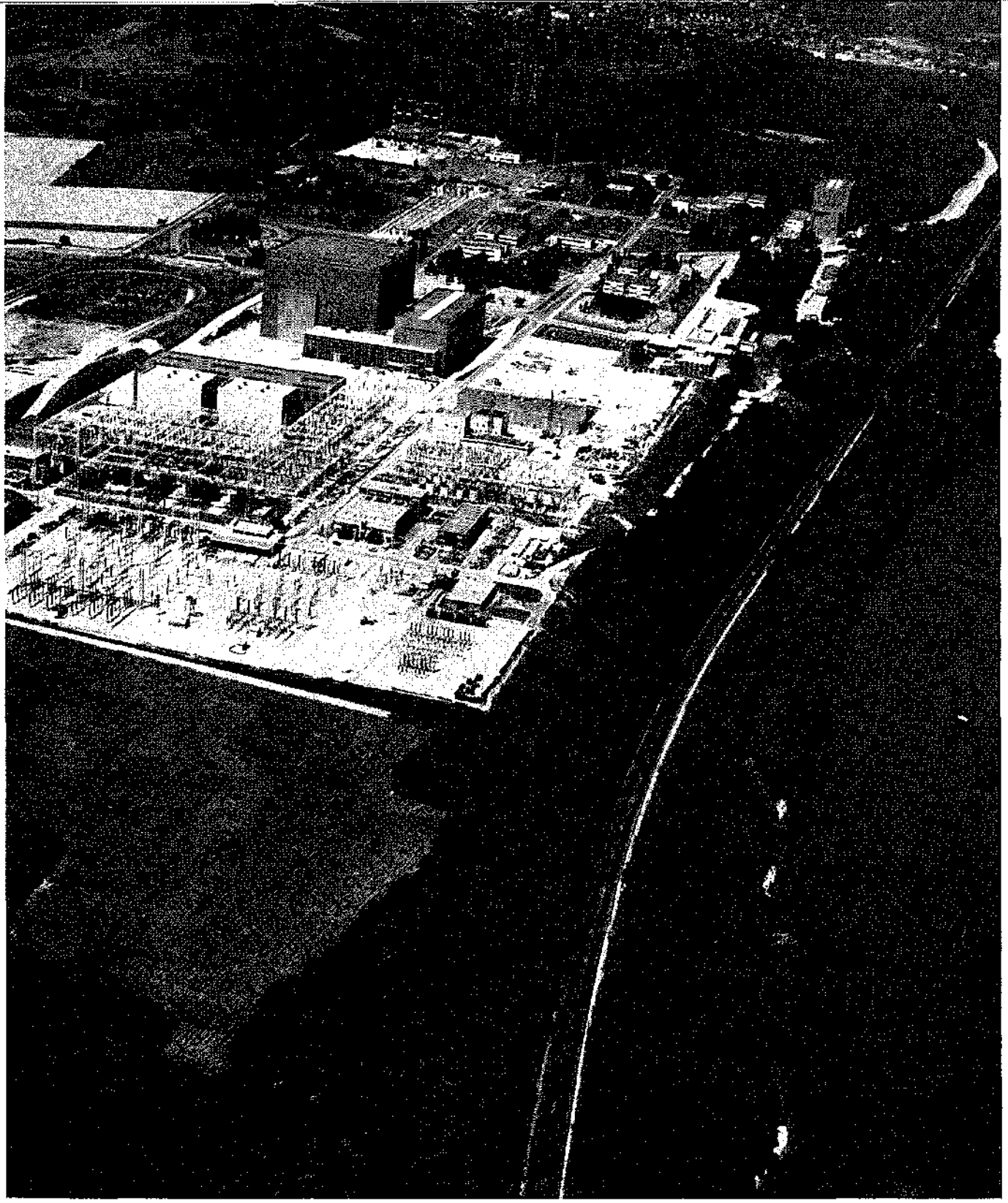
On a pu bénéficier en France de l'établissement d'un réseau automatisé destiné initialement à l'écoute des explosions atomiques, pour recueillir des données sur des séismes de faible intensité, non décelables par l'homme et sans aucune manifestation catastrophique. Et ces séismes sont beaucoup plus nombreux, fort heureusement, que les séismes destructeurs. D'où une source supplémentaire de renseignements qui n'a pas encore été complètement exploitée en France, mais qui devrait l'être dans les prochaines années.

La synthèse

Il faut redire que le fait de disposer sur une carte les épicentres des séismes historiques, de comparer leur répartition à ce que l'on connaît de la géologie et d'en tirer des conclusions sur les zones les plus sensibles aux risques sismiques n'est pas une démarche nouvelle. Par contre, le caractère novateur du projet de carte sismotectonique de la France consiste en une confrontation d'un grand nombre de matériaux, qui viennent d'être décrits, et qui n'avaient jamais encore, pour la France, été soit rassemblés, soit comparés. Il en résultera une carte de synthèse à l'échelle du 1/1 000 000, avec des cartes explicatives à 1/250 000. D'ores et déjà un essai a été fait sur la Provence. La figure y montre la répartition des séismes historiques (leur surface est fonction de l'intensité supposée) et des accidents profonds de l'écorce, décelables par l'étude des documents géophysiques. Cette seule comparaison permet, par exemple, d'apporter un argument de poids pour l'individualisation d'un ensemble sismique nettement aligné le long de la moyenne Durance, prolongeable vers le Nord-Est.

La question majeure qui se pose à ce stade d'avancement du projet est la suivante : certes, l'interprétation des positions des macroséismes aura nettement progressé ; la définition des zones fragiles de notre territoire se sera affinée, en s'appuyant sur des arguments solides. Mais pourra-t-on affirmer disposer ainsi d'un réel outil de prévision ? Pourra-t-on estimer qu'il y a une probabilité raisonnable pour que le prochain séisme important que connaîtra la France se situera sur l'une de ces zones fragiles ?

La réponse ne peut être qu'intuitive, et elle dépend de la précision avec laquelle on veut définir ces zones fragiles : à l'échelle du site, échelle kilométrique, la réponse est sûrement négative. Les emplacements des épicentres sont rarement connus avec une telle précision, pas plus que les accidents profonds de l'écorce décelables par géophysique. Par contre, à l'échelle décakilométrique, il paraît raisonnable d'accorder confiance aux définitions de zones de risques auxquelles conduira la carte sismotectonique. Ce n'est qu'une intuition, mais les Sciences de la Terre sont et resteront tributaires de ce mode de pensée, tant est complexe l'évolution de l'écorce terrestre.



Photothèque E.D.F. : Michel BRIGAUD

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

Le Centre des RENARDIÈRES est le plus important des Centres de Recherches et d'Essais dont dispose ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. La Direction des Études et Recherches, responsable de son exploitation a pour mission de résoudre les problèmes techniques et scientifiques que posent la conception, la réalisation et l'exploitation des centrales et des réseaux de transport et de distribution d'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. Elle procède en outre à l'étude approfondie de certaines techniques d'utilisation de l'électricité dont l'emploi doit être à la fois satisfaisant pour les usagers et rationnel pour l'économie nationale.

Le Centre de Recherches et d'Essais des RENARDIÈRES situé à 70 km au Sud-Est de Paris rassemble sur une surface de 70 hectares plusieurs laboratoires et stations expérimentales d'affectations très diverses. Les plus importants sont :

— la ligne expérimentale à un million de volts,
— le laboratoire d'essais diélectriques à très haute tension,
— la station d'essais, à très grande puissance,
— le circuit d'essais de générateur de vapeur chauffés par le sodium destiné aux Centrales Nucléaires à neutrons rapides (réacteurs à « surrégénérateurs »),
— le climatron, dispositif de contrôle d'ambiance d'une pièce d'habitation.

UTILISATION DE L'ORDINATEUR POUR LE CALCUL EN GEOMECANIQUE

par Pierre Guellec
Ingénieur
Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

LES méthodes de calcul de la stabilité des ouvrages en milieu rocheux ont connu un développement important depuis une quinzaine d'années ; l'une des causes principales en est l'adaptation des techniques de calcul en mécanique aux calculateurs électroniques. En effet, jusqu'en 1960, les seules méthodes de dimensionnement d'ouvrages en massif rocheux, comme par exemple les tunnels, sont issues de simplifications parfois abusives, mais nécessaires, de la géométrie des solides (formes circulaires ou rectangulaires), ou de la formulation mécanique (approximation par la théorie des poutres). Le comportement des matériaux est supposé soit élastique, soit rigide plastique, la prise en compte de tout comportement intermédiaire rendant inextricables les développements analytiques des équations de la mécanique. Dès 1955, avec l'apparition des premiers calculateurs de quelque importance, des méthodes nouvelles de calcul sont appliquées à l'étude des structures pour lesquelles l'évaluation précise des contraintes est primordiale. Ces techniques sont ensuite adaptées au Génie Civil, et en particulier à la mécanique des roches, et le premier congrès international dans ce domaine fait apparaître la carence antérieure et les possibilités nouvelles offertes par la méthode des éléments finis. Elle permet en particulier d'exploiter les recherches sur les comportements des sols et des roches, et vers 1970 commencent à se développer des techniques de calcul propres à la géomécanique, indépendamment de celles de la mécanique des structures.

Actuellement, des programmes de calcul sur ordinateur permettent en principe d'étudier la stabilité de tous les ouvrages de Génie Civil, soumis aux sollicitations les plus diverses, statiques ou dynamiques, construits dans des matériaux à comportement linéaire ou non linéaire, en tenant compte de l'effet des pressions d'eau et des variations des répartitions de température.

Description sommaire de la méthode de calcul

Principe de la méthode.

Alors que le calcul traditionnel en mécanique des solides consiste à intégrer un système d'équations aux dérivées partielles, la méthode des éléments finis, du moins dans sa présentation habituelle, est fondée sur un principe variationnel qui possède généralement une signification physique. Le plus fréquemment utilisé en mécanique des solides est le principe des puissances virtuelles. Pour les problèmes statiques courants, on le transorme en théorème de l'énergie potentielle minimum, selon lequel sous l'effet de conditions de déplacement imposé sur sa frontière et de sollicitations extérieures données (forces volumiques, pressions, précontrainte), l'énergie potentielle d'un solide est minimum. Ce principe variationnel conduit à une méthode de calcul des déplacements et des contraintes à l'équilibre. Dans le cas de la géomécanique, on détermine en réalité des accroissements de déplacement dus à la perturbation d'un milieu généralement soumis à une contrainte initiale et par conséquent déjà déformé.

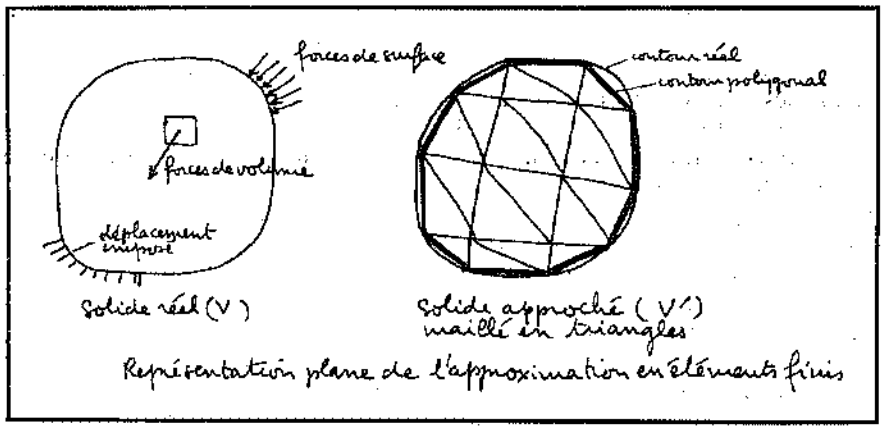


Figure 1

En pratique, la méthode de calcul consiste donc à rechercher un champ de déplacement vérifiant certaines conditions mécaniques, qui rend minimum une énergie potentielle. Un tel champ ne pouvant être obtenu sous forme analytique, on a recours à une approximation.

Technique de calcul.

La méthode des éléments finis permet, à l'aide d'hypothèses simplificatrices, sur la forme du solide et sur les variations du déplacement, d'évaluer de manière approchée l'énergie potentielle en fonction d'un nombre fini de paramètres. Ces hypothèses sont introduites en deux étapes :

1. On remplace le solide réel (V) par un solide (V') supposé équivalent contenu dans un contour polygonal aussi proche que possible du contour réel (figure 1).
2. On divise le volume (V') en sous-domaines de forme simple, généralement des triangles ou des quadrilatères s'il s'agit d'un problème plan, appelés éléments finis. La variation du déplacement à l'intérieur et sur le contour de chaque élément est déterminée par interpolation polynomiale entre des valeurs du déplacement en certains points de l'élément appelés nœuds. Leur position et le degré des polynomes d'interpolation sont choisis de telle sorte que le déplacement soit suffisamment continu sur l'assemblage des éléments, appelé maillage.

Ces deux ensembles d'hypothèses associés au principe de minimum de l'énergie potentielle conduisent à un système linéaire de la forme Rg Ug = Fg, ou Fg est une matrice de forces connue, Ug est la matrice des déplacements aux nœuds, inconnue du problème, Rg est la matrice de rigidité de l'assemblage, traduisant l'élasticité de chaque élément et la continuité de l'ensemble. Il suffit alors de résoudre le système ; cette opération n'est possible qu'avec l'aide de l'ordinateur car le nombre de paramètres inconnus de Ug est élevé dans les cas usuels (les calculs de solides tridimensionnels conduisent fréquemment à des systèmes de l'ordre de 5 000 à 15 000 équations).

Principales difficultés de mise en œuvre.

Si l'on dispose d'un programme de calcul, la principale difficulté de mise en œuvre réside dans la construction du maillage, car les solides réels présentent rarement la simplicité de celui de la figure 1. D'autre part, la précision des résultats dépend étroitement du nombre de nœuds du maillage et de leur répartition dans le solide, une forte densité devant correspondre aux parties les plus sollcitées. Le maillage doit donc être étudié en fonction des chargements, de la géométrie, et relevé sans erreur.

Les autres difficultés proviennent du choix des caractéristiques physiques du problème : géométrie mal connue des solides hétérogènes (roches stratifiées, fractures), contraintes initiales délicates à estimer ou à mesurer, comportement complexe des matériaux...

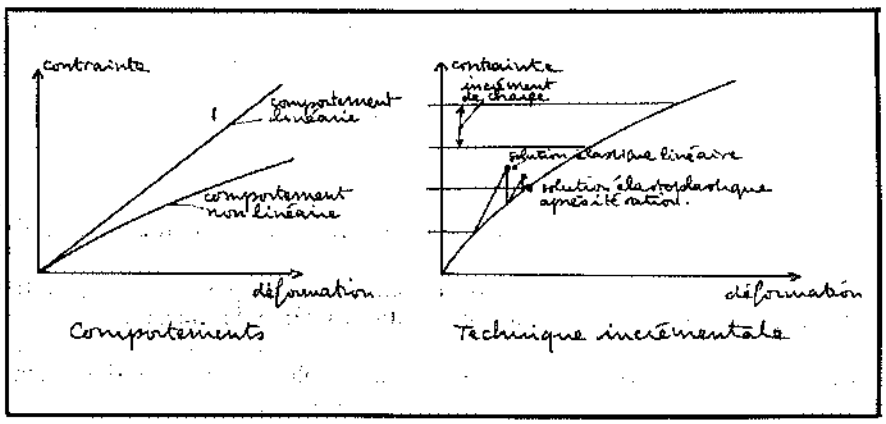
Application à la Géomécanique

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a développé des programmes de calcul par la méthode des éléments finis orientés particulièrement vers les applications à la mécanique des sols et des roches. Dans le domaine du Génie Civil, la construction de tels programmes soulève trois problèmes principaux : le comportement des matériaux, le chargement des ouvrages et des massifs et en particulier la détermination des contraintes initiales, l'effet de l'eau.

Comportement mécanique des sols et des roches.

Dans les premières applications le comportement élastique hétérogène a été principalement envisagé ; il s'agissait d'un progrès important par rapport aux méthodes jusqu'alors en usage. Or le comportement des sols et des roches est à divers points de vue fortement non linéaire. Dans ce domaine, l'élastoplasticité est le modèle le plus simple. Il consiste à exprimer une relation entre les vitesses de contrainte et les vitesses de déformation en utilisant un potentiel plastique, fonction de l'état de contrainte et éventuellement du niveau de déformation plastique. L'étude des solides munis d'un tel comportement est effectuée suivant un processus incrémental : la charge totale est divisée en un nombre fini d'accroissements dont la définition est liée dans la mesure du possible à des étapes réelles de la construction ou du chargement de l'ouvrage. A chaque incrémentation de la charge, un calcul en comportement linéaire indique si la limite de plasticité est atteinte, et si tel est le cas, une méthode itérative rend la solution en fin d'incrément compatible avec la théorie de l'élastoplasticité (figure 2).

Figure 2



L'approche du comportement non linéaire des sols et des roches par la théorie du potentiel plastique n'est pas toujours physiquement satisfaisante, mais il s'agit d'une méthode bien connue intermédiaire entre l'élasticité linéaire et des comportements plus sophitiqués. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- l'élastoplasticité avec une phase élastique non linéaire ;
- l'élasticité associée à une résistance nulle à la traction ;
- la dilatance, correspondant à une variation de volume sous l'effet d'un cisaillement pur ;
- la viscoélasticité et la viscoplasticité ;
- les joints et contacts simulant les stratifications, les interactions massif-structures, la fissuration ou la fracturation des matériaux rocheux.

Des comportements de plus en plus complexes ont été étudiés, et la méthode de calcul permet de tenir compte d'une loi générale contrainte-déformation anisotrope et fonction donnée de l'état de contrainte, de l'état de déformation, et éventuellement du temps et de la position du point dans le solide. Ces modèles sont satisfaisants d'un point de vue théorique, mais la détermination concrète des comportements qu'ils prennent en compte par les essais de mécanique des sols et des roches n'est pas aisée. D'autre part, l'hétérogénéité des terrains est souvent telle qu'il n'est pas raisonnable de rechercher une représentation trop précise aux points de mesure, car elle pourrait ne pas être acceptable pour l'ensemble du massif. Pour cette raison, l'élasticité linéaire, éventuellement orthotrope et hétérogène, demeure encore un comportement assez fréquemment utilisé en mécanique des roches et même en mécanique des sols ; il peut être acceptable si les caractéristiques mécaniques moyennes retenues sont bien ajustées. C'est aussi celui qui présente la plus grande stabilité et la meilleure sécurité pour la validité purement nuoérique des résultats.

Contraintes en place et chargements.

Le choix des sollicitations extérieures d'un massif de sol ou de roche est souvent délicat et parfois hasardeux, car si l'on connaît généralement assez bien le poids volumique, qui constitue pratiquement le seul chargement de force volumique, et les surcharges de pression répartie ou de force concentrée exercée exercées par les structures ajoutées au massif, on ignore par contre l'état des contraintes initiales dans les sols et les roches. Leurs origines sont diverses : pour les sols de surface, elles peuvent être supposées dues au poids des terrains ; dans les massifs rocheux, elles sont liées à l'histoire géologique dont la connaissance est insuffisante pour en déduire une évaluation sûre sinon précise. Des méthodes de mesure à partir de sondages ou de galeries d'essais permettent de les déterminer ponctuellement, mais l'extrapolation au massif présente quelques risques.

Le procédé habituel consiste à estimer que la contrainte verticale équilibre le recouvrement des terrains, et à choisir la contrainte horizontale comme une proportion K_o de la contrainte verticale. Un choix moyen de K_o peut être fait à partir de comparaisons avec des expérimentations en place ; on peut aussi étudier l'influence de plusieurs valeurs plausibles de K_o sur la stabilité du massif et de l'ouvrage.

La méconnaissance des contraintes en place est l'une des principales causes d'imprécision des résultats de calculs de massifs rocheux ; pour certains ouvrages comme les galeries souterraines, le choix de $k_o<1$ ou $k_o>1$ peut inverser totalement l'allure des phénomènes, ce qui n'est pas le cas d'une mauvaise appréciation du comportement, pour lequel la simple observation suffit à donner un ordre de grandeur.

Effet de l'eau.

L'étude des mouvements d'eau dans les massifs poreux conduit au calcul des pressions interstitielles et des débits à travers certaines surfaces. Les nappes peuvent être en charge ou présenter une surface libre, qui devient une inconnue du problème.

La technique habituelle de calcul suppose que la déformation du squelette solide du milieu poreux n'agit pas sur l'écoulement. Il suffit alors de résoudre les équations de l'écoulement, par exemple par la méthode des éléments finis sur un maillage identique à celui de l'élasticité ; on en déduit en tout point les pressions interstitielles que l'on considère comme des contraintes initiales isotropes dans la résolution du problème de mécanique.

Cette solution n'est en principe acceptable qu'au bout d'un temps très grand ; il existe une phase transitoire pendant laquelle il y a interaction entre la déformation du solide et les mouvements d'eau (consolidation). Cette phase peut être importante du point de vue de la stabilité des ouvrages ; on en tient compte dans les calculs en résolvant simultanément les équations couplées de l'élasticité et de l'écoulement en milieu poreux. Le phénomène étant transitoire, on obtient une équation différentielle en fonction du temps que l'on peut intégrer de manière approchée, par une méthode de différences finies par exemple.

Le modèle peut être complété par l'introduction de perméabilités et de caractéristiques mécaniques variables en fonction de la pression interstitielle et de la déformation du squelette.

Dans les massifs rocheux généralement fissurés, la circulation de l'eau s'effectue par les fissures, et peut agir notablement sur la stabilité d'ouvrages comme les barrages ou les galeries souterraines ; les modèles d'éléments finis adaptés à la description des milieux fissurés peuvent en tenir compte.

Exemples de calcul

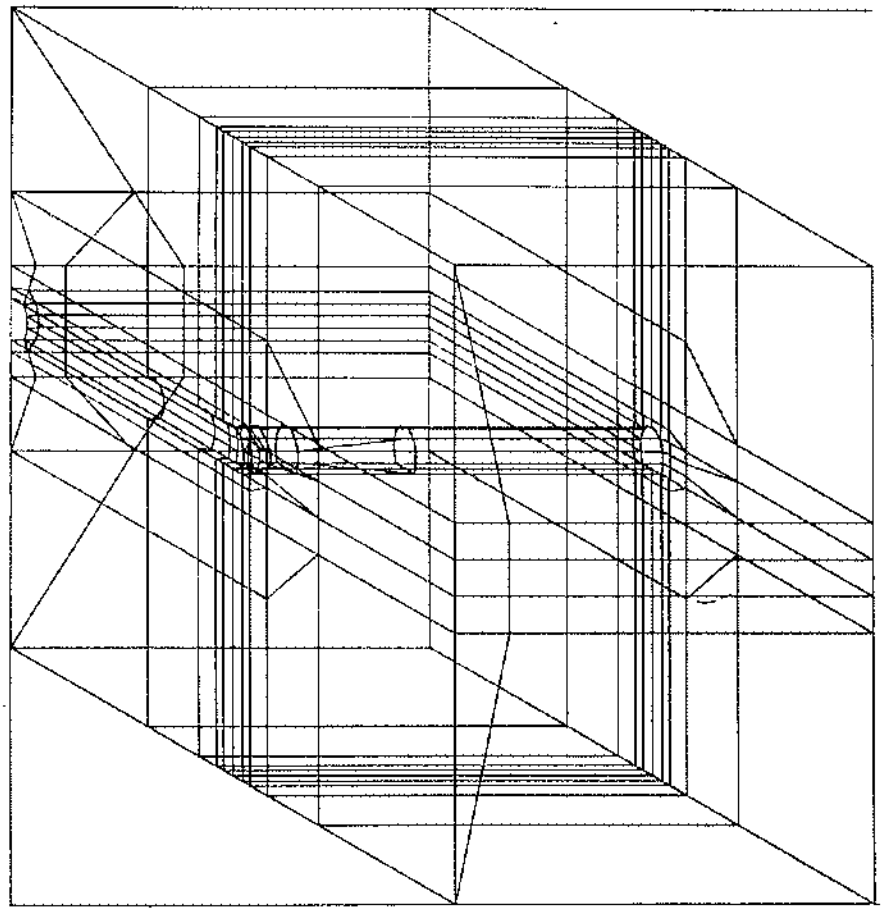
La théorie relativement simple de la méthode des éléments finis contraste avec sa mise en oeuvre. Cette méthode générale, qui donne en principe la solution de la plupart des problèmes posés par la mécanique appliquée au Génie Civil, rencontre deux limitations pratiques, compte non tenu des réserves formulées précédemment. La première est la faible capacité de la plupart des ordinateurs : il n'existe actuellement que peu de types de machines aptes à traiter convenablement ces calculs. La deuxième limitation concerne le prix de revient des calculs, qui comprend le coût du calcul proprement dit et le coût de la préparation des données et de l'exploitation des résultats. Alors que la deuxième composante est à peu près constante pour les programmes de calcul bien conçus pour la mécanique des sols et des roches (mais c'est loin d'être le cas de tous les programmes actuellement utilisés), le coût des calculs est extrêmement variable, et des rapports de 1 à 10 pour un même calcul traité sur une machine de même type sont possibles.

Les cas suivants ont été calculés au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées par le programme ROSALIE sur un calculateur IBM 370-168. Les figures présentées sont des sorties directes de l'ordinateur sur un traceur BENSON.

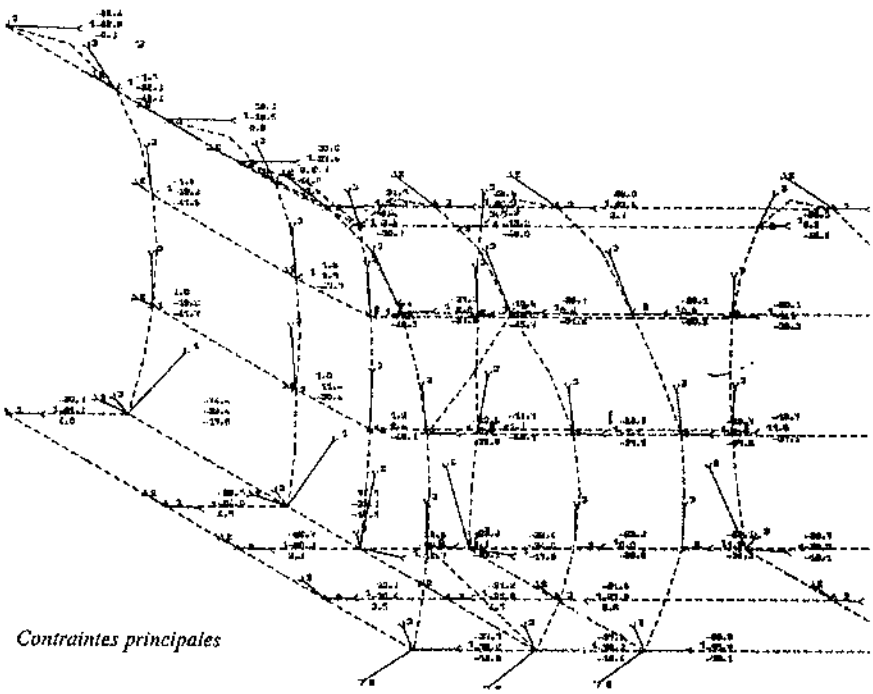
Intersection de deux galeries souterraines.

Il s'agit de calculer les contraintes et les déplacements dus au creusement de deux galeries, et d'étudier la stabilité de leur intersection. Le problème posé est tridimensionnel, et aucune autre méthode ne permet d'obtenir avec une précision acceptable les contraintes et les déplacements dans la partie de massif proche de l'intersection. La figure 3 donne le maillage représentatif du carrefour des deux galeries et le dessin des contraintes principales en surface à proximité de l'intersection. Le matériau est élastique linéaire, homogène et isotrope. La durée du calcul a été de l'ordre de 40 minutes CPU.

Figure 3



Maillage

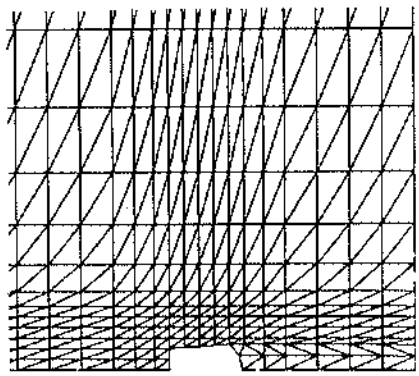


Contraintes principales

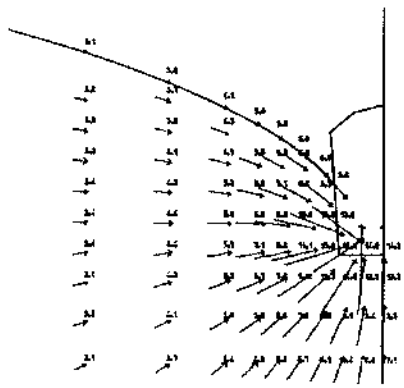
Calcul des écoulements surface libre à proximité d'une galerie à faible profondeur.

On cherche à déterminer si le creusement de cette galerie sous faible recouvrement suffit à rabattre la nappe au niveau de la galerie. Le milieu rocheux est à perméabilité variable par zones horizontales. Dans le cas représenté (figure 4), la surface libre rejoint la galerie.

Figure 4



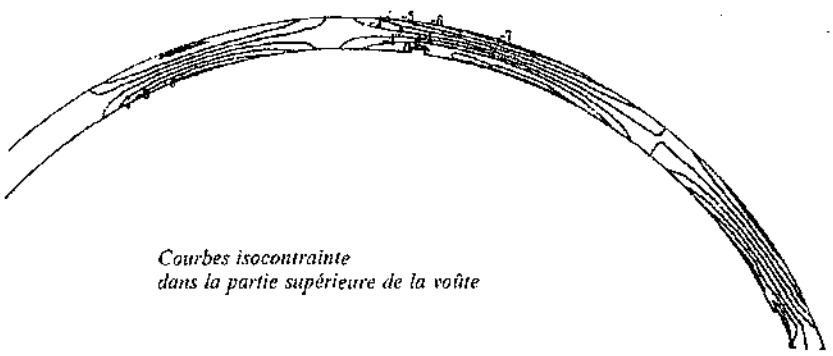
Maillage (détail)



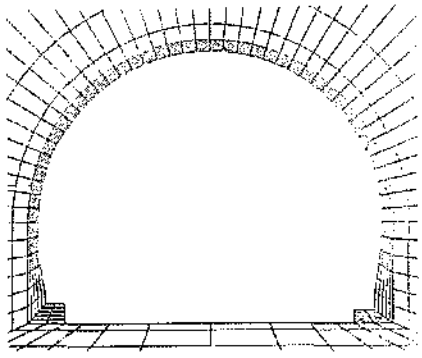
Gradients hydrauliques et surface libre près de la galerie.

Déformation en comportement non linéaire d'un revêtement de tunnel routier à grande profondeur.

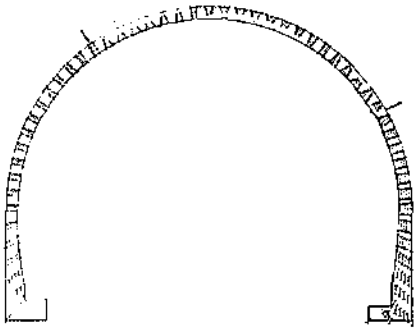
Le revêtement en béton d'un tunnel routier est soumis à la pression exercée par une zone de terrain désolidarisée du massif rocheux. La figure 5 représente le maillage, le dessin ponctuel des contraintes, les courbes iso-contrainte et la déformée du revêtement. Le comportement du matériau est élastoplastique, la limite élastique étant déduite des résistances à la traction et à la compression ; le revêtement en béton peut se décoller du massif.



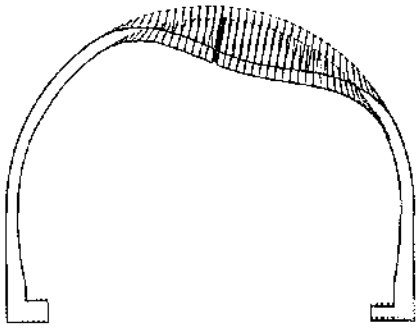
Courbes isocontrainte dans la partie supérieure de la voûte



Maillage (détail)



Dessin des contraintes



Déformée du revêtement

Figure 5

Quelques commentaires

L'usage des méthodes numériques, et en particulier de la méthode des éléments finis, s'est rapidement généralisé dans le calcul des structures ; le développement en géomécanique a été plus lent, car d'une part l'évaluation précise des déplacements et des contraintes n'est pas dans ce domaine une exigence fondamentale, et d'autre part les comportements des matériaux, sols ou roches, la géométrie des massifs et les sollicitations exercées sont difficiles à déterminer. Dans ces conditions, les méthodes de calcul essentiellement empiriques, parfois assez bien étalonnées par une longue pratique, ont pu paraître satisfaisantes à certains ingénieurs ; en particulier, le fait de ne pas faire intervenir explicitement les lois de comportement, la géométrie et certaines sollicitations du massif, laisse croire qu'elles éliminent les incertitudes liées à la méconnaissance de ces paramètres fondamentaux ; il est évident que de telles méthodes ne sont applicables qu'à des ouvrages de conception voisine des ouvrages de référence sur lesquels elles ont été mises au point et étalonnées.

Les méthodes de type éléments finis permettent au contraire d'analyser l'influence de la variation de paramètres mal connus du massif et de juger de leur importance respective ; d'autre part, elles sont applicables à toutes les formes d'ouvrages construits dans un massif dont les paramètres de comportement et de chargement sont connus. Leur développement est lié aux progrès récents dans les recherches sur les comportements des sols et des roches et les mesures en place des contraintes initiales, et il semble que le niveau actuel des méthodes de calcul numérique suffit à traiter avec une précision satisfaisante les problèmes que l'expérimentation ou l'ingénieur parviennent à poser.

GEOLOGIE ET MECANIQUE

exemple d'application aux MINES A CIEL OUVERT

La réalisation d'ouvrages, quels qu'ils soient, pose les problèmes de leur dimensionnement et de leur pérennité. La solution de ces problèmes peut être strictement empirique, mais tout nous incite à y répondre de manière plus rationnelle, en utilisant des méthodes scientifiques. C'est là un des moteurs parmi d'autres du développement de nombreux aspects de la physique et de la mécanique. Dans le cas par exemple des structures métalliques, la relative simplicité des matériaux constitutifs a permis le développement et l'application de la résistance des matériaux. Souvent confronté aux matériaux naturels que sont les sols et les roches, que ce soit pour fonder des ouvrages, pour extraire des minerais ou pour comprendre des ruptures naturelles catastrophiques, l'ingénieur a été amené à développer l'application des lois de la mécanique à ces matériaux. Parallèlement, le géologue naturaliste pressentait que le comportement mécanique des matériaux de l'écorce terrestre était un élément déterminant des formes qu'il observait, d'où, là aussi, tentative d'application des lois de la mécanique des milieux continus aux sols et aux roches. Historiquement, la mécanique des sols précède la mécanique des roches dont le véritable essor et la reconnaissance en tant que discipline individualisée datent des dernières décennies.

par Michel Desurmont (69)

Ce développement récent est lié à la mécanisation des travaux miniers et au souci de maîtrise du milieu rocheux lors de la réalisation d'ouvrages souterrains et en surface, mais il a aussi été très puissamment motivé par des évènements catastrophiques. En décembre 1959, la rupture de l'appui du barrage de Malpasset libérait d'un coup les cinquante millions de mètres cubes d'eau accumulés dans la retenue. En octobre 1963, une masse rocheuse de trois cents millions de mètres cubes, glissant sur un front de 2 km de large à une vitesse finale évaluée à 25 m/s se déversait dans la retenue du barrage italien du Vajont, entraînant un débordement catastrophique.

Nous allons essayer de montrer les apports possibles de la mécanique des roches dans le cas des *exploitations minières à ciel ouvert.* Bien que ponctuel, cet exemple est assez représentatif de l'état actuel des connaissances en mécanique des roches et de leurs applications concrètes. Il illustre également la démarche du géotechnicien et les limites de son action.

Sans formalisation mécanique, les mineurs ont de tout temps exploité des gisements en surface ou en souterrain. Dans un premier temps mécaniciens des roches sans le savoir, ils ont ensuite puissamment contribué au développement de cette science en offrant un champ d'expérience considérable et en apportant l'empirisme de l'Art des Mines. Mais ce développement a surtout concerné les travaux souterrains si bien que, au début des années soixante, alors que des progrès techniques considérables dans les engins de travaux publics ouvraient de larges possibilités aux exploitations minières à ciel ouvert, aucune méthode réellement efficace autre que l'essai en vraie grandeur n'existait pour décider de la géométrie de la fosse qui résulte de l'exploitation. Mis à part le cas de découvertes peu profondes — gisements stratiformes sous faible recouvrement — l'exploitation à ciel ouvert de minerais très divers, quand elle est préférée aux travaux souterrains, conduit à la réalisation d'une fosse dont la profondeur peut dépasser les cinq cents mètres. De

tels ouvrages nécessitent l'enlèvement de quantités considérables de roches, minéralisées ou non, et l'un des objectifs de l'exploitation est de minimiser le rapport stérile/minerai, ce qui conduit à rechercher la géométrie de fosse la plus audacieuse possible compatible avec la sécurité du chantier. La conception pertinente d'un projet d'exploitation et la conduite rationnelle de son exécution exigent alors que, dès le démarrage de la mine, les plans d'exploitation soient aussi précisément définis que possible : pour des raisons économiques évidentes d'abord, afin de répartir au mieux sur la durée de vie de l'exploitation les charges de l'enlèvement des matériaux stériles ; pour des raisons techniques enfin de quasi impossibilité de reprise de la géométrie de grands flancs dont la stabilité viendrait à être compromise et dont la rupture perturberait gravement le chantier. La solution d'un tel problème n'était pas dans les compétences traditionnelles du mécanicien des sols qui a initialement été confronté au dimensionnement des remblais artificiels, et donc constitués de matériaux sinon homogènes, au moins connus puisqu'entièrement rapportés : de là sont nées les méthodes actuelles d'étude de stabilité des talus en milieu continu. En ce qui concerne les grandes fosses, il a fallu mettre au point un schéma d'étude qui tienne compte d'une part du caractère éminemment *hétérogène, anisotrope* et discontinu du milieu considéré et d'autre part de la *connaissance très partielle* de ce milieu au moment où une conclusion lourde de conséquences doit être formulée.

Dans le cas le plus général, le schéma mis au point par le BRGM comporte trois moments principaux — le recueil des données, l'étude de stabilité et la conception du projet de fosse — les deux dernières étant d'ailleurs étroitement imbriquées.

Lors du *recueil des données*, on s'attache à décrire le milieu concerné au moyen des paramètres qui interviennent dans l'expression de la stabilité. Ces paramètres sont essentiellement de trois ordres — structuraux, hydrauliques, mécaniques — et leur choix résulte précisément du fait d'expérience que les ruptures des grands talus rocheux sont essentiellement gouvernées par les discontinuités du massif. Mis à part peut-être au niveau du pied du talus, l'état de contrainte n'est en effet pas tel qu'il sollicite dangereusement la matrice rocheuse. Par contre, les discontinuités constituent des surfaces de faiblesse privilégiées et sont de plus le siège préférentiel des écoulements dont les forces sont souvent préjudiciables à l'équilibre. On connaît bien le rôle de la poussée d'Archimède qui diminue d'un tiers ou davantage le poids des massifs baignés par la nappe ; on sait moins que l'écoulement de l'eau exerce sur le massif une force dirigée vers le vide et qui est l'une des causes principales de l'instabilité des talus et des versants.

En partant donc d'une connaissance géologique du site relativement bonne puisque projet minier il y a, le recueil des données consiste d'abord à caractériser la *structure du gisement* au moyen de méthodes qui sont en partie communes aux géologues et aux mécaniciens. Les sources peuvent être des photographies aériennes à toute échelle, ou même des images prises par satellite, pour définir les grandes directions structurales régionales, des observations sur affleurements naturels ou artificiels, essais miniers pilotes ou galeries de reconnaissance, des analyses de sondages carottés avec nécessairement orientation des carottes dans l'espace et dont le mécanicien a le mauvais goût de vouloir qu'elles soient surtout prélevées dans les roches encaissantes stériles. A la différence du géologue structural qui choisit les discontinuités qu'il étudie en fonction de ses besoins pour la compréhension de l'histoire tectonique, le mécanicien relève systématiquement toutes les discontinuités c'est-à-dire tous les défauts d'origine géologique ou mécanique — joints, fractures, fissures, cassures — qui affectent les roches et les massifs rocheux. Outre la mesure de l'orientation de la discontinuité, localement assimilée à un plan, des tentatives de quantification peuvent être entreprises pour mieux décrire la structure, en évaluant la continuité — très délicate à apprécier —, l'ouverture, la nature du remplissage éventuel, la rugosité, l'espacement entre discontinuités. Ce travail est facilité par l'utilisation de bordereaux descriptifs standardisés en vue d'un traitement statistique.

Cette phase de l'étude est incontestablement la plus importante car elle débouche sur un zonage du site en régions structurales relativement homogènes et elle détermine fortement les reconnaissances mécaniques et hydrauliques. Elle est déjà l'occasion d'une grande schématisation : définition de familles de discontinuités et extrapolation de caractéristiques déterminées sur certaines régions à des régions voisines non reconnues. Aussi, il convient d'associer étroitement à ce stade le géologue et le mécanicien et de ne négliger aucune information même très qualitative sur l'état de fracturation. Le zonage obtenu permet une première appréciation des types de ruptures possibles en fonction de l'orientation relative des flancs de la fosse et du réseau des discontinuités.

Vient ensuite la *reconnaissance hydraulique* dont le but est de définir les conditions d'écoulement de l'eau au sein du massif. Il est inutile de rappeler le rôle capital joué par l'eau dans l'expression de la stabilité. L'hydraulique des roches a connu le même essor récent que la mécanique des roches. Les écoulements en milieu poreux continu ont fait l'objet de très nombreux développements, maintenant classiques, mais c'est à l'occasion de prises de consciences brutales que les géotechniciens ont été amenés à redéfinir les lois d'écoulement dans les milieux fissurés, mettant en évidence le rôle essentiel de la fracturation et de l'état de contrainte dans les caractéristiques hydrauliques du massif.

Les données de l'étude structurale sont traitées statistiquement en pondérant les discontinuités par des paramètres intervenant dans l'expression de leur conductivité hydraulique. Bien que ces paramètres — continuité, ouverture, rugosité — ne puissent être que très grossièrement évalués, ils sont nécessaires pour apprécier qualitativement les conductivités hydrauliques relatives des différentes familles de discontinuités, ou à défaut le champ du tenseur de perméabilité équivalente. Disposant ainsi d'indications sur l'anisotropie hydraulique du massif, on peut alors définir un programme d'essais qui s'attachera à préciser quantitativement les conductivités hydrauliques. Dérivés de l'essai mis au point par Lugeon en 1933 pour dimensionner les voiles d'étanchéité sous les grands barrages, ces essais consistent à injecter ou à pomper de l'eau en régime transitoire ou pseudopermanent dans des sondages non tubés et à suivre l'évolution de la piézo-

métrie au voisinage de la chambre d'injection ou de pompage. Ils sont complétés par les données fournies par les méthodes plus classiques de l'hydrogéologie — régime général de circulation des eaux sur le site, évolution saisonnière de la piézométrie. Des essais de laboratoire permettent également de définir si nécessaire les variations de perméabilité des roches en fonction de l'état de contrainte. Le zonage structural est alors complété par un zonage hydraulique qui est, par nature, très concordant avec le premier, et qui résulte lui aussi d'une schématisation inévitable.

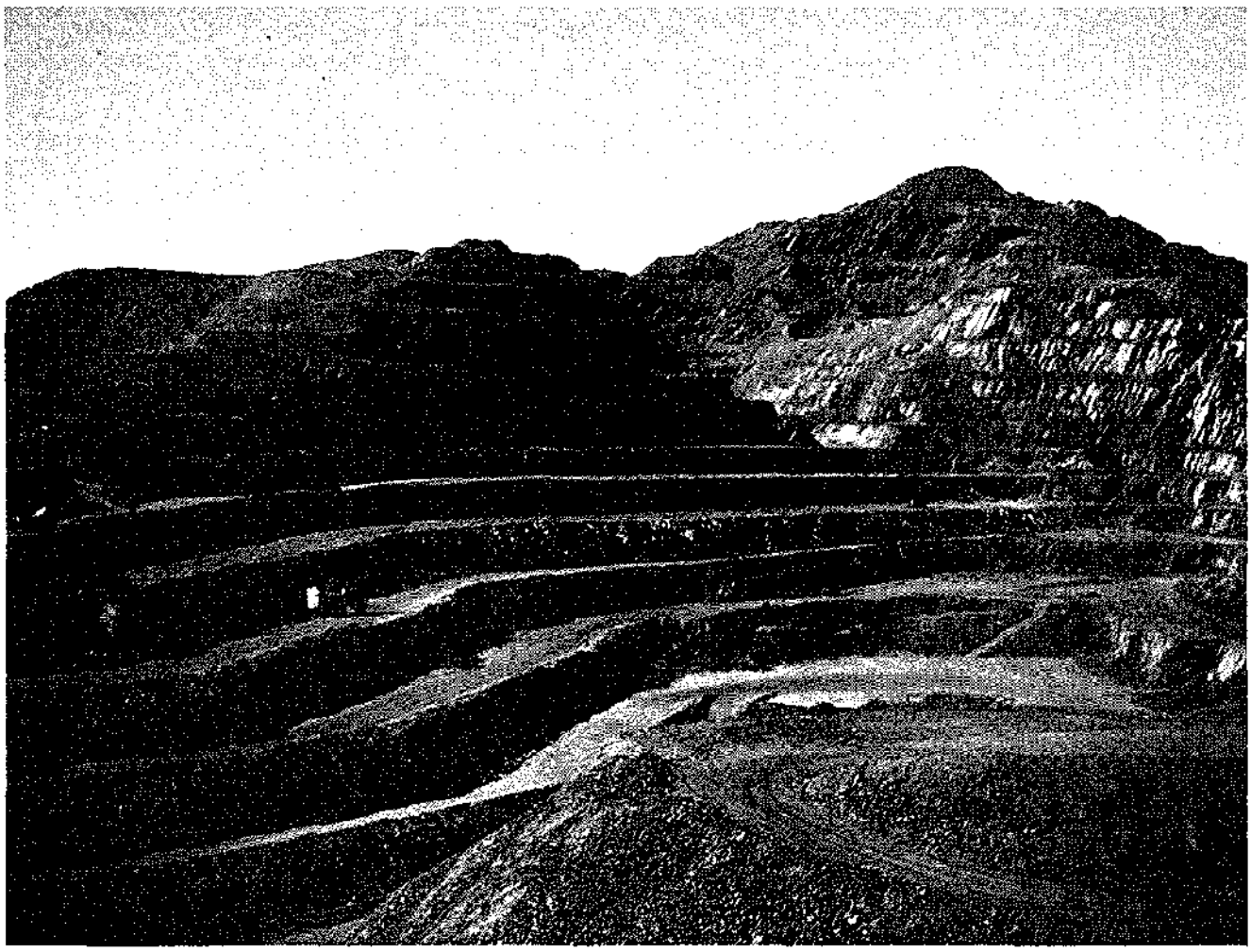
L'étude de stabilité requiert enfin les *caractéristiques mécaniques* des matériaux et des discontinuités impliqués dans la stabilité de l'ouvrage. Pour les différentes matrices rocheuses, essais classiques de résistance à la compression simple ou à la traction indirecte, détermination de courbes intrinsèques en état de contrainte triaxiale, détermination de lois de comportement ; mais surtout étude du comportement au cisaillement des différentes discontinuités. Pour tous ces paramètres, le mécanicien est confronté au problème très délicat de la corrélation entre les résultats d'essais de laboratoire sur des échantillons de taille nécessairement limitée et le comportement en vraie grandeur. La mise au point de grandes machines de cisaillement direct type Casagrande permettant des surfaces de rupture d'environ 1/5 de mètre carré est certes un progrès. Néanmoins, l'effet d'échelle et la dispersion des résultats obtenus en laboratoire incitent à recourir le plus possible à l'observation des phénomènes en vraie grandeur. Les coûteux essais de cisaillement sur le site sont très rarement effectués et toujours en petit nombre, aussi une précieuse source d'enseignement est-elle l'analyse de versants naturels dans des formations analogues ou de versants artificiels, réalisés à l'occasion d'un essai minier pilote. Ici encore, le mécanicien est amené à schématiser la réalité en intégrant des résultats partiels et dispersés et en les extrapolant à l'ensemble du site.

Les données ainsi recueillies permettent alors d'aborder l'*étude de stabilité* qui comporte deux volets : hydraulique et mécanique. L'*étude hydraulique* a pour but de définir le régime hydraulique auquel sera soumis l'ouvrage. Elle s'appuie sur un modèle mathématique ou physique qui précise l'évolution de la surface libre et de la répartition des potentiels hydrauliques en fonction des différentes géométries. Les possibilités de ces modèles — régime permanent ou transitoire, modèle bidimensionnel ou tridimensionnel, milieu fissuré ou continu — sont théoriquement très grandes mais des préoccupations matérielles et la qualité des données conduisent en général à préférer des modélisations simples qui, bien que très schématiques, offrent l'avantage de la souplesse d'utilisation, l'essentiel étant de bien préciser l'influence de l'anisotropie des perméabilités sur la répartition des potentiels. Très proche des méthodes de l'hydrogéologie, cette étude s'en distingue néanmoins par l'intérêt qu'elle porte essentiellement à l'action physicochimique et mécanique de l'eau plutôt qu'aux débits.

L'*Étude mécanique* utilise des méthodes de complexité différente selon le degré de précision souhaité. Lors d'une approche préliminaire, il peut être fait appel à des abaques tels ceux mis au point par HOEK, qui reposent sur des hypothèses très simplificatrices et dont l'emploi ne doit être envisagé que pour fixer un ordre de grandeur des valeurs probables. Les méthodes graphiques utilisent les diagrammes polaires comme outil et permettent de déterminer les possibilités de rupture soumises à deux types de conditions : d'une part géométriques en tenant compte de l'orientation relative des fractures et des gradins ou de l'ensemble de la fosse, et d'autre part mécaniques en introduisant l'angle de frottement des fractures. On aboutit ainsi à la détermination des cas critiques qui sont alors l'objet d'une analyse plus élaborée, prenant en compte la cohésion des discontinuités, l'effet de l'eau et la géométrie des ruptures. Que l'analyse porte sur la stabilité en petit, au niveau d'un gradin, ou en grand sur l'ensemble d'un flanc de fosse, elle consiste à étudier la stabilité le long de surfaces de rupture potentielles déterminées par la structure. Les méthodes numériques développées concernent des glissements de masse sur un plan, sur un dièdre, sur une surface prismatique, sur une surface cylindrique. L'état de stabilité est alors maladroitement exprimé par un coefficient de sécurité, dont on espère que les valeurs supérieures à 1 correspondent à l'équilibre. Par delà cette expression, il faut s'attacher en fait à tester la sensibilité de la stabilité aux variations des paramètres pris en compte et comparer cette sensibilité à l'incertitude et à la dispersion des données ; c'est ce à quoi s'attache essentiellement P. Londe dans la méthode qu'il a définie pour l'analyse d'une rive rocheuse. Enfin, dans le cas de très grandes fosses, une modélisation complète de l'ouvrage prenant en compte le comportement de la matrice rocheuse et utilisant les méthodes numériques des éléments finis peut donner des indications sur l'étendue des désordres provoqués en pied de talus par la décompression d'un massif soumis jusque là à un état de contrainte tridimensionnel.

Cette étude de stabilité est étroitement liée à la *conception du projet de fosse* dont, grâce à un dialogue permanent entre le mécanicien et le mineur, un dessin optimum est obtenu, compatible avec les moyens techniques disponibles et les impératifs de desserte du chantier, permettant de récupérer au mieux les réserves et assurant la sécurité de la fosse pendant la durée de vie de l'exploitation. Les recommandations pratiques, conclusion directe de cette étude, sont les angles et les hauteurs maximales des gradins et des pentes, les techniques d'abattage du minerai et des stériles, les systèmes de drainage, les systèmes de confortement éventuel, et le programme d'ausculation dont l'objet est de vérifier les hypothèses adoptées et surtout d'adapter la gestion de l'exploitation au comportement réel de l'ouvrage.

Ces différents paramètres ne sont pas indépendants entre eux et le choix d'ensemble résulte de comparaisons économiques entre les coûts des différentes solutions. L'étude structurale et mécanique permet d'apprécier au moins qualitativement l'aptitude à l'abattage des roches et la définition de plans de tir utilisant éventuellement le prédécoupage pour disloquer le moins possible les massifs qui constitueront en phase finale les flancs de la fosse. Le système de drainage peut utiliser toutes les techniques classiques de drains horizontaux, de puits drainants et même de galeries drainantes dont le coût élevé est parfois justifié. Le dimensionne-



Exploitation à ciel ouvert d'un gisement de fer en Mauritanie.

ment est obtenu en utilisant les méthodes de l'étude hydraulique et en adoptant par exemple comme critère d'efficacité la minimisation des forces hydrodynamiques le long d'une surface de rupture potentielle.

Dans certains cas, des confortements mécaniques localisés peuvent être mis en œuvre : utilisation du boulonnage pour remédier à une fracturation intense verticale, parallèle au flanc de fosse et entrainant un basculement vers le vide. Enfin, le dispositif d'auscultation comporte le suivi des déformations, des déplacements et de la piézométrie.

Le schéma théorique exposé ci-devant n'est bien sûr que rarement appliqué dans son intégralité. Ainsi, les interventions récentes du B.R.G.M. ont concerné le projet complet d'une grande fosse en Mauritanie (fer), le dimensionnement d'un réseau de drainage au Canada (cuivre), l'optimisation d'une galerie drainante autour d'une fosse ancienne instable en Afrique du Sud (diamant), le projet d'une fosse dans des matériaux d'altération latéritique en Côte d'Ivoire (or), et sont actuellement en cours l'étude d'une découverte en Nouvelle Calédonie (nickel) et le projet complet d'une fosse au Nigéria (fer). L'étude de falaises instables ou de grandes carrières (calcaire, granulats) fait également appel à la méthodologie décrite.

Représentatif de l'état actuel de la mécanique des roches, cet exemple l'est à plus d'un titre. d'un point de vue interne d'abord, il révèle toute la difficulté de la modélisation. Modéliser un grand talus, c'est construire un outil, mathématique ou physique, qui permette d'en prévoir le comportement après ou en cours de modification des conditions initiales. Or les conditions initiales sont très complexes, et leur connaissance exhaustive, si toutefois elle était théoriquement possible, serait ruineuse. A partir de mesures isolées et en nombre restreint de paramètres choisis en fonction du modèle utilisé, et aussi de leur accessibilité, il est inévitable d'extrapoler leur valeur à l'ensemble du site. Bien souvent, ces paramètres permettent d'accéder à une évaluation indirecte de grandeurs quasiment inaccessibles telles l'état de contrainte en un point, mais les relations utilisées, qui supposent la définition d'une loi de comportement, sont déjà source de simplification.

Les zonages structuraux, hydrauliques et mécaniques doivent être établis en étroite liaison avec le géologue et l'outil statistique, utilisé par exemple pour débrouiller les discontinuités, doit l'être avec prudence. A ce stade, le mécanicien « se heurte au même dilemme que dans toute étude géologique, (et qui est le choix entre) une méthode exhaustive qui voudrait tout décrire et une méthode statistique qui reconnaît qu'il y a un élément aléatoire et qui essaie de le mettre en évidence » *. Or, nous avons montré combien cette description structurale était importante puisqu'elle

* J. Goguel, Rapport de synthèse aux journées nationales géotechniques consacrées à la dispersion (1975).

gouvernait à la fois le régime des écoulements et le type de rupture. L'autre difficulté concerne les caractéristiques mécaniques et la prise en compte de l'effet d'échelle et de la dispersion, difficulté majeure en mécanique des roches et des sols, et qui rejoint le problème de la loi de comportement.

A ce stade et avant d'utiliser un modèle, il apparaît évident que le mécanicien doit être très conscient de l'incertitude sur les valeurs qu'il retient, de la hardiesse de ses extrapolations et de la simplification qui découle des hypothèses considérées – ou de l'ignorance qu'elles recouvrent. Ces difficultés inhérentes à la nature des matériaux rocheux engagent à utiliser avec modestie les résultats obtenus en fin d'analyse, après avoir adapté la complexité ou le raffinement des modèles utilisés à la qualité des informations initiales. Les progrès récents des calculateurs numériques ont mis à la disposition de l'ingénieur des moyens puissants, ainsi par exemple les méthodes par éléments finis, capables de déterminer les états de contraintes et les déformations pour des géométries complexes, et avec des lois de comportements sophistiquées. De même, l'hydraulique des roches permet théoriquement de simuler toute la complexité des écoulements. Toutefois, dans la pratique de l'étude des grandes fosses, les modèles plus simples de calcul à la rupture ou d'hydraulique des milieux poreux sont encore considérés comme les plus adaptés à la qualité des données. Ces modèles sont utilisés certes pour essayer de prévoir un comportement mais aussi et surtout pour apprécier le poids des différents paramètres dans l'expression de la stabilité.

Ces incertitudes et cette modestie dans la définition des conclusions expliquent en partie la difficulté de la coopération entre le mineur et le géotechnicien. A la différence du génie civil dont les ouvrages sont construits pour durer et pour lesquels on prend donc des précautions surabondantes, le mineur est astreint à travailler aux limites de la stabilité, dont la détermination précise est très délicate. Aussi, fort d'une longue tradition et bien qu'ayant participé à l'essor de la mécanique des roches, il reste néanmoins assez sceptique quant aux apports concrets d'une telle étude de stabilité et à la nécessité de l'entreprendre dès la définition du projet d'exploitation, de même qu'il entreprend des études de traitement du minerai ou qu'il dimensionne son parc d'engins. Pourtant, même si une telle étude ne débouche pas sur la démonstration d'un optimum certain, l'expérience a déjà montré que l'approche adoptée permettait, sinon de prévoir totalement, au moins de mieux comprendre, et donc avait une incidence très positive sur les coûts d'exploitation.

Remarquons enfin que les insuffisances de la méthodologie proposée et les incertitudes soulignées nous dictent le sens des recherches à poursuivre, dont le but est de contribuer à une meilleure utilisation de l'espace naturel et des réserves minérales.

USINES ET ACIERIES DE SAMBRE ET MEUSE

S.A. AU CAPITAL DE 36 981 000 F

USINES A FEIGNIES (Nord)

SAINT-BRIEUC (Côtes-du-Nord)

LE PLUS IMPORTANT PRODUCTEUR FRANÇAIS DE **MOULAGES D'ACIER**

Directions Générale et Commerciale :

Tour Aurore
Place des Reflets
Cedex 5
92080 Paris-Défense (2)
Tél. 788.33.11
Télex 620161 COURB

GROUPE CdF

un ensemble d'activités de plus en plus diversifiées

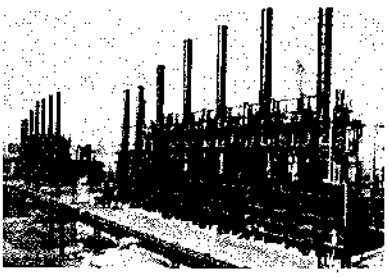
CdF Energie

La production des Houillères du Nord-Pas-de-Calais, de Lorraine et du Centre-Midi (24 millions de tonnes de charbon en 1976) est transformée, pour près de 50 %, en coke pour la sidérurgie et en électricité.
L'expérience acquise dans les gisements d'exploitation souvent difficile donne à l'ingénierie minière française une compétence reconnue et souvent sollicitée à l'étranger.

Une haveuse "à tambour" dans un siège d'exploitation des Houillères de Lorraine (photo Friderich).

CdF Chimie

La Société chimique des Charbonnages a connu depuis sa récente création un développement rapide qui la place dans le peloton de tête de la chimie française. Elle exporte près de 30 % d'une production très diversifiée qui comprend des engrais, des matières plastiques et des produits chimiques (grands intermédiaires et produits de chimie fine).



Les 2 unités de vapocraquage productrices d'éthylène, sur la plateforme CdF Chimie de Carling en Moselle (photo Friderich).

CdF Industrie

Le bâtiment, avec un procédé original de construction industrialisée, est une des activités industrielles diversifiées du groupe CdF toutes issues de ses activités minières et chimiques de base.
Les matériaux de construction, la transformation des matières plastiques et la mécanique complètent ce secteur.

Petits immeubles réalisés selon les Procédés Sigma (photo Vogel).

CdF Services

Recherches, ingénierie, informatique, travaux souterrains, lutte contre les nuisances, économies d'énergie, autant de domaines pour lesquels l'industrie houillère disposait de personnels et d'équipements spécialisés.
Ces services, nés de l'expansion des années d'après-guerre, sont devenus pour la plupart des sociétés filiales au service des industries et des collectivités publiques.

Construction d'une usine d'incinération des ordures ménagères par les services d'ingénierie du Groupe (photo H.B.N.P.C.).

CHARBONNAGES DE FRANCE
9, avenue percier - paris 8e

77013

NOUVELLES METHODES DE LA GEOLOGIE DE L'INGENIEUR

Marcel Rat (59)
Ingénieur des Ponts et Chaussées
Adjoint au Chef du Département Géotechnique
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Le développement de la Géologie de l'Ingénieur, au cours des dernières années est lié à la nécessité accrue de maîtriser tous les aléas géologiques et géotechniques pour les raisons suivantes :

- la recherche d'une sécurité plus grande pour les personnes, les biens et les ouvrages. Après la catastrophe du plateau d'Assy (1970), la cartographie ZERMOS (Zones Exposées aux Risques des Mouvements du Sols et du Sous-sol) a été étudiée.
- L'urbanisation rapide. Les constructions se sont développées dans des zones qui avaient été abandonnées, leurs caractéristiques géotechniques étant très mauvaises. Elle a aussi imposé une planification du développement urbain, dans laquelle il a été possible de tenir compte des caractéristiques géologiques et géotechniques. C'est d'ailleurs une nécessité lorsqu'il y a compétition pour l'occupation du sol : urbanisme, matériau de construction, eaux souterraines.
- La conception de plus en plus hardie des ouvrages et leur importance. Elle ne permettent plus d'extrapoler, par exemple, les fondations d'un ouvrage à un autre.
- Le coût d'immobilisation des engins sur les grands chantiers et celui dû aux retards des travaux.

Ce développement n'a pu se faire que grâce à un effort de recherche important. Les quelques exemples qui suivent ont été choisis parmi les travaux effectués par les Laboratoires des Ponts et Chaussées, pour perfectionner les méthodes d'étude. Ils montrent la variété des problèmes abordés et le caractère très pluri-disciplinaire de la Géologie de l'Ingénieur.

Les banques de données géologiques et géotechniques

Le premier travail du géologue consiste à consulter toute la documentation existante. Celle-ci est de plus en plus importante et les moyens traditionnels d'archivage rendent l'accès à cette information rapidement difficile. Le traitement de l'information apparaît aussi comme une nécessité : en effet, dans les zones urbaines, des synthèses sous forme de cartes géotechniques ont été faites. Or, la multiplication des sondages les rend caduques très rapidement. On peut donc penser qu'un traitement automatique permettra la mise à jour régulière de ces documents.

Nous avons donc étudié la possibilité d'archiver sur support informatique l'information géotechnique et d'automatiser certains aspects du traitement.

Le choix de l'information géologique et géotechnique à retenir a été effectué. Cette information a été analysée et l'on a pris comme éléments de base les niveaux lithostratigraphiques. En effet, ce sont les ensembles lithologiques susceptibles d'être reconnus et cartographiés, qui permettent une généralisation spatiale des mesures ponctuelles.

Nous avons développé un système spécifique, FIDGI, le recours à des systèmes généraux de gestion de bases de données, qui a été envisagé, n'étant pas apparu, dans les conditions actuelles (1977), comme économiquement possible. Le système FIDGI intègre également différents programmes de traitement : en amont de l'archivage, il s'agit du dessin automatique des coupes de sondages ; en aval du fichier, de pratiquement tous les traitements qui ont paru pouvoir être automatisés en routine ; report en plan des données lithostratigraphiques et structurales, traitements statistiques simples des résultats d'essais. En effet, compte tenu des données dont on dispose généralement, il ne sera pas possible, avant longtemps, d'avoir recours de façon opérationnelle à certains types de traitements
– la cartographie automatique en

particulier ; des alternatives existent, notamment les méthodes d'interprétation semi-automatique des données structurales du type du système VERCORS mis au point au SETRA.

Le forage.

Dans une campagne de reconnaissance, les opérations de forage représentent près de 50 % du coût et l'expérience montre que le nombre de forages réalisés est insuffisant. Il faut donc, trouver des méthodes de forage plus performantes pour diminuer les coûts unitaires ou utiliser des sondages rapides (tricône ou marteau perforateur), valorisés par des diagraphies.

Les difficultés de forage sont la conséquence, soit de la dureté des terrains, soit de la tenue des parois de forage. Elles sont surmontées en utilisant des matériels différents : marteau perforateur ou sondeuse en rotation utilisant la boue ou un tubage. Mais, dans un même sondage, on peut rencontrer les deux types de difficultés : on utilise alors des palliatifs et le résultat en est un coût élevé du mètre de sondage, lié au faible rendement (quelques mètres par jour). L'idée de base a consisté à réunir sur une même sondeuse, la percussion et la rotation. Mais, elle suppose le découplage au niveau de la tête des mouvements de percussion et de rotation, afin d'assurer une bonne tenue mécanique de l'ensemble. Ceci est réalisé par l'emploi d'une broche spéciale. La sondeuse V.P.R.H. (photo 1) sondeuse à vibro-percussion et rotation hydraulique) a été construite sur ce principe. Elle peut travailler en pression, rotation, vibration et vibro-percussion, ou en combinaison de ses actions.

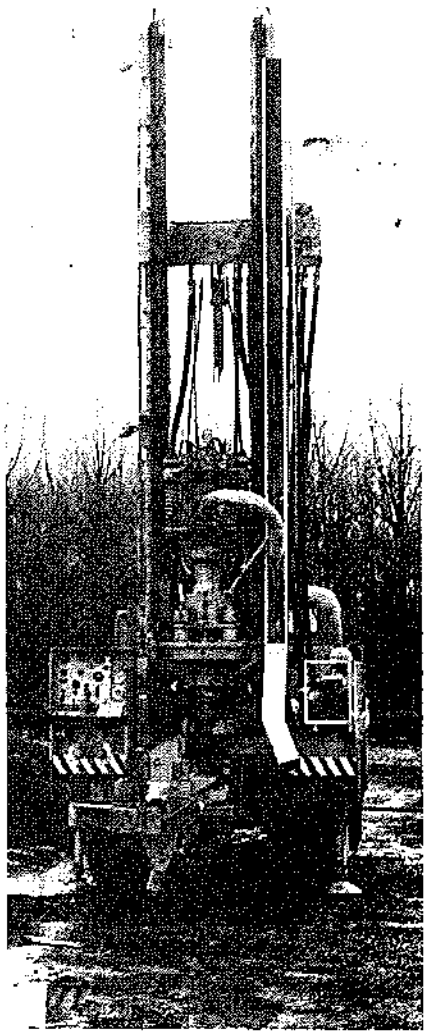
Un des avantages de la vibration est la diminution considérable, dans les terrains meubles, du frottement entre le tubage et le terrain ; on dispose donc à chaque instant du couple maximum au niveau de l'outil, permettant ainsi une grande efficacité ; on peut en outre travailler avec un espace entre tube et terrain nul. Or, ceci est une condition nécessaire pour mettre en œuvre la méthode de carottage continu, connue depuis longtemps, mais pratiquement pas utilisée faute de sondeuse adaptée : le principe consiste à utiliser un double train de tubes, muni à la base d'une couronne, qui découpe une carotte de diamètre légèrement inférieur à celui du tube intérieur. On injecte dans l'espace annulaire des tubes, de l'air ou de l'eau sous pression. Cet air, refroidit la couronne et fait remonter la carotte et les cuttings par le tube intérieur, donnant ainsi dans tous les cas un échantillonnage continu à 100 % et non pollué, ceci sans manœuvres de tiges ou de carottier. Il suffit de disposer à la surface d'un système de récupération : (col de cygne).

Cette méthode est très rapide ; on réalise un sondage de 30 mètres, avec échantillonnage complet en terrains variés et de dureté moyenne en deux heures environ. Elle possède trois avantages supplémentaires :

- L'utilisation de couronnes diamantées dans les terrains durs n'est pas nécessaire,
- la pose de tubes ou de piézomètres est facilitée par le tubage utilisé,
- la reconnaissance des nappes aquifères dans les milieux perméables est grandement facilitée par le travail à l'air (pompage par air lift).

Cette sondeuse, qui fait l'objet d'un brevet LCPC, est construite en France sous licence par la Société FORACO. Cette société a étudié et développé sur ce principe un modèle quatre fois plus important construit aux Etats-Unis pour la réalisation des pieux de fondations du pipe-line TRANS-ALASKA, les performances obtenues étant de 3 à 4 fois supérieures au matériel de conception américaine.

Photo 1



Diagraphies.

Leur utilisation dépendait de la mise au point d'un appareil adapté aux problèmes de Génie Civil (photo 2). Il permet de faire des études précises de structure géologique et d'apprécier certaines caractéristiques mécaniques des terrains (masse spécifique, teneur en eau, altération et fissuration par la résistivité et la vitesse sonique). Le développement le plus original est celui de l'étude des carrières des roches massives. Dans ce cas, les faciès à identifier sont peu nombreux et généralement bien connus. Ceci a permis d'adopter un dépouillement informatisé des diagraphies : dans un premier temps, on choisit dans un certain nombre de sondages des zones homogènes pour tous les faciès reconnus et l'on enregistre tous les paramètres possibles (jusqu'à 14). un traitement par analyse discriminante permet de

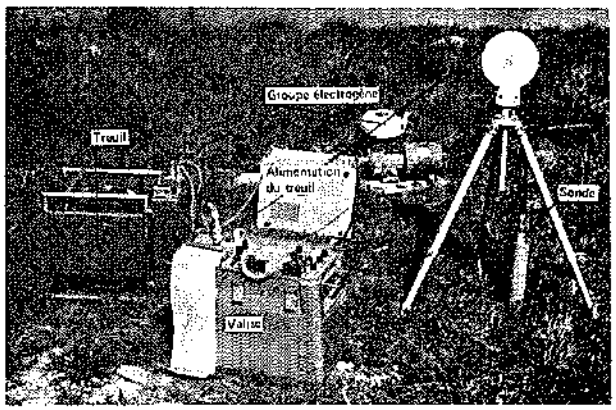


Photo 2

choisir les diagraphies les plus sélectives ; généralement 2 ou 3 sont suffisantes pour séparer tous les faciès. Dans un sondage, il suffira de faire ensuite ces 2 ou 3 mesures et de reprendre le même programme d'analyse discrimiante pour dresser la coupe géologique du sondage. Elle fait apparaître un certain nombre d'erreurs, liées aux limites entre les couches, erreurs que le géologue corrige très facilement. Cette méthode nous servira en particulier pour contrôler la qualité des matériaux au niveau de l'abattage.

Détection des cavités souterraines

La localisation des cavités souterraines est un problème important, principalement au voisinage des villes, où la construction se développe sur d'anciennes carrières souterraines, qui ont fourni les matériaux de construction, sans oublier les anciennes exploitations souterraines de marnes pour amendement (aéroport de Roissy) et les cavités naturelles. La méthode géophysique la plus utilisée est la gravimétrie, qui permet de détecter un vide, à condition que l'épaisseur du recouvrement soit inférieure à environ 2 fois la hauteur du vide. Ce pouvoir séparateur est assez souvent insuffisant. Partant du principe que dans toute recherche de cavités, il est réalisé des sondages, nous avons mis au point une méthode de détection des cavités au voisinage des sondages. Son principe est la mesure d'une résistivité apparente du terrain entre un dipôle émetteur en surface et un dipôle récepteur dans le sondage. On pratique cette mesure avec deux positions symétriques par rapport au sondage de l'émetteur. En l'absence d'hétérogénéités (cavités), les valeurs trouvées doivent être identiques. Des mesures sur maquette en laboratoire, vérifiées sur le terrain, ont permis de préciser les limites de la méthode. Quelle que soit la profondeur de la cavité (jusqu'à 50 mètres), on peut la mettre en évidence, si la distance de son bord au cylindre est inférieure à 1,5 à 2 fois sa dimension. Nous avons pu ainsi détecter sur le plateau de Trappes une cavité cylindrique de diamètre voisin de 6 mètres et de 2 mètres de hauteur à 13 mètres de profondeur, à 10 mètres d'un sondage. Cette méthode permet de valoriser considérablement les sondages faits, soit pour vérifier une campagne géophysique de surface, soit pour calculer la capacité portante d'une fondation. Dans ce cas elle permet de cerner le risque de présence, sous la fondation, d'une cavité d'une taille donnée.

La microscopie électronique a balayage (M.E.B.)

Apparu sur le marché, il y a une dizaine d'années, le microscope électronique à balayage s'est rapidement imposé à de nombreux laboratoires comme l'un des instruments – parmi les plus sophistiqués – indispensables à la compréhension du comportement des sols.

L'analyse minéralogique supportée par la diffraction des rayons X recherchait dans la présence d'argiles gonflantes l'explication à un comportement souvent catastrophique. S'il est exact qu'une minéralogie défavorable est souvent à l'origine des ruptures observées en talus ou en remblais, les cas sont nombreux où ces accidents survenaient sans que l'on puisse trouver l'explication dans la minéralogie des matériaux. Un autre paramètre devait, dans ces cas, être à l'origine du comportement. C'est grâce au microscope électronique à balayage et à l'analyse microtexturale qu'il permet, que peu à peu est apparue l'influence de la texture ; influence, qui dans de nombreux cas s'est révélée déterminante. Le cas concret suivant montre le rôle des textures et l'importance des observations en microscopie à balayage.

Les formations marneuses de Lodève d'âge triasique apparaissent comme des couches raides rouges et vertes. A l'occasion de travaux de terrassement, un glissement important a affecté ces marnes. Devant l'impossibilité de réaliser les essais classiques de mécanique des sols, le laboratoire a procédé à l'analyse minéralogique. La composition suivante a pu être mise en évidence : $CaCo_3$: 25 %, Quartz + feldspath 50 %, Illite : 25 %. Une telle composition minéralogique ne pouvait expliquer à elle seule le comportement du matériau.

L'analyse granulométrique de la fraction fine laissait apparaître une fraction argileuse réduite, 25 %, comprenant une fraction ultra fine de l'ordre de 7 %.

Une série d'observations au M.E.B. a révélé, dans ces marnes, l'existence d'une texture particulière en microagrégats (Photo 3) qu'une microdiffraction électronique a identifiée comme constituée de montmorillonite. Cette concentration et cette répartition expliquent le débit en esquilles de taille millimétrique que l'on pouvait observer sur le matériau altéré. L'élément moteur du comportement est dans ce cas la texture.

D'autres exemples montrent une évolution rapide de matériaux présentant une texture en microagrégat et ce, même en l'absence des argiles gonflantes.

Les matériaux

On extrait annuellement du sous-sol en France environ 350 millions de tonnes de « granulats », c'est à dire de sables, graviers, gravillons et pierres qui entrent dans la construction de pratiquement tous les ouvrages, depuis l'autoroute jusqu'au cabanon.

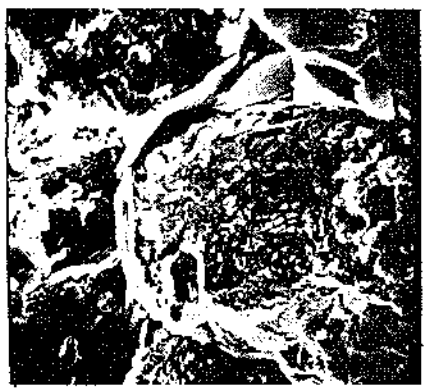


Photo 3

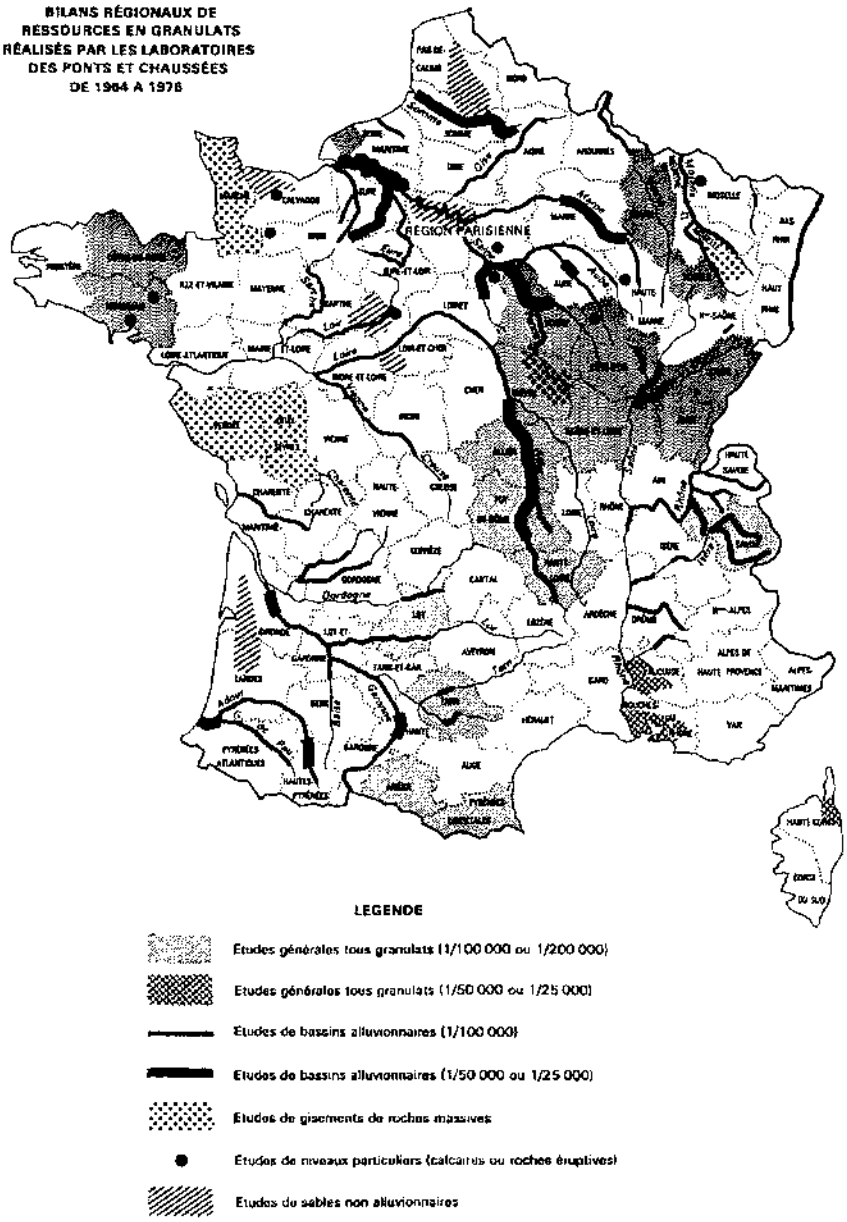
Une industrie extractive aussi importante (elle consomme 25 à 30 km² de terrain par an) ne pouvait que poser des problèmes et la réalisation d'un bilan global des ressources en granulats s'est peu à peu imposée et ceci pour 4 raisons principales :

- Épuisement dans certaines régions des réserves locales traditionnelles,
- Prise de conscience des problèmes liés à l'environnement, qui ont conduit à une législation plus stricte.
- Amélioration des techniques d'utilisation qui exigent une meilleure connaissance qualitative du matériau.
- Recherche de matériaux de très haute qualité pour la réalisation de ces chaussées.

Pour tenir compte de ces préoccupations diverses, des inventaires ont été réalisés depuis une dizaine

d'années par les laboratoires des Ponts et Chaussées et le BRGM. En 1975, il a été institué une taxe parafiscale sur les granulats pour financer ces inventaires, ainsi que des études de travaux de réaménagement.

Deux types d'inventaires ont été faits (fig. 6) *à petite échelle* (de l'ordre du 1 : 100 000e). Ils ont porté soit sur des bassins alluvionnaires entiers (Loire, Rhône, Rhin, Garonne, etc... et leurs principaux affluents), soit sur des départements ou des régions, soit sur des niveaux géologiques particuliers (calcaires de la région parisienne, par exemple).



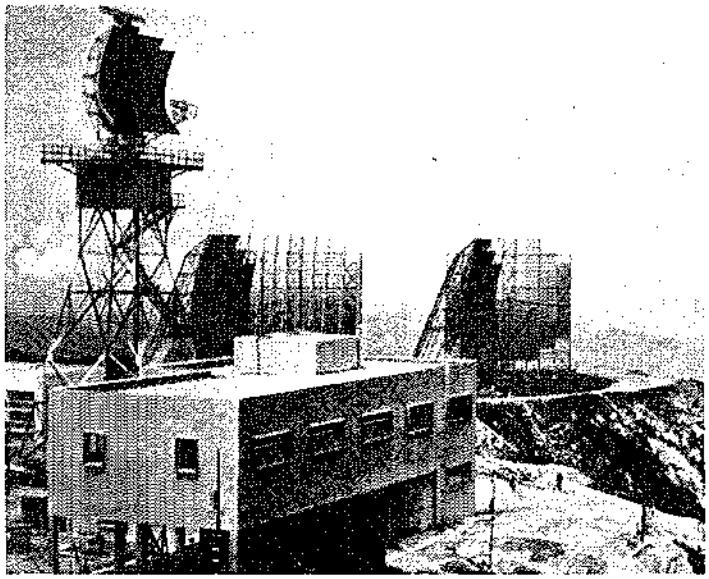
Ils fournissent un bon panorama des disponibilités régionales, en particulier sur le plan qualitatif, et sont surtout intéressants pour le maître-d'œuvre concepteur de tracés routiers. Ils sont réalisés à partir de connaissances régionales (en particulier des exploitations existantes) à *échelle moyenne* (de l'ordre du 1 : 25 000e).

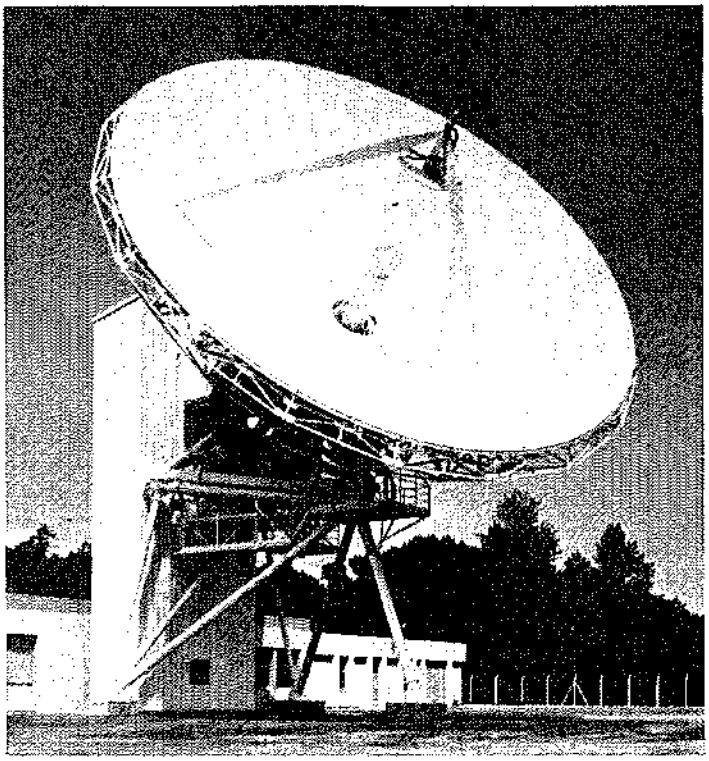
Ils concernent essentiellement pour l'instant des vallées alluvionnaires. Ils contribuent à l'arbitrage entre les différentes possibilités d'occupation du sol (au niveau des SDAU ou des POS) et à la mise sur pied de politiques régionales d'exploitations réalistes, tenant compte de l'ensemble des paramètres. Ces inventaires de ressources sont donc l'élément de base de dossiers plus complets qui prennent en compte les besoins, les contraintes et les autres données économiques et socio-économiques de la région.

Ils nécessitent pour leur réalisation des travaux sur le terrain : géophysique, forages pour connaître l'épaisseur des formations exploitables, ainsi que la qualité des matériaux.

A une échelle plus grande, il a été nécessaire de développer une méthodologie d'étude des gisements en vue de leur exploitation. En effet, si pour une exploitation artisanale, la connaissance précise du gisement n'est pas utile, il n'en est pas de même pour assurer les cadences actuelles de production, ainsi que les qualités requises.

Ces quelques exemples montrent les progrès réalisés au cours des dernières années, et, ils sont loin d'être suffisants ; ils permettent néanmoins d'effectuer de bonnes études géologiques et géotechniques. Cependant, il faut avoir à l'esprit que c'est la prise en considération, le plus tôt possible, des éléments géologiques, qui conduit au projet le plus économique. En effet, des études tardives ne peuvent que justifier des solutions constructives, qui dans bien des cas s'avèrent très coûteuses, alors que des études très préliminaires permettent d'éviter certaines difficultés en adaptant le projet.





THOMSON-CSF
Electronique professionnelle. Renommée mondiale

Radiodiffusion-Télévision
Radars
Infrastructure aéronautique
Télécommunications par satellites

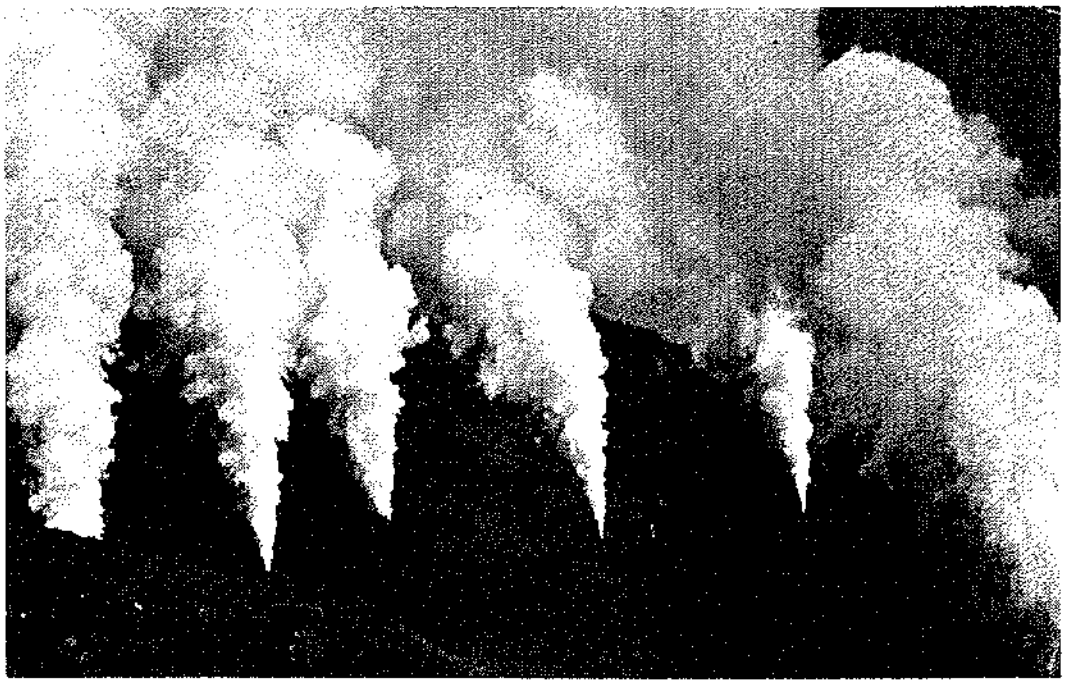
THOMSON-CSF

23, RUE DE COURCELLES / B.P. 96-08 / 75362 PARIS CEDEX 08 FRANCE / TÉL. (1) 256 52.52

3128

N'était-il pas paradoxal qu'une société privée s'intéresse dès 1965 au développement de l'énergie géothermique pour la production d'électricité ? A l'époque, le baril de pétrole ne valait pas deux dollars alors qu'il en cote maintenant plus de treize et il pouvait paraître bien présomptueux d'essayer de rivaliser par de nouvelles méthodes avec les grosses centrales thermiques dont les kilowatts-heure produits ne coûtaient que fort peu de centimes. Les économies d'un combustible devenu plus précieux depuis lors, n'étaient pas encore à l'ordre du jour, bien que la Puissance publique ait toujours été sensible à l'épargne de devises étrangères que pouvait apporter une source indépendante d'énergie implantée dans un territoire donné.

GEOTHERMIE HAUTE ENERGIE



par Jean Démians d'Archimbaud (45)
Directeur de l'Exploration à EURAFREP

L'aventure géothermique d'EURAFREP est due à des circonstances favorables, un certain esprit de curiosité d'abord, puis des amitiés avec un groupe de géologues et géochimistes italiens enthousiastes ayant travaillé au berceau même de la géothermie en Toscane. Est survenue alors la possibilité de mener sur le terrain une étude comparative entre les conditions géologiques existant en Italie et celles que l'on

pouvait trouver dans le nord de l'Algérie ou en Tunisie. Cette précieuse expérience acquise, il se présenta l'opportunité de mener une action concrète plus complète dans un territoire à volcanisme actif où certaines études préliminaires faites par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières avaient montré l'existence d'indices géothermiques favorables : il s'agissait de la Guadeloupe, île des Petites Antilles,

suffisamment développées pour éprouver un besoin croissant d'énergie électrique, sans que des centrales énormes soient justifiées au départ. Il y avait donc place pour des unités plus modestes — pourquoi pas géothermiques ? — à côté des turbines existantes dont la capacité de production vers 1970 était de l'ordre de 25 MW. C'était un milieu économique isolé où le géothermicien pouvait espérer développer progressivement une capacité de production d'intérêt industriel représentant une part significative de la puissance électrique disponible. Si, à ce jour, les travaux en cours n'ont pas encore abouti à un résultat définitif, ils ont du moins contribué à faire porter l'intérêt d'équipes scientifiques françaises sur cette forme possible d'énergie qu'il paraît concevable de développer tant dans certains territoires français particulièrement bien placés du point de vue volcanique, que dans des pays étrangers où la technologie française peut dès maintenant s'exporter. Je pense très précisément à des actions concrètes menées récemment par des entreprises ou des organismes français tant dans le Bassin Méditerranéen qu'en Extrême-Orient ou en Amérique.

Qu'est-ce-donc, plus précisément, que cette énergie géothermique « haute température » dont le développement suscite un intérêt certain dans la plupart des pays où l'environnement géologique paraît favorable ? Dans le cas le plus général, il s'agit d'utiliser des aquifères souterrains dont la température se trouve être supérieure à 180 °C, pour produire de la vapeur pouvant être directement envoyée dans une turbine. Pour fixer des ordres de grandeur, les principaux gisements connus ont des températures de l'ordre de 250 °C qui peuvent, dans certains cas, atteindre et même dépasser 300 °C.

La première expérience dans ce domaine a été réalisée en Toscane, dans une région célèbre par ses sources d'eau chaude et jets de vapeur. Là avait été créée, au 19e siècle, une entreprise de production et concentration d'acide borique. Pour accroître le débit des eaux, des puits avaient été forés qui avaient trouvé de la vapeur sous pression à quelques dizaines de mètres de profondeur. En 1904, cette vapeur a été, pour la première fois, envoyée dans une turbine pour produire de l'électricité. De proche en proche, le champ de Larderello a ainsi fait l'objet d'une exploitation systématique qui lui permet aujourd'hui d'offrir une puissance installée de 350 MW et de produire annuellement jusqu'à 3 milliards de kilowatts/h, ce qui représente une utilisation quasi continue des installations, c'est-à-dire un facteur de charge élevé.

Mises toutes ensembles, les centrales thermiques actuellement en activité de par le monde, ont une puissance cumulée qui dépasse largement 1 200 MW. L'Italie, la Nouvelle-Zélande, les États-Unis, le Japon, le Mexique et l'Union Soviétique ont à leur actif des réalisations industrielles dans ce domaine.

Le rôle de la chaleur terrestre

Ceci n'est qu'un début, eu égard au potentiel considérable qui est offert par la nature, potentiel basé sur la chaleur pratiquement inépuisable qui existe dans le sous-sol. Cette chaleur se traduit dans la mince pellicule terrestre que nous contrôlons au moyen de nos travaux miniers, par un gradient géothermique qui est en général de 1 °C pour 30 m d'approfondissement. Cette valeur du gradient peut paraître faible. Cependant, en l'extrapolant jusqu'à 100 km, on voit que l'on devrait y trouver des températures de l'ordre de 3 000 °C. Cette extrapolation semble à peu près correcte car l'on sait que les laves volcaniques arrivent au jour avec des températures de 1 000 à 1 500 °C.

Ainsi s'introduit la notion familière de « magma », liquide plus ou moins visqueux, en partie cristallisé, où dominent les silicates qui constituent l'essentiel des matériaux de l'écorce terrestre.

Quelle est la source d'énergie qui entretient cette chaleur ? Sans doute s'agit-il de la désintégration d'une multitude de noyaux instables appartenant à diverses familles radio-actives : celles de l'uranium et du thorium en premier lieu. Les périodes ou « demi-vies » de chacun de ces radio-éléments sont très variées, mais on peut estimer, en gros, que le processus global est susceptible de se prolonger, sans modifications notables, pendant des milliards d'années. En définitive, la chaleur terrestre paraît due à un processus analogue à celui qui est utilisé dans les piles nucléaires modernes.

Les phénomènes hydrothermaux

Bien que très général sur les continents, le gradient géothermique de 1 °C pour 30 m d'enfoncement est loin d'être une constante.

Dans les zones volcaniques, à vrai dire très localisées, le magma incandescent parvient jusqu'à la surface. Mais en fait, ces violentes manifestations sont des paroxysmes locaux d'assez courte durée, par exemple de l'ordre de quelques mois.

Mieux vaut considérer pour la géothermie industrielle des régions où le volcanisme est, pour ainsi dire, diffus. Les Russes ont fait des études sur le flux calorifique dans la presqu'île du Kamtchatka qui présente localement de pareils phénomènes. Le flux calorifique trouvé est 5 à 6 fois plus élevé que la moyenne mondiale qui est de 1 à 1,5 microcalories/cm²/s. Par contraste avec les paroxysmes volcaniques, ces phénomènes peuvent se poursuivre pendant des millénaires.

C'est apparemment ce qui se produit aussi à Larderello en Toscane et à Wairakei en Nouvelle-Zélande où le flux de chaleur terrestre est 1 000 à 5 000 fois supérieur à ce qu'il est en moyenne à la surface du globe.

On ne peut en général attribuer l'existence de flux thermiques aussi importants à la seule présence d'un magma qui serait alors très proche de la surface. En effet, si le débit de chaleur sous les continents détermine un gradient géothermique de 1 °C tous les 30 m, un débit 1 000 fois plus élevé devrait faire apparaître un gradient de 1° C tous les 3 centimètres. Au lieu de rencontrer le magma à 1 000 °C à une profondeur de 30 km, on pourrait s'attendre à le découvrir au bout de 30 mètres.

Mais les faits n'appuient pas un tel raisonnement : les forages n'ont rien révélé de semblable. L'un d'eux, à Larderello, n'a permis d'enregistrer, à 3 000 m de profondeur, que des réchauffements modérés. Sur le site américain des Geysers, on a foré jusqu'à 2 000 m sans constater la moindre dénaturation magmatique des roches. En fait, on voit d'abord le thermomètre monter rapidement jusqu'aux environs de 250 °C. Puis une fois atteinte la nappe aquifère productrice de vapeur, la température n'augmente plus sensiblement.

Il faut donc renoncer à l'hypothèse d'un gradient thermique dû

seulement à la conduction de la chaleur à travers les roches et il faut se rallier à la théorie des courants de convection (J. Goguel - 1953).

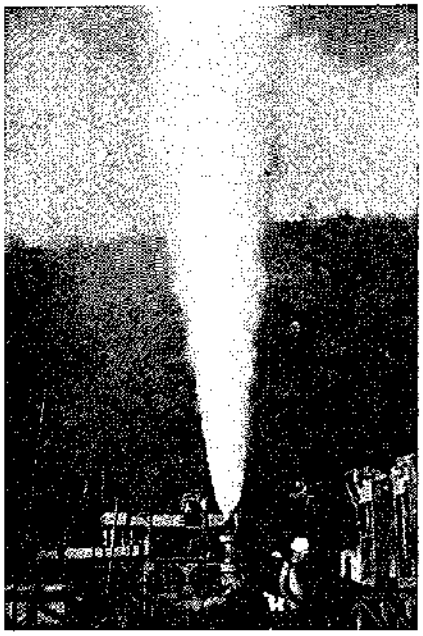
Cette théorie est entièrement fondée sur la présence de nappes d'eau souterraines imprégnant normalement des roches perméables. Elle implique que, dans les masses rocheuses, l'eau puisse circuler à travers des voies (pores et fractures) qui jouent le rôle de canalisations. Dès lors — si le débit de chaleur terrestre est cinq à six fois plus élevé que la moyenne (soit un gradient d'environ 1 °C pour 6 m) — des courants de convection thermique peuvent se créer, comme il en existe dans les circuits de chauffage central à thermo-syphon.

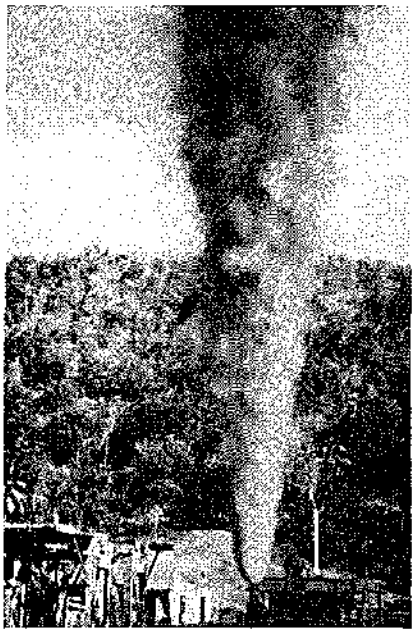
Si l'eau circule à travers des couches très perméables jusqu'à la surface du sol, la dissipation des calories sera importante et l'élévation de la température de la nappe en profondeur sera alors faible.

Supposons au contraire que, dans la même zone à fort débit de chaleur, la circulation d'eau soit bloquée vers le haut par des matériaux peu perméables, tels que des argiles. L'arrêt de la convection se traduira par l'impossibilité d'évacuer vers la surface, la même quantité de chaleur. La température de la nappe d'eau augmentera et, une fois le point d'ébullition atteint pour la pression existant dans la couche perméable, ce sera désormais de la vapeur qui se formera. A l'état gazeux, l'eau pourra grâce à sa plus grande légèreté et à sa fluidité, suivre vers le haut des voies d'évacuation plus étroites. D'où les manifestations thermales constatées en surface : sources chaudes, souvent dues au réchauffement de nappes superficielles, geysers et fumerolles.

Dans le gisement de Larderello au début de son exploitation comme dans celui de Bouillante en Guadeloupe, le réservoir perméable se trouve à une profondeur où la pression est de l'ordre de 40 atmosphères. L'eau imprégnant la roche est à une température de 250 °C, proche du point d'ébullition sous cette pression. Quand un puits foré jusqu'au réservoir est mis en service, il se crée dans celui-ci une auréole de dépression qui favorise la vaporisation de l'eau. La séparation de la vapeur par rapport à l'eau peut se produire dans le réservoir rocheux lui-même : c'est le cas le plus favorable, qui permet de n'avoir en surface qu'un débit de vapeur directement utilisable dans les turbines.

Puits BO1 en cours de forage





Puits BO2 en cours de dégonflement. Rejet de la boue utilisée pendant le forage

Mais il se peut que le milieu rocheux n'ait pas les qualités de perméabilité voulues pour que l'eau se sépare naturellement. Le puits débite alors de la vapeur saturée ainsi que de l'eau et la séparation devra se faire artificiellement en surface au moyen d'un séparateur.

Quoi qu'il en soit de la nature du milieu rocheux, au fur et à mesure que l'on augmente la production d'un puits, la qualité de la vapeur peut s'améliorer jusqu'à un certain point. La pression a en effet tendance à baisser dans le réservoir, dans la mesure où il n'est pas instantanément réalimenté, ce qui a pour conséquence une mise en phase vapeur, de l'eau qu'il contient. Un gisement produisant initialement un mélange d'eau et de vapeur peut ainsi évoluer vers la production de vapeur seule légèrement surchauffée.

Cet effet favorable comporte une limite car, si le réservoir n'est pas normalement réalimenté en eau thermale, les conditions de température et de pression peuvent se trouver radicalement modifiées. Le débit devrait alors être réglé en baisse pour maintenir la perennité du champ. Il existe donc un équilibre à trouver dans la production de chaque gisement, deux variables devant être conciliées : le débit des puits et la réalimentation de l'aquifère.

Si l'équilibre entre la production et la réalimentation du gisement est à peu près maintenu, la vie de ce gisement peut être « infinie », du moins à l'échelle de temps des investissements industriels.

Répartition des zones hyperthermales dans le monde

De ce qui vient d'être exposé, il ressort clairement que les champs géothermiques proviennent d'un processus à dynamique actuelle : il ne peut y avoir de gisement sans apport actuel de grandes quantités de calories vers la surface. En cela, les champs géothermiques s'opposent aux gisements miniers et pétroliers dont les réserves peuvent avoir été constituées en des périodes géologiques reculées.

L'extension des « provinces géothermiques » dépend donc étroitement des mises en place récentes de magma dans les zones les plus superficielles de notre globe.

Au sein même des océans, de grandes fractures hypocrustales, dont certaines jouent encore, sont à l'origine des chaînes sous-marines longues de plus de 50 000 km, mises en évidence par les missions océanographiques faites depuis une trentaines d'années. Quand ces fractures se prolongent à l'intérieur des continents, elles y découpent des fossés d'effondrement du type des « rift-valleys » d'Afrique orientale. Elles permettent la montée vers la surface de péridotites, de gabbros et de basaltes ou de roches similaires, dont les matériaux se trouvaient initialement dans le manteau supérieur. Ces matériaux sont à l'origine de la genèse de plaques océaniques dont les parties les plus anciennes s'écartent progressivement des zones de fissures le long desquelles les laves ont été expulsées.

Ces zones de fissures sont le lieu de flux thermiques importants et l'on y observe souvent des manifestations thermales remarquables.

Chacun connaît l'utilisation des eaux chaudes pour le chauffage des serres, en Islande. Dans le même contexte géologique mais en vue de la production d'électricité, des recherches géothermiques sont actuellement en cours aussi bien en Islande qu'en Afrique orientale, à Hawai et aux Açores.

Un autre type de magmatisme, particulièrement important du point de vue des développements géothermiques qu'il rend possibles, est celui qui affecte les marges continentales mobiles. Ce magmatisme qui met en jeu des roches grano-dioritiques riches en silicium est localisé dans les zones où les plaques océaniques s'enfoncent sous la croûte continentale, surfaces jalonnées par des foyers d'ébranlements sismiques. Des phénomènes d'anatexie se produisent à la base de la croûte, conduisant à la montée quasi-diapirique de masses granitiques, de densité relativement faible. Dans ce mouvement, les masses engagées sont énormes. Celles-ci conduisent à la formation de batholites de vastes dimensions qui peuvent être injectées dans la croûte à des profondeurs de quelques kilomètres seulement. A des phénomènes de ce type, peuvent se rattacher les chaînes mésogéennes ainsi que la « ceinture de feu » du Pacifique.

Les centres de production et les recherches géothermiques en cours sont nombreux dans ces zones : aux États-Unis tant en Californie que dans les Montagnes Rocheuses, en Amérique Centrale, en Amérique du Sud le long de la Chaîne des Andes, en Nouvelle-Zélande, au Japon, au Kamtchatka (U.R.S.S.), aux Antilles, en Italie, en Grèce, en Turquie.

Développements récents

Les développements les plus importants au cours de ces dernières années se sont produits aux États-Unis où l'événement dominant a été la mise en production rapide du gisement des Geysers dans le nord de la Californie : la puissance installée y atteint maintenant 600 mégawatts et croît au rythme d'environ 100 mégawatts/an. C'est le plus grand gisement du monde, producteur de vapeur sèche ce qui évite le problème de rejet d'eaux plus ou moins salées auquel est confronté l'exploitant d'un gisement de vapeur humide.

A l'extrême sud de la Californie, l'exploration se développe également dans l'Imperial Valley où plusieurs gisements possibles ont été identifiés par des sondages d'exploration. Dans ce secteur, si le champ de Salton Sea contenant des eaux sursaturées en sels paraît difficilement exploitable malgré la haute température de l'aquifère (350 °C), il n'en est pas de même des nouveaux objectifs reconnus qui sont à l'image du gisement de Cerro Prieto au Mexique où une centrale d'une capacité de 75 mégawatts fonctionne depuis quelques années.

Avant de quitter les États-Unis, il faut signaler qu'au Nouveau Mexique, le gisement de la Valles Caldera est en cours de développement, de même qu'en Utah le gisement des Roosevelt Springs.

En Amérique Centrale comme en Amérique du Sud les multiples projets conçus sont à différents stades de développement. Le plus avancé est certainement celui de Ahuachapan en Salvador où les travaux de développement se poursuivent activement.

En Extrême Orient, l'on a enregistré la commande d'une centrale de 100 mégawatts pour le gisement de Tiwi au Philippines, tandis que l'Indonésie mène activement

Puits BO2 production de vapeur

son exploration, en même temps que le développement d'un premier gisement à Kawa Kamodjang dans l'île de Java. Le Japon fait un effort particulier en géothermie pour faire face à ses besoins d'énergie : l'on compte quatre ou cinq champs équipés de centrales de 13 à 25 mégawatts et dans certains cas sont envisagées des centrales de 50 mégawatts ou même davantage.

Dans le Pacifique, les Néo-Zélandais ont mis en exploitation le gisement de Wairakei où la puissance installée est de l'ordre de 150 Mégawatts ; ce champ produit maintenant depuis une quinzaine d'années. Quelques autres sites ont été étudiés pour d'éventuels développements de la géothermie mais les ressources hydro-électriques des îles sont très grandes, ce qui rend difficile la compétition de l'électricité d'origine géothermique.

En Europe, l'Italie a conservé le premier rang avec le gisement de Larderello et ses satellites plus ou moins lointains qui totalisent 400 mégawatts de puissance installée. Une découverte significative de vapeur a été faite en Grèce dans l'île de Milos. De son côté, la Turquie a défini un gisement en Anatolie près de Kizildere, mais dans ce cas l'exploitation présente des difficultés considérables par suite de dépôts importants de calcite en surface, qui provoquent un entartrage extrêmement rapide de toutes les installations, en particulier des séparateurs eau-vapeur.

Méthodes d'exploitation

Ces difficultés que l'on peut rapprocher de celles déjà signalées à Salton Sea en Californie (eaux sursaturées en sels minéraux) ou de celles rencontrées à Taïwan où les concentrations en acide sulfurique sont telles que toutes les installations sont corrodées, montrent que la chimie des eaux est un élément très important à prendre en considération. Aussi les méthodes géochimiques sont-elles largement utilisées dès la phase préliminaire de prospection : les données obtenues à partir des sources chaudes sont en particulier un guide important pour décider d'une exploration par forages. — Naturellement ces données doivent être replacées au sein de l'environnement géologique où l'on recueille des informations essentielles sur les mises en place de magma, sur l'âge des intrusions, qui doit être très récent sinon actuel, sur la nature des réservoirs et des couvertures susceptibles d'être rencontrés en subsurface. La géophysique apporte aussi une aide précieuse. En particulier, sont très largement utilisées les mesures de gradients de température dans des sondages légers d'une centaine de mètres de profondeur forés à cet effet et les méthodes électriques très sensibles à la forte conductance de réservoirs souterrains imprégnés d'eaux plus ou moins minéralisées à forte température. Je rappellerai que la France a une place de choix dans la mise au point de méthodes destinées à mesurer les résistivités du sous-sol : sondages Schlumberger, MELOS, magnéto-tellurie à 5 composantes... et certaines de ces méthodes arrivent parfaitement à se placer à l'étranger dans le domaine de l'exploration géothermique.

Intérêt économique

L'intérêt de l'énergie géothermique réside essentiellement dans l'économie du combustible. Un sondage de 1 000 ou 2 000 mètres de profondeur est effectué ; il met en communication avec l'atmosphère le réservoir souterrain rempli d'eau sous-pression, à 200 ou 300 °C. En surface la vapeur produite est acheminée au moyen d'un réseau de collecte jusqu'à une centrale où est générée l'électricité. Le schéma est très simple et l'on conçoit que sa mise en œuvre aboutisse à des réalisations tout à fait compétitives, en particulier si on les compare aux centrales thermiques classiques.

Il n'en reste pas moins qu'il y a des difficultés et la principale d'entre elles n'a pas à être cherchée très loin. L'exploration est naturellement attirée par les régions où sont observées des manifestations thermales situées dans un environnement géologique favorable. Malheureusement les forages montrent souvent que, pour une raison ou pour une autre, ces zones favorables à priori ne le sont pas en fait. Or, les forages d'exploration sont coûteux. Si les premiers effectués donnent quelque encouragement, l'on est ainsi très vite amené à dépenser des sommes considérables pour prouver qu'un champ est économique. Si les résultats sont positifs, les coûts d'exploration se trouvent justifiés. Mais s'ils sont négatifs, ils auront été perdus.

Ainsi, les sommes engagées sont un capital risqué, tout à fait analogue à celui utilisé dans l'exploration pétrolière.

Or, il n'est pas coutumier de produire de l'électricité avec ce type de capital. Au contraire, les entreprises d'électricité investissent leurs fonds à coup sûr pour créer un nouvel équipement dont la production d'électricité n'engendrera qu'un profit modeste. Et cela est normal puisqu'aucun risque n'a été couru au départ.

Il n'en est pas de même en géothermie haute énergie où les risques sont élevés : l'explorateur hésitera à se lancer dans un programme coûteux s'il n'est pas assuré de couvrir son risque de perte par un profit plus substantiel en cas de succès.

Cependant, l'avantage qu'il y aurait à exploiter un gisement géothermique réellement économique peut être si grand pour la communauté qu'il importe certainement de trouver un moyen de concilier les deux points de vue, investissement sûr ou capital risqué.

Le risque pourra peut-être être diminué par les progrès technologiques : l'on peut imaginer que des méthodes géophysiques plus efficaces permettraient une meilleure localisation des objectifs ; d'autre part des aquifères à températures moins élevées (150 à 180 °C) pourraient être valorisés par des centrales qui utiliseraient, par exemple, le cycle de l'isobutane. Mais le risque d'exploration n'en subsistera pas moins en quelque mesure, de même que les longs délais qui s'écoulent entre les premiers travaux de forage et le plein développement d'un gisement.

Ce sont ces facteurs qui ont certainement freiné dans le passé le développement de l'énergie géothermique. Il importerait de s'en préoccuper si l'on voulait pleinement favoriser la mise en œuvre harmonieuse de toutes les sources d'énergie disponibles sur notre globe.

Scientific American, c'est la bible des revues scientifiques. Fondée en 1845. Ecrite par des scientifiques dont beaucoup sont devenus, par la suite, des Prix Nobel.

Lue par tous ceux que le domaine des autres passionne autant que leur propre domaine.

Chaque mois, Scientific American explique l'événement. L'événement scientifique mondial. Avec 8 articles dans les disciplines les plus variées : médecine, physique, archéologie...

Chaque mois, Pour la Science, édition française de Scientific American.

Pour tous ceux dont la profession est l'innovation.

En ouvrant Pour la Science, vous ouvrez Scientific American.

PRIX DE LANCEMENT

Je désire m'abonner à "POUR LA SCIENCE" au prix de lancement et recevoir gratuitement le numéro hors série.
☐ 1 an, 12 numéros pour 150 F. (une économie de 30 F)
☐ prix étranger : 180 FF.

☐ Je désire m'abonner à partir du numéro 1
Veuillez trouver, ci-joint, mon paiement par :
chèque bancaire ☐ chèque postal (3 volets) ☐ mandat ☐

Nom _____ Prénom _____

N° ____ Rue _____ Code postal _____

Ville _____ Pays _____

Renvoyez vite ce bulletin avec votre paiement à :
POUR LA SCIENCE BP 242, 75264 Paris Cedex 06.

Signature : Date :

Ogilvy & Mather

6004

GEOCHIMIE ET RECHERCHE MINIERE

Jacques Halfon (66)

Ingénieur des Mines
Chef du Département
Minéralogie - Géochimie - Analyses
Service Géologique National
Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

A l'heure actuelle, on peut considérer que la plupart des gisements miniers qui affleurent effectivement en surface ont été découverts. Depuis ces dernières années, les compagnies minières ont donc accentué leurs efforts sur la recherche de gisements « cachés » et pour ce faire, sur le développement de méthodes de prospection indirecte de plus en plus complexes, parmi lesquelles celles qui relèvent de la géochimie tiennent une place très importante.

L'application de la géochimie à la recherche minière fait appel de manière prépondérante à l'étude de la distribution des éléments chimiques à la surface de la lithosphère et à la détection d'anomalies dues à l'altération superficielle des gisements. D'approche naturaliste initialement, elle utilise aujourd'hui des méthodes statistiques complexes et conduit à des études fondamentales concernant l'altération.

Néanmoins, depuis ces dernières années, on assiste au développement de méthodes nouvelles de géochimie appliquée, issues des études des fondamentalistes et des expérimentateurs, basées sur des raisonnements physico-chimiques et non statistiques. Compte tenu de leurs caractères relativement théoriques, ces méthodes ont quelques difficultés à être transférées chez les géologues miniers mais certaines compagnies les utilisent déjà en routine. Nous en développerons deux exemples.

La prospection géochimique de type « classique »

Un gisement situé à proximité de la surface subit une altération superficielle à la fois mécanique et chimique, qui disperse les éléments chimiques contenus dans le minerai sous forme de minéraux détritiques ou néoformés ou bien sous forme solubilisée. Dans ce dernier cas, les différents ions peuvent être piégés dans les horizons superficiels par précipitation ou par adsorption, ou bien encore se retrouver dans certains végétaux.

L'objet de la prospection géochimique est alors d'étudier statistiquement la répartition géographique :

- Des minéraux détritiques alluvionnaires (« prospection à la batée » qui est de loin la plus ancienne).
- Des éléments chimiques contenus dans certaines fractions granulométriques d'échantillons alluvionnaires (« stream sediments ») ou d'échantillons de sols.
- Plus rarement, des éléments chimiques contenus dans certains végétaux, dans les eaux superficielles ou dans l'atmosphère.

L'étude de cette répartition géographique, après des traitements mathématiques sur lesquels nous allons revenir, conduit à la détection d'anomalies pour un ou plusieurs éléments. anomalies qui peuvent permettre de préciser la localisation d'un gîte éventuel.

Durant ces dix dernières années, les méthodes utilisées ont fortement évolué tant au niveau des concepts qu'au niveau des techniques.

Autour des années 1960, la prospection géochimique était utilisée principalement pour rechercher l'extension de gîtes ou d'indices déjà connus. Devant les succès obtenus, elle prit rapidement un caractère systématique avec un échantillonnage très serré (15 à 20 échantillons par km²) portant sur les alluvions du réseau hydrographique et sur les versants des vallées correspondantes, suivi d'analyses par colorimétrie pour un ou deux éléments. L'interprétation consistait à détecter les zones caractérisées par un groupement d'échantillons à teneurs anormales.

Depuis cette date, peu de changements ont été apportés à la méthode d'échantillonnage : le matériau prélevé reste toujours soit des alluvions ou du sol en prospection régionale, soit du sol en prospection détaillée. L'analyse des eaux n'a pas débouché pour le moment sur une utilisation intensive en prospection, sauf dans le cas du dosage du fluor pour la recherche de la fluorine. Le dosage des gaz n'en est encore qu'à ses premiers essais, énanométrie du radon mise à part.

Le rôle des techniques analytiques

Depuis 1965, les progrès réalisés dans le domaine analytique, tant en absorption atomique, qu'en spectrométrie optique d'émission à lecture directe, ont conduit à l'utilisation progressive de ces techniques en prospection géochimique. Elles permettent l'analyse séquentielle ou simultanée de 6 à 33 éléments sur le même échantillon (voir figures 1 et 2), le gain d'information compensant largement le surcroît de dépense.

Les avantages de ces analyses multi-élémentaires sont de trois types :

1. *Une meilleure définition de la notion d'anomalie.*

Par exemple un groupe de valeurs anomales en cuivre et zinc peut traduire l'existence de sulfures mais aussi de roches dites basiques qui présentent en général des niveaux de teneurs en ces éléments plus élevés que les autres roches sans jamais constituer un minerai. Les teneurs en argent, en chrome, en nickel permettent de discriminer les deux cas possibles.

2. *Le caractère exhaustif des prospections réalisées.*

Par exemple, la seule analyse du cuivre ne permet pas de localiser un gisement d'antimoine ou inversement. Or, il est souvent impossible de prédire ou d'exclure tel ou tel type de minéralisations.

Un inventaire complet du potentiel minéral d'un secteur impose donc l'utilisation de ces techniques multi-élémentaires ; c'est le cas actuellement des prospections faites dans le cadre de l'inventaire des ressources minières de notre pays.

3. *Une réduction possible de la maille d'échantillonnage.*

Lorsqu'un seul élément est analysé, seuls les groupements d'échantillons anomaux sont significatifs. Par contre les analyses multi-élémentaires permettent de retenir comme significatif un échantillon isolé présentant des teneurs anomales simultanément pour plusieurs métaux évoquant une association minérale rencontrée dans certains types de gisement métallifère, par exemple Pb - Cu - Ag ou bien Pb - As - Sb. Ceci évite une densité de prélèvement trop élevée qui est toujours très coûteuse. Actuellement la densité préconisée est de 2 à 5 échantillons par km².

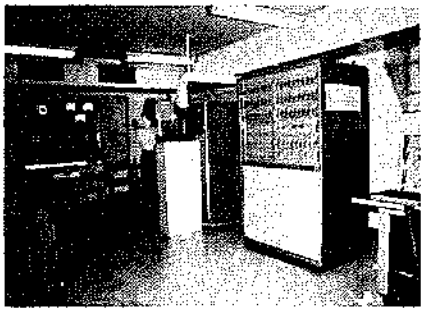


Figure 1
Spectromètre optique d'émission sous excitation à étincelle. Cet appareil permet le dosage simultané de 33 éléments (dont 7 éléments majeurs) sur des échantillons de sols simplement surbroyés.
(Département M.G.A. - S.G.N. - B.R.G.M.).

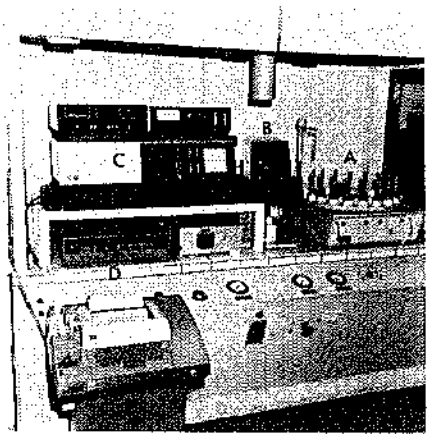


Figure 2
Un des spectromètres optiques d'émission sous excitation à plasma utilisés pour l'analyse de 22 éléments en traces dans le cadre de l'inventaire des ressources minières du territoire métropolitain.
A : Distribution automatique des échantillons
B : Nébulisation dans un plasma d'argon de type conductif
C : Spectromètre
D : Ordinateur
E : Télétype avec sorties sur imprimante et ruban perforé pour traitement statistique ultérieur.
(Département M.G.A. - S.G.N. - B.R.G.M.).

Le rôle de l'informatique

Une prospection faite avec la densité de prélèvement indiquée ci-dessus sur une superficie de 1 000 km² (20 km × 50 km par exemple), avec un dosage de 20 éléments par échantillon conduit à 100 000 données numériques. Le programme de prospection géochimique effectuée dans le cadre de l'inventaire des ressources minières de la France métropolitaine prévoit en 6 ans, l'analyse de 200 000 échantillons pour 22 éléments, soit environ 4 000 000 de données numériques.

Il est impossible de traiter ces données sans l'aide d'un ordinateur. Outre la gestion de ces données, l'ordinateur est utilisé pour présenter les résultats analytiques d'une part, pour sélectionner les anomalies intéressantes d'autre part.

Le premier point fait appel aux différents procédés de visualisation : sur écran de télévision ou sur table traçante, bidimensionnelle ou tridimensionnelle (les ordonnées suivant l'axe z correspondant aux teneurs). L'emploi le plus fréquent consiste à reporter les points de prélèvement avec un figuré de taille croissante en fonction des teneurs (voir l'exemple du cuivre et du zinc en Bretagne, figures 3a, 3b et 4a, 4b), ou bien de représenter des courbes d'isoteneurs (figures 3c et 4c).

La sélection des anomalies intéressantes est par contre plus délicate : il est impossible de la baser sur les seuls paramètres statistiques classiques, moyennes et écart-types, pour de multiples raisons, en particulier par ce que certaines anomalies ne sont liées qu'à la lithologie des formations sous-jacentes ; les divers modes d'analyse factorielle sont également peu efficaces, la raison fondamentale étant que les anomalies d'origine métallogénique dues à la présence de minéralisations sont généralement en trop petit nombre pour être isolées par analyses multivariables. Par contre, les techniques de classification permettent de sélectionner les associations géochimiques significatives, d'origine métallogénique par opposition à celles d'origine purement lithologique ou pédologique.

Les méthodes de regression paraissent être à l'heure actuelle les plus performantes pour la sélection des anomalies intéressantes, car elles permettent d'isoler les facteurs directement liés à l'environnement. A ce propos par exemple, le Département « Gîtes Minéraux » du B.R.G.M. a développé une méthode de régression appliquée aux teneurs en cuivre et zinc, utilisant deux facteurs L et S, traduisant

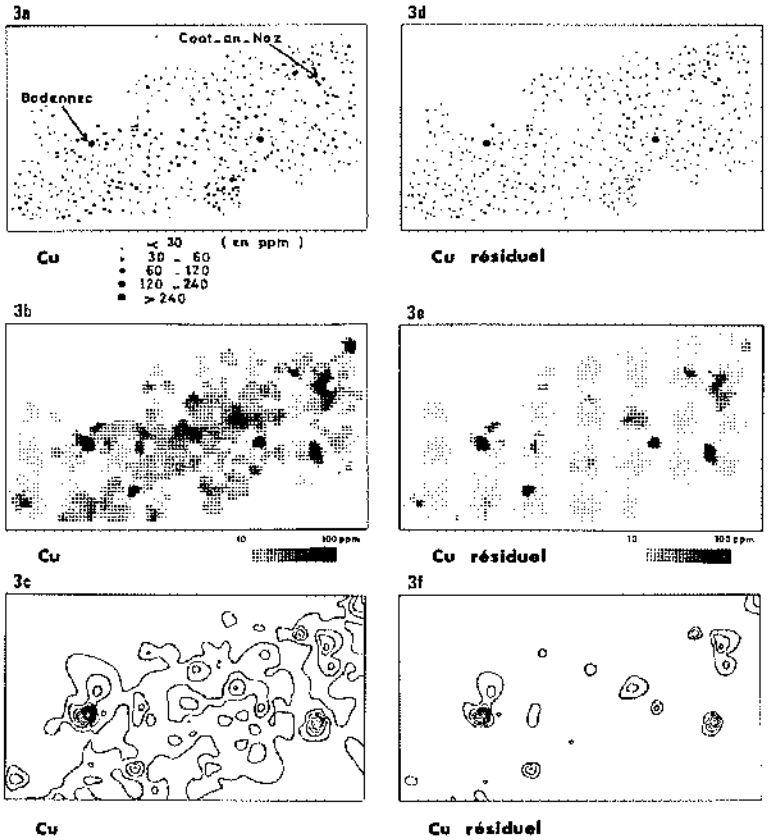


Figure 3
Visualisations des teneurs en cuivre de la zone de Bodennec (Bretagne)
3a, 3b, 3c : visualisations différentes des teneurs analytiques des échantillons de terrain.
3d, 3e, 3f : visualisations différentes des teneurs résiduelles (cf. Texte), conduisant aux anomalies d'origine métallogénique : on remarquera les anomalies de Bodennec (Pb - Zn - Cu - Ag) et de Coat-an-Noz (W - Cu - Zn - Mo).
(Département « Gîtes Minéraux » - S.G.N. - B.R.G.M.).

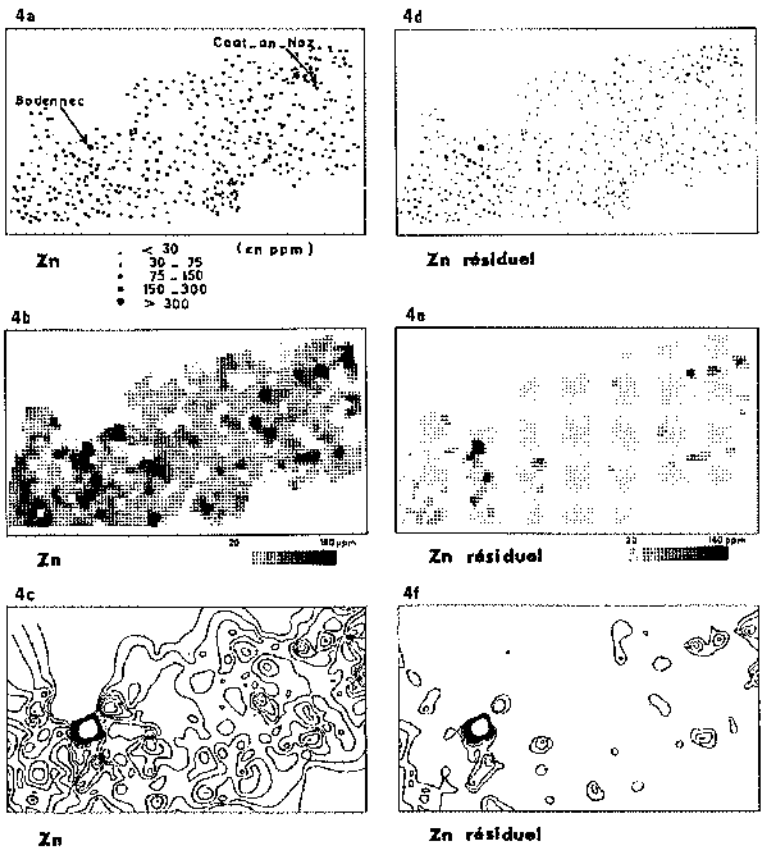


Figure 4
Visualisations des teneurs en zinc de la zone de Bodennec (Bretagne).
Pour les différentes visualisations, voir légende de la figure 3.

d'une part la lithologie, d'autre part les phénomènes superficiels (altération, sols). L'application d'une régression linéaire sur ces éléments chimiques amène à une teneur calculée de la forme $\alpha L + \beta S + \gamma$. Les teneurs résiduelles égales aux teneurs observées diminuées de ces teneurs calculées conduisent à mieux discriminer des anomalies d'origine métallogénique. Le cas d'un tel traitement sur ces éléments en Bretagne est présenté sous des formes différentes sur les figures 3c, 3d, 3e et 4c, 4d, 4e. On voit très bien apparaître les zones d'anomalies d'ordre métallogénique, en particulier, celle de Bodennec (Cu, Pb, Zn, Ag) et celle de l'indice de tungstène de Coat-an-Noz (avec Cu, Zn et Mo associés).

Les recherches méthodologiques actuellement en cours permettent d'entrevoir les changements susceptibles d'améliorer ces méthodes dans l'avenir : ces changements porteront d'une part sur la mise au point de programmes de traitement toujours mieux adaptés à la détection des anomalies « vraies », d'autre part sur une meilleure sélection au niveau de l'échantillonnage des phases à analyser ; en effet, l'importance de la migration mécanique a conduit à fonder beaucoup d'espoir dans la séparation et l'analyse des principales phases support des métaux dans les sols et dans les alluvions tels que les minéraux oxydés, les débris de « chapeaux de fer », etc... Ceci doit permettre d'améliorer les réponses géochimiques (contraste et dispersion) par rapport à celles du tout-venant.

Depuis 20 ans, la prospection géochimique est à l'origine de la découverte d'un grand nombre d'indices miniers et de gisements. L'exemple français le plus significatif est la mise en évidence d'une province polymétallique en Bretagne. De nombreuses anomalies à Cu, Pb, Zn, Ag y ont été ou sont encore découvertes. Certaines d'entre elles ont déjà conduit à des campagnes importantes de sondage et de travaux miniers : ainsi en est-il par exemple des recherches de Plelauff et Saint-Rivoal pour Pb, Zn, Ag, de Bodennec et la Porte aux Moines pour Cu, Pb, Zn, Ag.

Ces succès et le coût relativement modeste de ces campagnes par rapport à celles de géophysique ou de sondages font de ce type de prospection géochimique un outil extrêmement apprécié pour la recherche des gisements cachés.

Développement des applications de la géochimie théorique et de la géochimie expérimentale à la recherche minière.

Ces dernières années, plusieurs approches de sélection de massifs susceptibles d'être minéralisés ont été tentées en utilisant des raisonnements théoriques portant sur les roches non altérées ou sur les minéraux de ces roches. Certaines d'entre elles commencent à être utilisées systématiquement par les compagnies minières : les deux exemples suivants montrent la démarche suivie.

Inclusions fluides et recherches des porphyres cuprifères

Durant la dernière décennie, la recherche du cuivre a surtout porté sur l'étude des porphyres, roches acides d'origine magmatique. Nombre de ces porphyres ont subi postérieurement à leur mise en place des transformations hydrothermales avec apport extérieur de potassium et aussi, dans certains cas, de cuivre accompagné ou non d'or, de molybdène et d'uranium : ils portent alors le nom de porphyres cuprifères. On estime qu'au cours de ce siècle 50 à 60 % du cuivre produit proviendra de ce type de gisements (gisements à faible teneur mais à très gros tonnages).

Figure 5
Inclusions dans un quartz provenant du porphyre cuprifère de Cerro Verde (Pérou). Les fluides ont été libérés lors de la cassure effectuée sur le quartz. Par contre plusieurs cristaux de chlorures demeurent intacts. Ces phases étaient en solution lors de la cristallisation du quartz.
A : halite (NaCl)
B : sylvite (KCl)
C : chlorure de fer et potassium
(Photo : L. LE BEL : G.I.S. - B.R.G.M.-C.N.R.S.).

Les recherches fondamentales menées sur les inclusions fluides (1) ont montré que dans de très nombreux cas, les quartz associés aux phases minéralisatrices contenaient systématiquement des inclusions présentant des fluides ayant des densités extrêmement variables d'une part, et dans les inclusions de densités les plus élevées, des cristaux de chlorures d'autre part (figure 5). L'association dans un même minéral d'inclusions de fluides denses à salinité élevée et de fluides à phase vapeur dominante est caractéristique d'un phénomène d'ébullition, dont l'importance contrôle la présence de la minéralisation.

Ceci permet d'interpréter la formation de la plupart des porphyres cuprifères par les évolutions suivantes :
- augmentation de la pression des fluides hydrothermaux ;
- lorsque la pression fluide devient égale à la pression solide, fracturation généralisée du massif ;
- démixion du fluide par baisse de pression très rapide ;
- concentration des ions dans la phase liquide puis cristallisation en particulier des sulfures de cuivre, conduisant à la formation du gisement.

Les inclusions des quartz des porphyres stériles ne présentent pas ces mêmes caractères.

On dispose ainsi d'une méthode permettant de sélectionner les porphyres susceptibles d'être minéralisés de ceux qui ne le sont pas.

Cristallochimie et recherches des amas sulfures a nickel-cuivre

Certains gisements de nickel et/ou de cuivre se présentent sous la forme de sulfure spatialement liés à des roches magmatiques particulières appelées basiques ou ultra-basiques. Bien entendu, il existe des massifs de roches basiques ou ultra-basiques stériles. Dans le cas de massifs minéralisés, la séparation d'un liquide sulfuré à partir d'un bain silicaté lors de la mise en place de ces magmas s'est révélée être à l'origine des gisements ; l'immiscibilité de ces deux liquides est liée à une évolution particulière des conditions physico-chimiques de mise en place et principalement des paramètres température, fugacité de l'oxygène, fugacité du soufre et activité du fer. Or, cette évolution peut être reconstituée par l'étude de la composition d'un minéral (le spinelle) (2) qui cristallise très précocement dans la plupart des complexes basiques et ultra-basiques.

Ainsi l'étude à la microsonde électronique des compositions chimiques de ce minéral dans les massifs de roches basiques, qui affleurent abondamment dans certaines zones, permet de préciser s'il y a eu ou non individualisation d'une phases sulfurée, et donc s'il y a ou non possibilité de genèse de minéralisations liée aux massifs considérés. La figure 6 montre un exemple de discrimination des massifs stériles et minéralisés, utilisant cette méthode.

Ces deux exemples montrent une nouvelle approche de l'application de la géochimie en recherche minière. Néanmoins, elle demeurera très spécifique de types précis de gisements. Par ailleurs, elle fait appel à des techniques analytiques complexes qui ne sont utilisées que par quelques laboratoires. Ainsi son développement n'aura jamais la même ampleur que celui de la prospection géochimique de type classique.

Importance actuelle de la géochimie en recherche minière

Les méthodes de prospection géochimique constituent à l'heure actuelle un des outils de base de la recherche minière en raison de la fréquence de leur succès et de la modicité de leurs coûts.

Il n'existe pas d'études statistiques concernant la valeur relative des différentes méthodes de prospection du point de vue de la découverte des gisements cachés. Néanmoins, si antérieurement aux années 1965-1970, les prospections géophysiques conduisaient à de plus nombreuses réussites que la géochimie, cette tendance est actuellement inversée. Les succès des prospections géophysiques portaient principalement sur des gisements importants de minerais magnétiques ou d'amas sulfurés, sous couverture morainique. Par contre ces méthodes restaient aveugles quant à la recherche à petite échelle d'autres types de gisements. Depuis 1965, la mise en place de prospection géochimiques systématiques (« stratégiques ») par les compagnies minières ou de programmes d'inventaire par différents états a

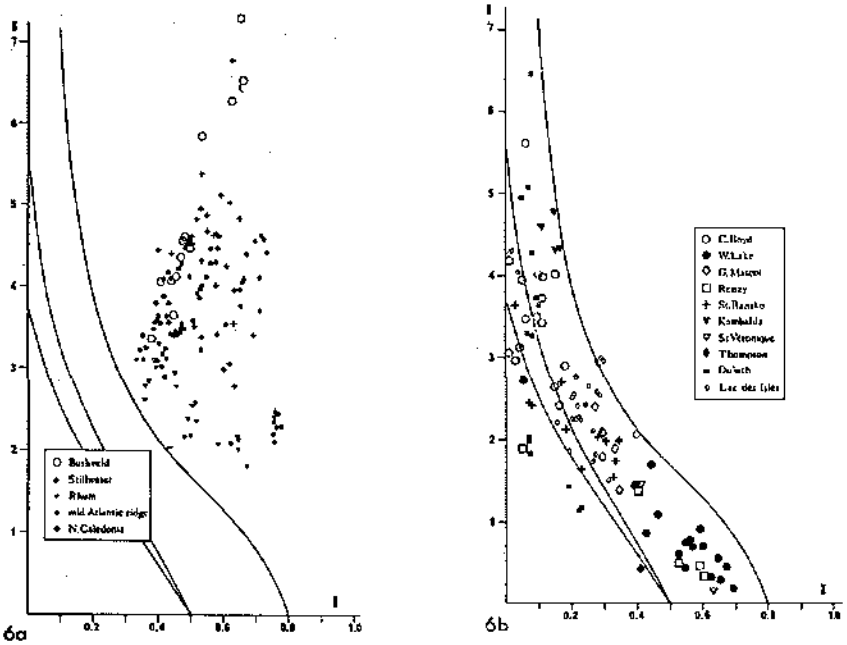


Figure 6
Diagramme utilisé pour la sélection des complexes de roches basiques et ultra-basiques susceptibles d'être accompagnés de minéralisations à nickel-cuivre.
Les points ont pour coordonnées des fonctions complexes des compositions chimiques en métaux bivalents et trivalents des spinelles, minéraux habituels de ces roches.
Figure 6a : Spinelles des massifs stériles (pour Ni-Cu)
Figure 6b : Spinelles des massifs associés à des minéralisations.
(Document Z. JOHAN, Département M.G.A. - S.G.N. - B.R.G.M. et G.I.S.-B.R.G.M.-C.N.R.S.)

permis de pallier cette carence et a conduit à la découverte de très nombreuses anomalies d'origine métallogénique dont certaines sont dues à des gisements exploitables sous-jacents. Ainsi peut-on affirmer que les gîtes découverts aujourd'hui par prospection géochimique sont plus nombreux que ceux découverts par prospection géophysique (3). Il n'est pas certain par contre que cette supériorité de la géochimie se confirme au niveau des tonnages des métaux correspondants.

Parmi les succès les plus marquants de la prospection géochimique, on peut citer les découvertes :
- en France, d'une province métallogénique polymétallique à Pb - Zn - Cu - Ag en Bretagne,
- en Irlande, de gisements d'importance mondiale tel que Navan (Pb - Zn) et Tynagh (Pb - Zn - Cu - Ag - Ba),
- en Australie, de très importants gisements de nickel, à partir de l'étude des « chapeaux de fer » (minéraux oxydés de fer en surface).

En ce qui concerne les coûts, il faut distinguer les différentes phases de la recherche minière :
- En prospection géochimique régionale, dans les pays ou l'accès au terrain est difficile (Afrique, Amérique du Sud, par exemple), il n'est pas rare que le coût des prélèvements atteigne 95 % des dépenses totales, le complément concernant les frais d'analyses et d'interprétation. Par contre, en Europe ou aux États-Unis, le prélèvement ne représente que 40 à 65 % des dépenses totales. Dans le cadre de l'inventaire métropolitain, le traitement complet d'un échantillon coûte actuellement 250 à 280 Francs (prélèvement, analyse de 22 éléments, traitement sur ordinateur, toutes charges comprises), soit une dépense de l'ordre de 500 à 600 F km². La couverture géochimique de la France est actuellement assurée à raison de 15 000 km² par année.
- Dans les phases de recherche plus avancées, les études d'indices ou d'anomalies donnent lieu à des prospections géochimiques tactiques dont le coût représente entre 5 et 20 % des dépenses totales de recherche (géophysique, sondages de reconnaissance).
- Enfin dans la phase « développement », le coût de la géochimie est inférieur à 1 % du coût total compte tenu de l'importance des dépenses concernant les sondages ou les travaux miniers de reconnaissance.

Aujourd'hui indispensable à la recherche des minéralisations cachées par les horizons superficiels, la prospection géochimique de type classique est loin d'avoir fourni toutes les informations que l'on peut attendre d'elle. Il reste en particulier des zones immenses à couvrir. Utilisée conjointement avec des campagnes de géophysique tactique sur les sites présentant des anomalies, elle permet actuellement d'optimiser les chances de succès de la prospection.

Néanmoins, lorsque la couverture géochimique des différents pays sera très avancée, il faudra à nouveau intensifier la recherche des gîtes cachés profonds, c'est-à-dire cachés non seulement par des horizons superficiels mais aussi par des roches encaissantes stériles non altérées. Il est alors probable que la géochimie sur roches (au sens large : roche totale ou minéraux), toujours couplée aux méthodes géophysiques, prendra alors le relai de la prospection classique.

Quoi qu'il en soit, cette dernière demeurera de nombreuses années encore un outil de prédilection des chercheurs de matières premières.

Cet exposé utilise différents résultats obtenus par les Départements « Gîtes Minéraux » (Messieur Barbier, Lecuyer, Wilhelm, Zeegers) et « Minéralogie - Géochimie - Analyses » (Messieurs Boucetta, Johan, Moal) du B.R.G.M. ainsi que par le groupement d'intérêt scientifique B.R.G.M. - C.N.R.S. (Monsieur Le Bel) que je tiens à remercier. Certains de ces résultats ont été acquis grâce à des aides de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique.

(1) Les inclusions fluides sont des cavités dans les minéraux des roches contenant un ou des fluides et parfois quelques phases solides, qui représentent le milieu à partir duquel le minéral a cristallisé. Les moyens d'étude de ces inclusions sont la micro-thermométrie optique (apparition ou disparition de phases par chauffage ou refroidissement sous microscope), et des méthodes d'analyses complexes tels que la spectrométrie Raman ou la spectrométrie de masse « sous impact laser ».

(2) Groupe de minéraux ayant pour formule générale
$X(+2)\,Y(+3)O$
dans laquelle : X peut être Fe, Mg, M, Zn et
Y : Fe, Al, Cf

(3) Par exemple en Irlande, une publication de 1971 signale que sur 19 indices ou gisements sur lesquels les compagnies minières travaillaient, 11 avaient été découverts par prospection géochimique en sol et 4 autres l'auraient été s'il n'y avait pas déjà eu de pollution superficielle par des travaux anciens. Ce cas est néanmoins très favorable à la géochimie par rapport au cas général.

RECENTS DEVELOPPEMENTS DE LA GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

Un recueil d'articles consacrés à l'évolution des Sciences de la Terre ne serait pas complet sans que soit présenté un rapide panorama des acquisitions récentes de la géophysique appliquée.

On méconnaît souvent l'impact économique et scientifique – direct ou indirect – des mesures de géophysique effectuées pour étudier la structure interne de l'écorce terrestre et détecter les ressources qu'elle renferme :

- *impact économique direct :* la géophysique appliquée est une industrie internationale dont le chiffre d'affaires annuel dépasse les 20 milliards de F, et au sein de laquelle deux groupes français (SCHLUMBERGER et CGG) tiennent le premier rang mondial, respectivement pour la géophysique dans les sondages et pour la géophysique de surface.
- *impact économique indirect :* la géophysique appliquée apporte une contribution essentielle à la satisfaction des besoins énergétiques et minéraux de notre planète.
- *impact scientifique direct :* la géophysique appliquée a provoqué, en particulier au cours des dix dernières années, l'éclosion d'un grand nombre de procédés d'investigation s'appuyant sur les techniques mathématiques, physiques et électroniques les plus avancées.
- *impact scientifique indirect :* la géophysique appliquée a contribué de façon déterminante à l'élargissement de nos connaissances sur l'ensemble des propriétés physiques de la croûte terrestre, sur sa structure et sa lithologie : chaque année, par exemple, plus de 2 millions de kilomètres linéaires de coupes géophysiques des bassins sédimentaires sont produits par les travaux de prospection sismique.

Nous rappellerons d'abord quelles sont les principales méthodes géophysiques, avec leur processus d'application ; nous essaierons ensuite d'en résumer les progrès récents, qu'il s'agisse des mesures sur le terrain, de leur enregistrement, de leur traitement sur ordinateur ou de leur interprétation en termes tectoniques, stratigraphiques ou lithologiques.

par Y. Ledoux (49)
Directeur du Développement à la Compagnie Générale de Géophysique

1. Les méthodes de la géophysique appliquée

Tous les paramètres physiques qui caractérisent le sol peuvent être pris en compte dans un inventaire des méthodes géophysiques : densité, susceptibilité magnétique, résistivité, propriétés électromagnétiques, élasticité, etc...

Les méthodes liées à ces paramètres sont généralement classées en méthodes « statiques », c'est-à-dire qui étudient les effets d'un champ naturel, et en méthodes « dynamiques », c'est-à-dire qui étudient la réaction du sous-sol à diverses sollicitations provoquées.

a) *Méthodes statiques*

- Les *méthodes gravimétriques* déterminent le champ de pesanteur pour étudier la répartition spatiale du paramètre densité des terrains enfouis (exemple : détection d'un dôme de sel).

- Les *méthodes magnétiques* mesurent le champ magnétique terrestre pour connaître la répartition spatiale des corps aimantés dans le sous-sol (exemple : détection de la forme du socle cristallin).

- Les *méthodes magnéto-telluriques* enregistrent les variations simultanées des champs magnétiques et électriques naturels, dans différentes bandes de fréquence, pour fixer la répartition spatiale du paramètre résistivité des roches (exemple : détection d'une couche imprégnée d'hydrocarbures).

- Les *méthodes spectrométriques* analysent le rayonnement électromagnétique naturel du sol et du sous-sol pour en découvrir la source et son origine (exemple : détection de gisements d'uranium).

b) *Méthodes dynamiques*

- Les *méthodes électriques et électromagnétiques* étudient la réaction du sous-sol à la création d'un champ électrique ou électromagné-

Fig. 1 : Transport par hélicoptère d'une cabine d'enregistrement sismique dans l'Arctique canadien

tique artificiel (exemples : recherche de métaux conducteurs, compacts ou disséminés, diagraphies dans les forages).

- Les *méthodes sismiques*, de beaucoup les plus développées parmi les méthodes de surface, détectent les signaux émis dans le sol par une impulsion mécanique (explosion, choc ou vibration) et qui atteignent les sismographes après un trajet plus ou moins long à travers l'écorce terrestre. Alors que la séismologie enregistre principalement des vibrations naturelles qui se sont propagées par réfraction le long des couches profondes du globe, la sismique appliquée enregistre principalement, au voisinage d'une impulsion provoquée artificiellement, les ondes qui ont pénétré quasi-verticalement dans le sol et se sont réfléchies sur les séries sédimentaires sous-jacentes. La principale application des méthodes sismiques est la détection des pièges susceptibles de renfermer des hydrocarbures, sinon la détection directe de ces hydrocarbures eux-mêmes.

2. Le processus d'application des méthodes géophysiques

Quelle que soit la méthode employée, son application comporte quatre étapes :

- la *mesure*, sur le terrain ou dans un forage, c'est-à-dire la détection et l'amplification des signaux géophysiques résultant de champs d'émission naturels (méthodes statiques) ou artificiels (méthodes dynamiques) ;
- l'*enregistrement* de la mesure, autrefois sur une bande de papier, naguère sur ruban magnétique sous forme analogique, plus récemment sous forme numérisée directement sur le terrain ;
- le *traitement* de ces enregistrements, autrefois manuel, naguère sur machines analogiques, plus récemment sur des ordinateurs spécialisés et avec des logiciels hautement sophistiqués ;
- l'*interprétation* des résultats après traitement qui fait appel, aujourd'hui comme hier, aux connaissances, à l'expérience et à l'intuition du géologue.

Un tel processus requiert, on s'en doute, une panoplie de matériels, d'instruments et de logiciels très variés, conçus et opérés par des ingénieurs et techniciens spécialisés. Nous avons voulu illustrer (photos 1 et 2) les aspects extrêmes de cette mise en œuvre sur le terrain.

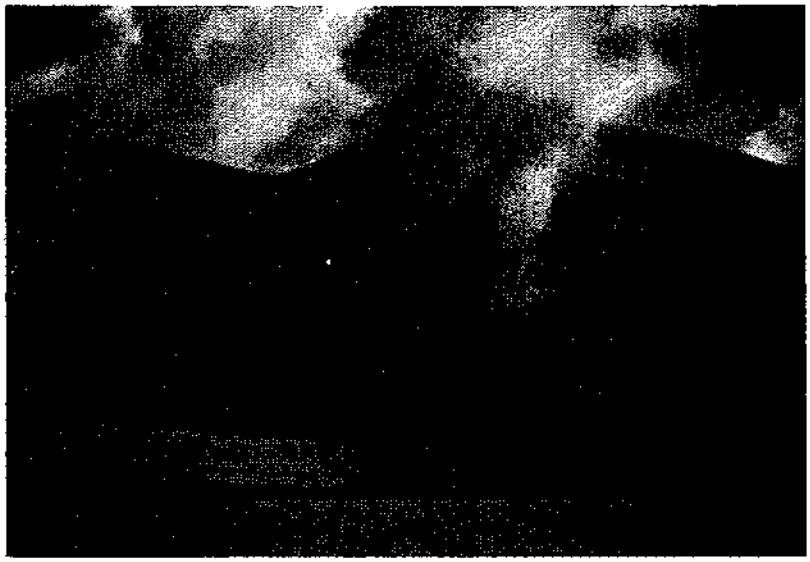


Fig. 2 : Tir sismique à l'explosif dans un grand Erg saharien

3. Quelques progrès récents dans les méthodes ou les objectifs de la géophysique appliquée

Microgravimétrie

Employée d'abord pour les études structurales profondes (quelques kilomètres), la méthode gravimétrique a trouvé récemment une application inattendue dans la détection des anciennes carrières susceptibles de compromettre la stabilité des ouvrages de génie civil : autoroutes, immeubles, etc... Il a suffi pour cela d'une heureuse conjonction entre la sortie d'un gravimètre ultrasensible (10^{-9} g, soit l'effet d'une cavité de 5 m³ à 10 mètres de profondeur) et les idées d'un professeur à l'École des Mines de Paris, R. Neumann. L'étude des carrières par microgravimétrie est devenue depuis lors d'un emploi systématique, en particulier pour les ouvrages d'art de la région parisienne. La figure 3 donne l'exemple d'une anomalie négative bien visible sur la carte d'isogrammes, et en correspondance manifeste avec la position de la carrière dessinée en superposition.

Magnéto-tellurique

Inventée en 1953 par L. Cagniard, la méthode magnéto-tellurique connaît aujourd'hui une nouvelle jeunesse, en raison de son aptitude à détecter l'extension des gisements d'hydrocarbures ou la présence de sources d'énergie géothermique. Le Groupe ELF-AQUITAINE, l'Institut Français du Pétrole, l'Institut de Physique du Globe et la CGG ont travaillé pendant de longues années à son perfectionnement : élargissement du spectre des fréquences mesurées, enregistrement numérique et interprétation automatique sur ordinateur.

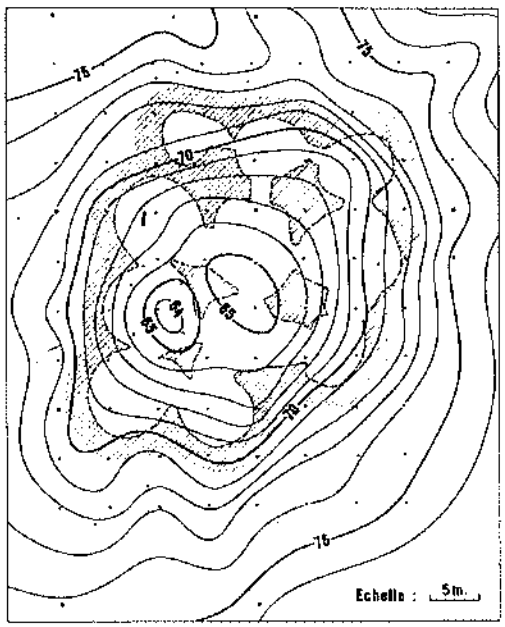


Fig. 3 : Définition complète d'une carrière par microgravimétrie Equidistance des courbes : 10 microgals

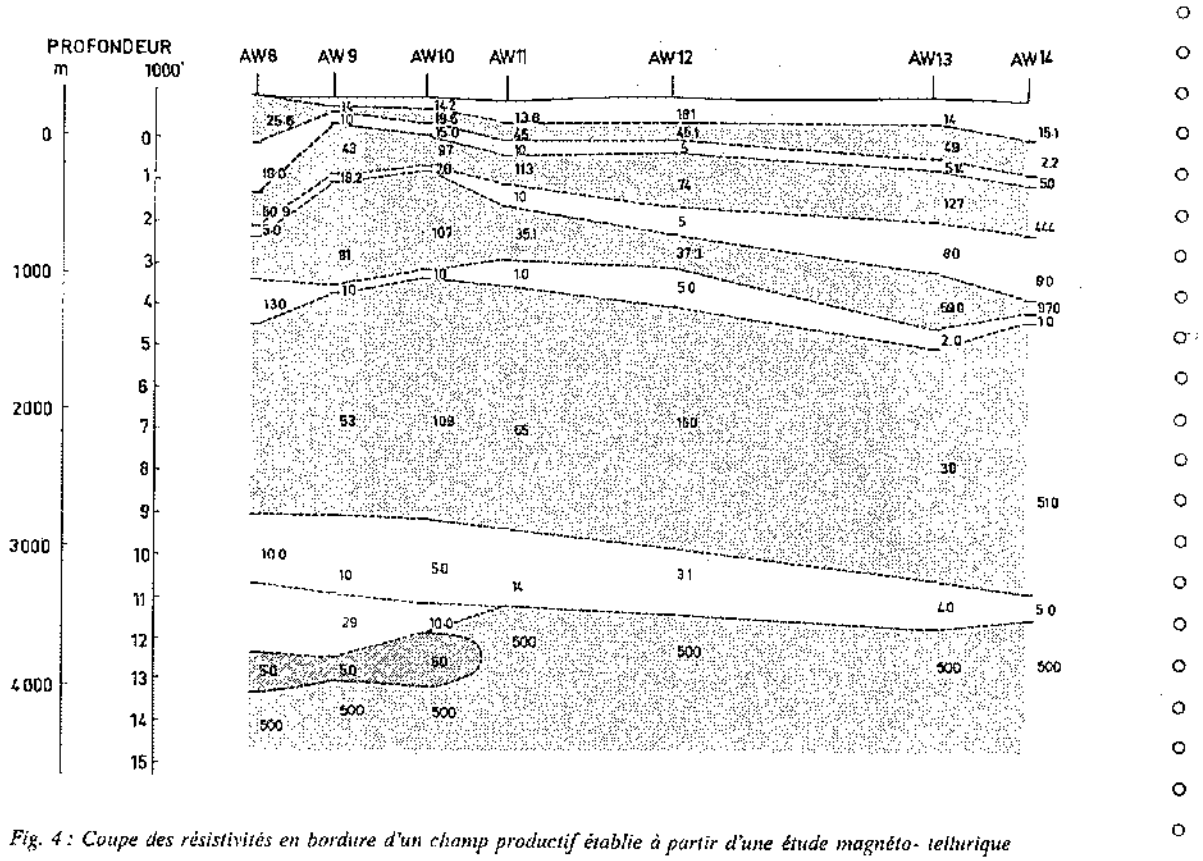


Fig. 4 : Coupe des résistivités en bordure d'un champ productif établie à partir d'une étude magnéto- tellurique

La magnéto-tellurique a notamment confirmé une extension du gisement d'Hassi-Messaoud qu'aucune autre méthode géophysique n'avait pu démontrer. La figure 4 illustre un autre exemple de coupe géophysique déduite de l'interprétation d'une étude qui a permis de définir les limites d'un champ productif d'huile.

Spectrométrie aéroportée

Ce procédé rencontre actuellement un vif succès dans la recherche à grande échelle des ressources du sous-sol en minéraux radioactifs. Il faut dire qu'il s'est quelque peu perfectionné depuis le compteur Geiger portatif des pionniers. Les capteurs de radiations permettent maintenant la discrimination des principales sources (uranium - thorium - potassium - etc...) grâce à l'analyse des comptages sur un grand nombre de bandes de fréquences (256 actuellement), à l'enregistrement numérique de ces bandes et à leur interprétation par ordinateur.

La figure 5 représente les cartes d'isovaleurs de comptage de radiations sur un gisement de rhyolite.

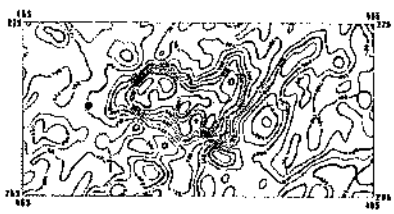
Sismique à 3 dimensions

Les méthodes classiques de sismique réflexion permettent d'obtenir des coupes de terrain bi-dimensionnelles que l'on supposait jusqu'ici, faute d'autres informations, situées dans le plan vertical de la ligne de mesure.

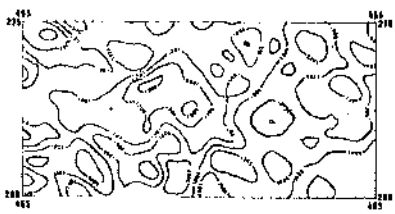
D. Michon (49) a inventé il y a quelques années et développé en collaboration avec la CFP une méthode de mesure dite « Wide Line Profiling » qui résoud ce problème grâce à l'enregistrement simultané sur plusieurs lignes parallèles très voisines, et à la mesure précise des composantes latérales du pendage des couches.

Chaque niveau ainsi détecté peut donc être replacé à sa véritable position dans l'espace, qui peut se trouver effectivement dans le plan vertical du profil, mais aussi à des distances importantes dans des plans obliques. On évite ainsi les erreurs, lourdes de conséquences dans le passé, sur le choix de l'implantation d'un forage de reconnaissance.

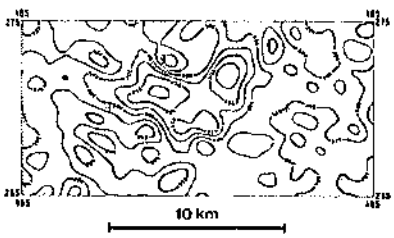
Fig. 5 : Courbes d'isovaleurs



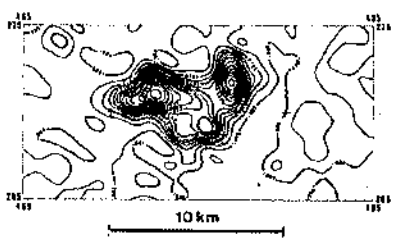
5a : du comptage en bande de fréquences large



5c : du comptage limité au spectre du thorium



5b : du rapport thorium/potassium



5d : du comptage limité au spectre du potassium

Les figures 6a, 6b, 6c et 6d montrent clairement le pouvoir séparateur de la méthode WLP : après analyse, la coupe 6a se révèle correspondre à la superposition de deux systèmes de couches très différentes, l'une située à droite du profil (6b), l'autre à gauche (6c). L'interprétateur en déduit ensuite une carte des formes structurales sur une bande de parfois plus d'un kilomètre de part et d'autre de la ligne de mesure (6d).

Détection sismique directe d'hydrocarbures gazeux par la méthode des « points brillants » (bright spots)

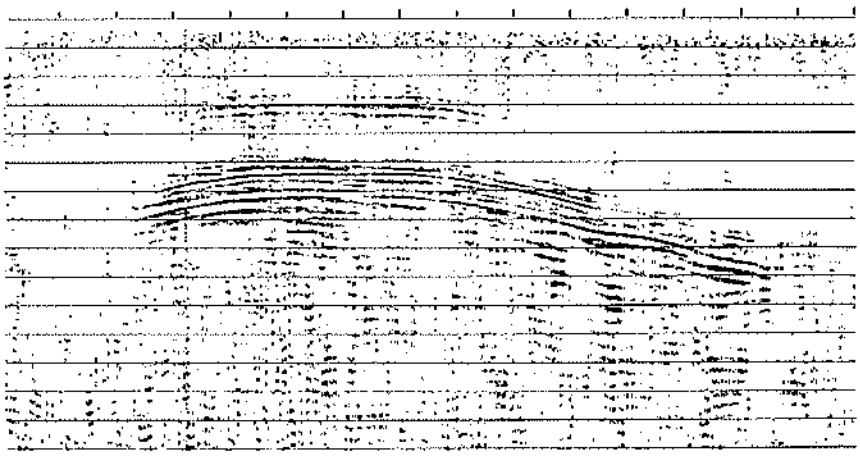
On a vérifié récemment que la présence de gaz dans une couche renforçait notablement le pouvoir réflecteur de cette couche pour les ondes sismiques, et donc l'amplitude de ces ondes observées sur les enregistrements correspondants.

La réciproque n'est malheureusement pas toujours vraie, c'est-à-dire qu'un accroissement local d'amplitude des ondes sismiques peut avoir une autre origine que le gaz. Cependant, d'autres méthodes complémentaires (ondes sismiques tranverses) devraient bientôt lever cette indétermination.

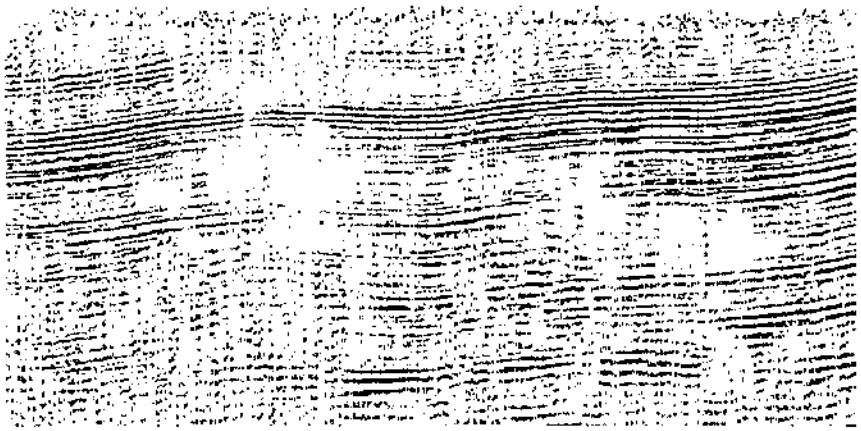
Quoi qu'il en soit, le lecteur constatera sur l'exemple de la figure 7 qu'un gisement de gaz peut désormais se voir au premier coup d'oeil sur une coupe sismique.

Conclusions

Nous espérons avoir réussi à donner au lecteur une idée – malheureusement schématique et incomplète – de la puissance d'investigation atteinte par les méthodes de la géophysique appliquée. Si elles ont pu se perfectionner essentiellement sous l'impulsion de la demande mondiale d'énergie et de matières premières, elles n'en constituent pas moins un apport scientifique de tout premier ordre à nos connaissances sur la structure et les propriétés de l'écorce terrestre. Dans les prochaines décennies, la raréfaction et le coût croissant des substances qu'elle recherche ne pourront qu'accroître cet apport aux Sciences de la Terre.

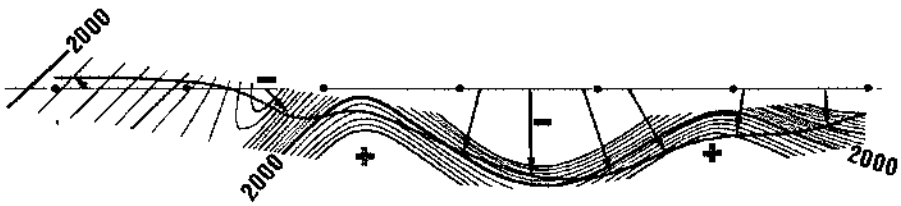


6b : WLP - Sélection du système de couches à droite du profil



6c : WLP - Sélection du système de couches à gauche du profil

(La figure 6a est la superposition des figures 6b et 6c)



6d : WLP - Carte structurale d'une couche géologique de part et d'autre d'une ligne de mesure

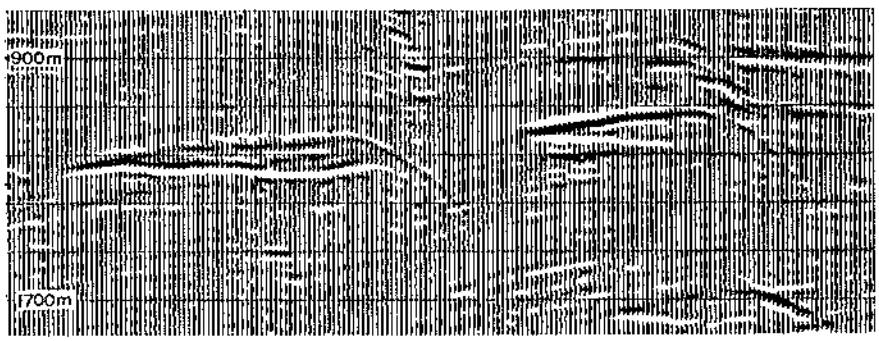


Fig. 7 : Détection d'un gisement de gaz sur une coupe sismique par son point brillant

SHELL FRANÇAISE
Des activités
intéressant tous les domaines de
L'INDUSTRIE DU PÉTROLE

Nous voulons faciliter votre vie
en facilitant vos déplacements.
Toujours tous les jours.

RATP Pour mieux vivre Paris et sa région.
Centre d'Information Téléphonique (CIT) : 346.14.14.

COFAZ

compagnie française de l'azote

met à la disposition de l'industrie et de l'agriculture
une gamme étendue de produits chimiques
azotés et d'engrais minéraux

4, avenue Vélasquez - Paris (8e)
B.P. 198-08 - 75361 PARIS CEDEX 08
Tél. : 563-11-16 - Télex : 280044 F
S.A. au capital de 192 587 800 F
R.C. Paris B 622 042 422

nous mettons notre
énergie
au service des Français
elf aquitaine

COMPAGNIE MINIÈRE DE L'OGOOUÉ

(COMILOG)

Le Manganèse de Moanda

SIÈGE SOCIAL A MOANDA (GABON)
PORT D'EMBARQUEMENT A POINTE-NOIRE (CONGO)
BUREAUX ADMINISTRATIFS
A NEUILLY-SUR-SEINE (FRANCE)
191-195, avenue Charles-De-Gaulle

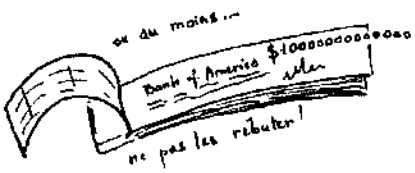
SB

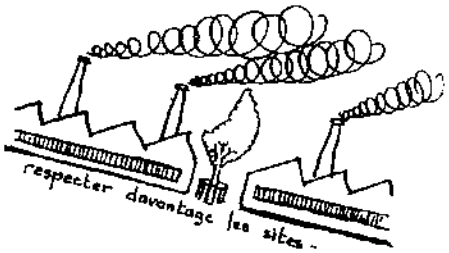
ENTREPRISE GENERALE
•
GENIE CIVIL
•
MECANIQUE
•
ELECTRICITE

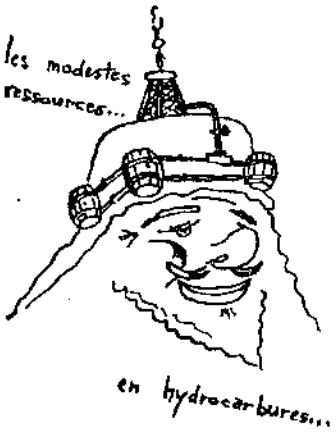
La Réunion : Route du Littoral

SPIE BATIGNOLLES

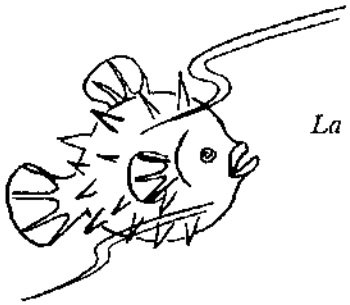
Tour Anjou - 33, quai National
92806 PUTEAUX - Tél. 776.43.64



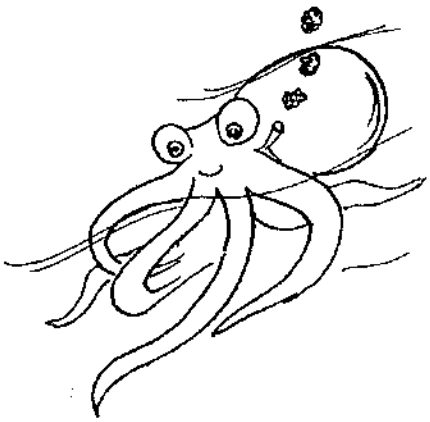


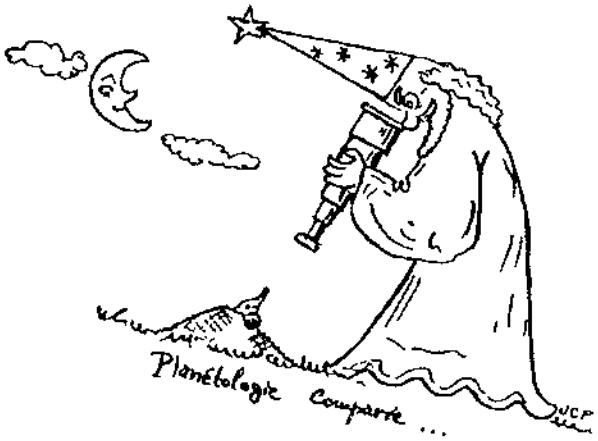


CHERCHEZ LA PHRASE



Notre camarade Croizé-Pourcelet (63)
a illustré certains passages des textes précédents.
Des difficultés indépendantes de notre volonté
nous ont conduits à rassembler sur une seule page
et sans légendes
les petits confettis d'humour que voici.
La rédaction propose donc aux lecteurs de la Jaune & la Rouge
de chercher
les phrases auxquelles ils se rapportent
et se tient à leur disposition pour toute vérification.





Pierre Simon (1904)
1885-1977

Ingénieur général des Ponts et Chaussées

Né en 1885, à Valernes, près de Sisteron, Pierre Simon était le fils unique de paysans propriétaires qui tiraient leur force et leur noblesse de leur attachement au terroir.

De très bonne heure, l'institutrice de Valernes remarqua son intelligence exceptionnelle et poussa ses parents à lui faire faire de fortes études. C'est ainsi qu'il devint élève des Ecoles Chrétiennes des Mées puis de l'Institution Sainte Geneviève à Versailles. Il tint ses promesses puisqu'en 1904, il était reçu à l'Ecole Polytechnique d'où il sortit dans le corps des Ponts et Chaussées. Fidèle aux Alpes du Sud, il choisit pour ses débuts un poste d'ingénieur ordinaire qui se trouvait libre à Gap, où il devait devenir plus tard Ingénieur en Chef. Plus tard... Car à peine installé dans son métier et dans la vie, jeune marié, père d'une petite fille de quelques mois, il fut mobilisé en Août 1914, à moins de trente ans, dans le génie comme le voulait sa fonction. Il avait toutefois suffisamment vécu de l'avant-guerre pour ressentir la profonde coupure qui sépare deux époques et pour ainsi dire deux mondes.

Chef de Cabinet du Ministre des Travaux Publics Peytral en 1924, il est nommé Ingénieur en Chef des Forces Hydrauliques à Grenoble en 1925, l'année de l'exposition de la Houille Blanche - signe du destin. Quelques années plus tard, il prend la tête du service des Ponts et Chaussées de l'Isère. Son avenir, toutefois, ne se fixe vraiment que lorsqu'il est appelé à la direction des Forces Hydrauliques et des Distributions d'Energie Electrique au Ministère des Travaux Publics, devenue vacante après la mort accidentelle du regretté Pierre Launay à Sestrières, au cours de l'hiver 36-37.

Dès ce moment, Pierre Simon a accompli, en une étape et tout seul, l'ascension sociale qui pour la plupart des autres exige deux générations. Il apporte alors un concours décisif à Paul Ramadier dans l'apaisement des difficultés sociales de l'époque et dans la mise sur pied du programme de 1938. Il fait venir quatre ou cinq personnalités privées qui comptent et leur dit à peu près ceci : « Le Gouvernement veut relancer l'économie électrique. Il attend de vous que vous lui proposiez un programme. Si vous ne le faites pas, je l'établirai moi-même. Moins bien, mais il sera fait ». Peu de mots, mais beaucoup de détermination. Tel il se révèle, tel il sera désormais. Naturellement, les intéressés déférèrent à son invite.

Mais voici de nouveau la guerre. Fidèle à sa méthode, Pierre Simon se fait assister par des industriels, mais c'est lui le Chef. En Juin 1940, l'armistice est signé, en juillet le régime de Vichy s'installe. Sa Direction devenue Direction de l'Electricité est rattachée au Secrétariat Général à l'Energie dépendant du nouveau Ministère de la Production Industrielle. Devant sa réticence à collaborer dans ces conditions avec les nouveaux dirigeants de l'Etat Français, Pierre Simon est en octobre relevé de ses fonctions et affecté au Conseil Général des Ponts et Chaussées. Il a cinquante cinq ans, l'âge de la maîtrise dans l'action. Ses grandes capacités ne restèrent pas longtemps sans emploi. Il n'a pas dépendu de lui de poursuivre une carrière active dans la Fonction Publique. Il dépend de lui de lui de continuer à agir. Il commence une nouvelle carrière à l'Entreprise Industrielle.

Quatre ans plus tard, la restauration de la République, par de Gaulle, la nouvelle donne politique, la vague des nationalisations, renversent les perspectives. La Loi du 8 avril 1946 crée Electricité de France. Le Ministre de la Production Industrielle, Marcel Paul, la présente au nom du Gouvernement. Paul Ramadier en est le rapporteur.

Il faut à la nouvelle Entreprise nationale un Président Directeur Général, qui ait la compétence technique et l'autorité morale, qui ne soit ni un patron, ni un syndicaliste, moins encore un obligé de Vichy... Les yeux se tournent vers Pierre Simon qui est vivement sollicité par le Gouvernement d'apporter sa contribution au relèvement du pays et qui accepte, à titre bénévole, et pour une durée limitée, de mettre Electricité de France sur les rails. Il négocie avec Marcel Paul les articles délicats des statuts, et constitue une équipe équilibrée (où figurent les signataires de ces lignes). Electricité de France porte encore aujourd'hui la marque profonde de son Président-Fondateur. On lui doit en particulier l'idée efficace de définir le domaine de chaque direction technique du Service National en fonction de l'horizon de son action : un mois pour l'exploitation, cinq ans pour l'équipement, vingt ans pour les Etudes et Recherches. On mesure difficilement aujourd'hui l'énergie qu'il a fallu déployer pour changer de régime sans rupture, fondre douze cents Sociétés dans une entreprise unique, ranimer et multiplier les chantiers à une époque où l'on manquait de tout, gagner les Pouvoirs Publics à une vision dynamique du développement, préparer les innovations techniques de l'avenir, assurer le financement des travaux en dépit d'une épargne initialement réticente, s'accommoder du contrepoids indispensable des syndicats.

Certes, les hommes d'Electricité de France ressentaient l'appel ardent de milliers de foyers qui manquaient de lumière et de chaleur. Peut-être aussi éprouvaient-ils au fond d'eux-mêmes l'obscur désir d'une revanche sur le destin. Toutefois, à ces bonnes volontés rassemblées il fallait un chef. Elles doivent à Pierre Simon de l'avoir eu.

Celui-ci, après douze mois d'exercice de ses fonctions, pouvait dire « Mission accomplie ». A son retour à l'Entreprise Industrielle, il allait y présider à de grands travaux et y recevoir, l'heure venue, le titre mérité de Président d'Honneur, après une belle vie, où il sut mettre les hasards au service d'une volonté.

Pierre Ailleret (18) Pierre Grézel (19 N)
Roger Gaspard (20 N) Pierre Massé (16)

COURRIER

Je voudrais vous faire part des réflexions que m'inspire l'article « La Politique de l'A.X. Actions entreprises » paru dans le dernier numéro de La Jaune et La Rouge.

Je partirai d'abord du problème de la subordination du titre d'ancien élève de l'Ecole Polytechnique à l'obtention du grade d'aspirant. Je crois savoir que l'interprétation du Ministre de la Défense est bien celle qui avait été voulue par les auteurs de la loi et que, contrairement à ce que vous indiquez, la difficulté qui nous occupe ne leur avait pas échappé. S'il est normal que des possibilités de rattrapage soient offertes aux élèves qui n'ont pu réussir à mener à bien le stage d'E.O.R. pour des raisons indépendantes de leur volonté, et cela ne peut guère viser que le cas de la maladie car il ne peut être question d'incapacité physique ou intellectuelle pour les élèves reçus au concours de l'X, il me paraît étrange que l'on se penche sur le cas des élèves qui pour des raisons politiques, philosophiques ou autre se soustraient volontairement à l'obligation qui leur est faite par le statut. Et je ne vois pas en particulier pourquoi ces élèves pourraient prétendre, à la sortie, bénéficier des places offertes dans les grands corps de l'Etat. A l'époque de la loi, des mesures analogues avaient d'ailleurs été prises à l'encontre des élèves de l'E.N.A. lesquels pour obtenir certains grands corps devaient avoir effectué un service effectif, comme officier, dans les forces de manoeuvre Terre, Mer, Air ce qui était déjà assez restrictif.

Et celà m'amène tout naturellement à m'interroger sur la finalité de l'Ecole Polytechnique. Il avait été très difficile, en 1970, de réintroduire à l'article I de la loi que la vocation première de l'Ecole était de fournir les grands corps de l'Etat mais finalement cela a été. Par ailleurs, alors qu'une majorité s'accordait pour dire que la particularité, mais aussi la valeur de l'X, tenait à son régime militaire et à son régime d'internat, les deux étant liés, les formules retenues ont affadi l'un et interdit l'autre et l'on cherche désespérément, au travers d'une loi qui n'en donne plus les moyens, à les maintenir ; d'où les difficultés actuelles. Enfin les réformes des études ont oscillé entre des compromis divers, alors que le principe d'une formation commune et identique pour tous avait été affirmée, une certaine différenciation n'étant toutefois pas exclue mais la spécialisation n'intervenant qu'ensuite.

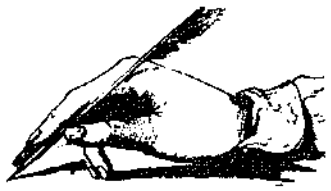
En fait il me semble qu'il y avait à l'époque, sans que soit niée la nécessité d'une appropriation au monde moderne, l'idée que l'Ecole Polytechnique ne garderait sa place qu'en revenant à la pureté de ses fondateurs de la Convention. Ne pas le faire paraissait être porteur de graves dangers, c'était cesser d'affirmer que l'X n'était pas une grande école comme les autres, c'était la mettre sur le même plan que ces dernières et par conséquent la jeter dans la tourmente que celles-ci connaissent par rapport à l'Université. Or je lis dans la revue que c'est précisément ce qui se passe puisque, tout en menant une action personnelle, l'A.X. s'en remet à la commission Chenevier, considérée comme le cadre le plus approprié. Personnellement je pense que telle n'est pas la voie qui devrait être suivie.

Pour résumer, je crois que l'Ecole Polytechnique a une vocation étatique particulière, que par là elle se distingue des grandes écoles, que là sont les sources de sa défense, de son régime, de son statut et qu'à trop vouloir précéder l'histoire on finit par par la créer et par y perdre son âme.

Voilà ce que je tenais à vous dire. N'y voyez pas une critique de votre action que je sais vigoureuse et pleine de grandes difficultés. Mais il est devenu urgent de s'interroger sur ce que seront les élites de demain, vis-à-vis de l'Etat et vis-à-vis de la Défense de la France, comprise dans son acception la plus large, qui ne se limite plus au domaine militaire, touche tous les secteurs d'activité et comporte aussi une restauration du sens des valeurs fondamentales auxquelles les X ont toujours été attachés.

J'espère que c'est dans ce sens que vous voudrez bien comprendre ce qui précède.

Marty (41)



CARNET PROFESSIONNEL

Philippe Lévi (1950) directeur commercial de CISI (Cie Internat. de Services en Informatique), a été nommé président de l'ESCA (European Computing Services Association).

Etienne Crespel (56) ingénieur des poudres, est nommé directeur général de la Société de Développement Financier (SDF) holding du groupe Néogravure.

Pierre Pommellet (58) est nommé directeur départemental de l'Equipement des Hauts de Seine.

Michel Horps (60) dirigera le cabinet de Jacques Barrot, secrétaire d'Etat au logement.

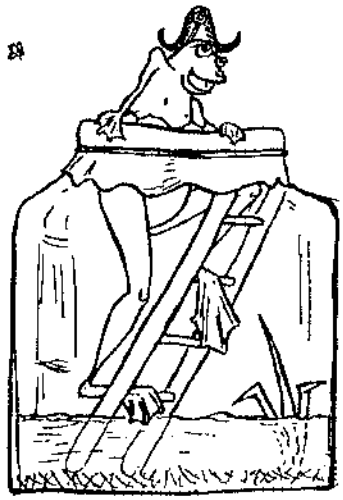
Jean-Louis Oliver (60) ingénieur des P.C., directeur général adjoint de la Société d'Aménagement Urbain et Rural (SAUR) a été nommé administrateur de la Société de Distribution d'Eau de Nîmes.

Michel Ferrier (62) qui dirigeait la division Pyrotenax des Câbles de Lyon, devient directeur adjoint de la division électronique de Jeumont-Schneider à Champagne.

Alan-John Bryden (64) qui faisait partie de l'Agence pour les Economies d'Energie, a été nommé chef de service de la qualité des produits industriels au Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat.

Claude Liebermann (67) ingénieur des P.C., devient conseiller technique au cabinet de Jacques Barrot, secrétaire d'Etat au logement.

Jacques Zyss (68) remplace Alan-John Bryden (64) à l'Agence pour les Economies d'Energie.



Michel Bauchot (69) ingénieur des P.C., est nommé conseiller technique au cabinet de Claude Coulais, secrétaire d'Etat auprès du Ministre de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat.

Benoît Weymuller (70) entre au cabinet de Jacques Barrot, secrétaire d'Etat au logement.

LA VIE DE L'ASSOCIATION

La rédaction de la Jaune et la Rouge rappelle aux camarades que les

Réunions de groupes

Convocations de promos

Communications au Carnet Polytechnicien ou professionnel

doivent nous parvenir *un mois au moins* avant la sortie du numéro souhaité.

Jusqu'au 8 du mois précédant la sortie du numéro, des communiqués peuvent être insérés en Dernière Heure (sauf pour le Carnet). Les petites annonces, également, sont reçues jusqu'au 8.

Ces dates sont *impératives* pour le bon fonctionnement de la revue dont les camarades ont pu apprécier, depuis quelque temps, la régularité de sortie. Merci à tous de votre compréhension.

BIBLIOGRAPHIE

Jacques Rueff - Œuvres complètes, tome I, De l'Aube au Crépuscule, Autobiographie.

Editions Plon, 1977

Dans son autobiographie, qu'il appelle curieusement « De l'Aube au Crépuscule » - préface, en près de 500 pages, à une édition complète de ses écrits - notre camarade Jacques Rueff a résumé sa vie et sa carrière ainsi que l'évolution de son esprit.

A *l'aube*, on voit Rueff, formé par un père médecin trop dôt disparu, s'arrachant à la « Taupe » par un engagement volontaire et faisant une courageuse campagne comme artilleur et aviateur.

Revenu indemne, après un premier départ vers la Médecine, il entre à l'X avec la promotion 19 Spéciale. Cette double formation scientifique, qui inspira son premier essai « Des Sciences physiques aux Sciences morales » a marqué toute sa vie. Elle l'entraînera vers l'Inspection des Finances pour en faire l'économiste et l'expert financier mondialement connu et consulté.

Le *milieu du jour*, c'est sa carrière, avec les postes qu'il a occupés : d'abord à la Société des Nations, puis comme Attaché financier à l'Ambassade de France à Londres, ensuite comme directeur du Mouvement général des Fonds, comme ministre d'Etat à Monaco, comme juge au Tribunal international au Luxembourg, comme Conseil du Gouvernement dans les crises financières de 1928 et de 1958. C'est aussi le professeur de l'Institut des Sciences Politiques.

Le *crépuscule*, mieux dénommé « les feux du couchant », c'est pour lui l'Académie des Sciences morales et politiques et l'Académie Française qui le porte à la Chancellerie de l'Institut.

Il fut entraîné vers l'Economie par le cours de Clément Colson et par la lecture de Léon Valras qui fut le premier à employer un outil mathématique en ce domaine. Il compléta ce qu'il appelle son « discours de la méthode » par les méditations sur Duhem et Henri Poincaré au sujet de la valeur explicative des théories scientifiques et sur leur adéquation au Réel.

Il expose comment il fut séduit par l'Economie classique et par son « modèle » à cause de sa simplicité et de son harmonie presque trop parfaites comme celles de la science grecque. On y considère des systèmes isolés en équilibre et non loin de l'équilibre, avec leurs mécanismes antagonistes d'autorégulation cybernétique et leur « lois naturelles » comme on en trouve dans toutes les sciences (loi de Le Chatelier, Van Hoff, loi de Lenz, loi de Weber-Fechner en biologie, mécanisme des prix en économie). Cette Economie Libérale fait partie de tout un ensemble, dont la démocratie, la Réforme ou encore la théorie cinétique des gaz et la thermodynamique dont des aspects qui, dans l'Histoire, correspondent à la disparition des structures sociales du Moyen Age et aux aspirations libératrices des individus et de leurs activités avec la révolution industrielle et la Révolution française. L'individu est l'Homo Economicus, et l'économie une discipline autonome, à traiter, abstraction faite du Social et de l'Humain, ainsi qu'on a pu le dire, non, parfois, sans quelque outrance.

Pour être attaché à cette Economie classique, Rueff ne ferme pas la porte à une complexification de ses modèles ; aussi, ceux-ci ne sont nullement incompatibles avec des recherches analogiques, prometteuses, avec le développement de la thermodynamique des milieux à structures « dissipatives », entrepris par Prigogine, Glansdorf, et l'école de Bruxelles (voir colloque Sadi-Carnot, Congrès AFAS 1977, la Pensée n° 195).

Rueff rappelle les vives controverses auxquelles donne lieu sa conférence à X-Crise, dont celles d'Auguste Detœuf, lequel, avec son article « La Fin du Libéralisme » en montra les limitations. On vit, par ailleurs, Lord J.M. Keynes avec lequel Rueff avait rompu courtoisement tant de lances, en rappeler le domaine de validité.

Mais voici comment « *malgré tout Rueff reste libéral* ».

Il soutient que l'économie dépend d'une telle multiplicité de facteurs que l'on ne semble pouvoir les aborder que par la voie statistique.

Il insiste sur l'existence de multiples liens d'interdépendance entre ces facteurs et celle d'interréactions et de rétroactions spontanées. Il voit dans les interventions d'un Etat souvent soumis à l'action d'équipes ou de clans, la source de toutes les turpitudes que l'on reproche, à juste titre, au capitalisme. Partant d'états de fait lentement élaborés et « jamais par le hasard » (Jupiter) crie-t-il casse-cou à l'Apprenti Sorcier (Prométhée) qui voudrait commander à la nature sans obéir à ses lois... et surtout celles qu'il ignore. Farouche adversaire de la planification, il la représente comme conduisant à un Etat totalitaire et policier et comme s'opposant à l'intervention humaine dans l'économie. Toutefois, Rueff limite son opposition aux interventions sur les effets et admet parfaitement l'action sur les causes des phénomènes, pourvu que puissent jouer utilement les réactions autorégulatrices. Ce auquel il s'oppose ce sont les interventions aveugles ou les yeux fermés.

Aussi recommande-t-il la *prudence* dans l'action devant l'inconnu ou l'insuffisamment connu. Son attitude est « Primum non nocere » comme le médecin devant son patient, ou l'Eglise romaine, autrefois, devant la chirurgie naissante, ou Auguste Comte à l'apparition de la vaccination.

Mais, attention : la pensée de Rueff se nuance et son attitude se modifie au fur et à mesure que la science avance et que l'expérience vient informer. En effet, toute sa vie, Rueff lui-même s'est lancé dans l'action, quand il s'est cru assez sûr de lui pour le faire et quand il a pensé que son devoir le lui commandait.

Avec détermination, il se lance dans la bataille à l'occasion des crises économiques et monétaires de 1928 et de 1958. Il réclame obstinément l'équilibre budgétaire. Il agit à propos des problèmes de transferts. Il s'insurge contre les emprunts à long terme et à taux d'intérêt élevé pour assurer l'équilibre immédiat de la Trésorerie. Il s'attaque, avec Louis Armand, aux goulots d'étranglement de la croissance française. Il bataille contre le « gold exchange standard » et contre le déréglement du système monétaire international... et j'en passe.

Rueff, homme d'action, combat avec un double courage. C'est d'abord parce qu'il sait faire violence

à ses tendances fondamentales (ou à celles qu'on lui prête) ; et ensuite parce que, dans des cas d'urgence, il va jusqu'à recourir à des méthodes qu'il n'approuve pas (comme au moment de la déflation Laval, en 1935). C'est aussi parce qu'avec courage il n'hésite pas à mettre dans la balance sa carrière et sa réputation.;

Or, on aime l'homme courageux. On admire l'homme qui a pu dire à de Gaulle, en lui présentant un plan, avec une assurance qui rappelle le « Frappe mais écoute » de Thémistocle avant Salamine : « j'accepte d'avance que l'opinion que vous aurez de moi à l'avenir dépende entièrement de la réussite obtenue ».

Rueff a eu, comme tout homme d'action, des amis et des adversaires. Il a eu des succès et des échecs ; mais il sait traiter « ces deux imposteurs » (comme les appelle Longfellow) avec une égale sérénité. Il dit l'avoir acquise par la contemplation d'un estuaire, celui de la Seine, si calme, si tranquille (si toutefois, on fait abstraction du mascaret).

Son livre, écrit dans un style dont la fermeté n'exclut pas la parfaite courtoisie, est un de ceux qu'il faut lire, si l'on veut réfléchir sur notre époque.

J. Nicolétis (13)

Jacques Rueff et la philosophie.

Jacques Rueff nous raconte les hésitations qu'il a eues naturellement pour choisir sa voie, hésitations courtes cependant. Nous soulignerons dès l'abord deux points : Une science quasi neuve, l'économie générale ; une capacité de travail peu commune. Ces deux contextes se traduisent, pour Jacques Rueff, - et ceci dès ses premiers postes, - par deux obligations : exhaustivité des connaissances et enseignement nécessaire à la communication avec des interlocuteurs valables. C'est au-delà cependant que vont se préciser certaines attitudes de Jacques Rueff qu'il est impossible de ne pas nommer philosophiques. La principale est très classique : comment les philosophes peuvent-ils prétendre expliquer le monde en ignorant si grossièrement la science ?

Sur ce thème, Jacques Rueff se garde de juger et, surtout ici, nous ne le ferons pas plus que lui. Deux noms ont dominé la jeunesse de Jacques Rueff : Henri Poincaré, Henri Bergson. Quelle va être l'attitude de Jacques Rueff sur cette difficulté : philosophie et science ? Immédiatement et dès Polytechnique le choix est fait : comment apporter son aide ? C'est ainsi que naît son premier ouvrage « Des sciences physiques aux sciences morales ». Ce livre va poser d'emblée l'axe de toute une vie. Jacques Rueff provoque la naissance d'une science, mais en même temps il sait qu'il en dessinera les limites, et l'obsession est certaine : c'est l'au-delà de ces limites qui l'intéressera un jour. Mais il faut d'abord « réviser les données » ; et, très vite, il se rend compte que s'il veut participer à ce rapprochement tant souhaité, philosophie-science, il ne lui suffira pas de connaître à fond une science nouvelle ; il lui faudra connaître toutes les sciences, toute la science. Il distinguera d'abord les phénomènes collectifs des phénomènes particuliers et extrapolera le foisonnement des résultats, aussi bien en physique microscopique qu'en biophysique, vers des recherches sur les collectivités, recherches qui le mèneront à faire des études sociales de véritables sciences. Ceci veut dire très précisément deux choses : dégager des lois des faits constatés ; montrer que l'action de l'homme est possible aussi bien qu'en sont prévisibles les résultats. La science économique est née.

Mais tout de suite, en même temps que s'organisait ce savoir des comment, se pose obsessionnellement chez Jacques Rueff la nécessité de rendre compte des pourquoi. La chose lui paraît si peu claire, si mal venue, si désordonnée, qu'il s'attèle au problème dans une longue réflexion. Il attendra longtemps que ses analyses prennent forme, - il nous le dit, - et ce n'est qu'en 1968 qu'il fait paraître « Les Dieux et les Rois » dont le sous-titre est exactement «Regards sur le pouvoir créateur ». C'est le développement de sa thèse sur la création des causes.

Dans la rencontre personnelle, intellectuelle et morale, que j'ai eu le bonheur d'avoir avec Jacques Rueff, les dates vont jouer un rôle précis. « La Création du Monde » et « Métaphysique du Hasard » furent écrits très probablement aux mêmes époques, 72-73. Lisant « La Création du Monde » je rencontrai l'esthétique comme moyen d'expression des soucis les plus généraux de l'homme, mais je fus encore plus surpris de voir Jacques Rueff dans la préface où il annonçait mon livre, me découvrir à moi-même ce chemin que je n'avais utilisé cette fois qu'assez inconsciemment. Au moment où le rationnel achoppe, l'homme peut aller au delà ; rien n'est clos, rien n'est conclu. Est-ce déjà la philosophie ? Si le moyen d'expliquer prenait maintenant forme et précision, qu'y avait-il à dire ?

Assez étrangement, nous allons essayer de clore notre propos en le refermant sur lui-même. Nous écoutions, l'autre jour, un jeune philosophe dont on parle : André Glucksmann. Après un itinéraire assez complexe il accusait les philosophes de l'époque 1800 et leurs successeurs d'être la source de tous nos maux, ceux-ci allant en simplifiant du terrorisme gauchiste au nazisme le plus raciste. Je souriais de cette véritable « création des causes ». Mais, écoutant ce jeune philosophe, l'attitude devint tout à coup plus sérieuse. Soljenitsyne était nommé. Il s'agit bien, chez cet auteur, d'une véritable « révision des données ». Cette révision est inlassablement poursuivie et surtout s'inscrit nécessairement dans une esthétique. Mais Soljenitzyne impose Tolstoï. Le thème constant de « La Guerre et la Paix » est la création des causes. Causes historiques, il va de soi, mais questions posées plus que résolues.

Un parallèle se met aussi en évidence au plan de la psychologie : Faulkner et Camus. Révision des données et mise à la question des causes trouvées. Alors s'impose le mythe de Sisyphe. Mais si les causes créées craquent une à une sous les pieds de Sisyphe et provoquent ces rechutes éternellement reprises, avec Jacques Rueff apparaît une magnifique foi en l'homme. Le rocher ne retombe jamais si bas que la fois précédente ; Sisyphe, à chaque montée, malgré la retombée inéluctable gagne un peu d'altitude.

Crépuscule, dit Jacques Rueff, et nul pour lui ne saurait y souscrire, mais si l'image et l'obsession de la baie de Seine à cette heure tardive sont si pleines de beautés indicibles, quelles promesses ne sont-elles pas pour l'aube qui va suivre ? A quelque jeune qui nous lira, peut-être dirons-nous très simplement que nous sommes jaloux de ce qu'ils verront.

J. Monge (31)

Nationalisations

par Christian Stoffaës (66) et Jacques Victorri

Ed. Flammarion.

Nous croyons nécessaire d'attirer l'attention sur le livre très intéressant que viennent de publier, sous le titre « Nationalisations », notre camarade Stoffaës (1966) et trois jeunes inspecteurs des finances réunis sous le nom de Jacques Victorri. On trouvera dans ce livre, tous les éléments du « dossier » des nationalisations, à l'écart des espoirs ou des craintes exagérés que ce terme suscite et qui semblaient jusqu'à présent en empêcher une discussion rationnelle : catastrophe pour les uns, démontrée à partir d'une théorie libérale archaïque et sans réalité concrète ; illusion lyrique de transformation bienheureuse de la société, pour les autres, à partir d'un projet réformiste ou révolutionnaire aux fondements fragiles ou dangereux.

On ne trouvera pas de parti-pris dans cet ouvrage puisque les auteurs avouent en fin de course qu'un débat a éclaté entre eux, ruinant l'espoir d'un consensus fondé sur « l'illusion confortable de la réflexion et de l'économisme ». Après quatre cents pages de descriptions et d'analyses, cette conclusion, en queue de poisson, peut paraître décevante : en fait elle témoigne de l'objectivité des auteurs, de leur probité intellectuelle face à un phénomène dont les formes ont été très variées, les motivations très diverses et les intentions futures très divergentes. En reparcourant le chemin suivi par les auteurs, étude des nationalisations passées en France, de celles qui ont été réalisées dans des pays étrangers comme les Etats-Unis, la Suède, l'Italie ou la Grande-Bretagne — insertion des nationalisations dans la théorie économique, critères alternatifs assignés aux nationalisations actuellement projetées (progrès social, orientation ou efficacité industrielles, actions défensives pour les secteurs de production en retrait ou stratégie offensive dans les secteurs d'avenir) — on obtiendra des clartés remarquables sur un sujet si complexe tout en gardant une liberté d'appréciation éclairée.

Les thèmes soulevés sont si nombreux qu'il ne saurait être question de les traiter tous ici. Nous voudrions simplement esquisser ceux qui nous paraissent les plus importants.

Le projet de nationalisation est souvent associé à celui d'autogestion. Il était donc important de faire une analyse sérieuse de ce dernier concept qui n'a guère, en France jusqu'à présent, qu'une valeur incantatoire. Les auteurs le font avec pondération et contribueront, on peut l'espérer, à attirer l'attention en temps utile, sur les aléas et les dangers que comporte ce nouvel instrument économique et social.

Parmi les problèmes soulevés par l'autogestion figure — en bonne place — celui de l'autofinancement, comme on l'a constaté en Yougoslavie. Mais ce problème doit aussi être traité pour lui-même puisque l'autofinancement est une des objections majeures contre le système capitaliste, où elle permettrait un développement incohérent et sous critère d'intérêt général. Ces objections, courantes aux environs de 1950, n'ont pas résisté à l'expérience de la planification à la française depuis vingt-cinq ans, et à la réflexion sur les moyens d'orientation dont dispose effectivement l'Etat. On ne sait pourquoi elles reparaissent aujourd'hui sous forme d'arguments en faveur des nationalisations, en oubliant le rôle essentiel que l'autofinancement a joué en tant qu'épargne des entreprises, pour prélever sur le produit national un moyen d'investissement et de croissance irremplaçable. Ou plutôt qui ne peut être remplacé que par l'épargne de l'Etat, c'est-à-dire une pression fiscale démesurée, — ou l'épargne forcée créée par l'inflation lorsque les investissements sont financés par le crédit.

Un autre argument séduisant en faveur des nationalisations est qu'elles permettraient, associées au Plan, de reculer l'horizon du projet économique et de remplacer la myopie imputée aux entreprises capitalistes (le fameux slogan du « profit immédiat »). Notre expérience nous a montré que ces réalités de myopie et d'horizon son indépendantes de la nature de la propriété du Capital. Elles évoluent avec l'expérience acquise, la compétence de dirigeants mieux formés, la problématique de l'extension des marchés dans l'espace et dans le temps : c'est un argument fort, mais c'est un faux argument.

Une leçon se dégage de l'ensemble de l'ouvrage en question : une nationalisation ne peut réussir que si elle s'accompagne d'une « limitation des tentations interventionnistes de l'Etat et la responsabilisation de l'entreprise publique ». Cette exigence d'autonomie, si manifeste chez Renault, entre en balance, sinon en conflit, avec les contraintes d'une autorité centrale et d'une planification rigide. Cette balance délicate, qui conditionne à la fois l'efficacité de l'économie et la liberté des citoyens, ne peut être maintenue que si le pluralisme subsiste au sein de la société. C'est là la leçon essentielle qui se dégage de ce livre plein d'honnêteté : Il y a un *effet de seuil* au delà duquel les nationalisations abolissent la liberté de choix et l'efficacité, issues du marché, l'émulation entre secteur public et secteur privé, la recherche du moindre coût et par conséquent du moindre gaspillage de l'effort humain. Au delà de ce seuil on sort d'un système qui a fait, qu'on le veuille ou non, ses preuves de liberté et d'efficacité, pour entrer dans l'aventure d'une société parfaite aussi utopique que la République de Platon.

Cet effet de seuil, les auteurs y sont très sensibles. Ils proposent des nationalisations qui ne dépasseraient pas vingt à trente pour cent de celles qu'envisage actuellement le Programme Commun. Or, ils estiment que celles-ci constitueront au total vingt-cinq pour cent de l'emploi industriel, y compris les nationalisations déjà existantes. Mais un livre tout récent « La Banque et les Groupes industriels à l'heure des normalisations » (Calmann Lévy), publié sous la direction de François Morin et résultant des travaux d'un groupe d'études de l'Université de Toulouse, montre qu'en fait, en se tenant au simple jeu de la sommation des participations financières résultant de la nationalisation des banques, le pouvoir direct de l'Etat s'exercerait sur près de la moitié de la production industrielle française, comportant, en particulier, tous les secteurs modernes. C'est dire que le seuil est largement dépassé, qu'un problème d'une dimension imprévue se pose devant les tenants du Programme Commun, fussent-ils les plus modérés. C'est un argument très fort contre la nationalisation des banques d'affaires, déjà condamnées pour d'autres raisons par les auteurs du livre dont nous rendons compte. Mais c'est surtout un avertissement d'avoir à peser les risques d'une entreprise où il semble bien qu'on se soit engagé aveuglément.

J. Ullmo

Approche multicritère des problèmes de décision.

par J. de Montgolfier (64) et P. Bertier.

Editions Hommes et Techniques

Depuis quelques années, des méthodes d'aide à la décision d'un nouveau type se développent : les méthodes multicritères. Leurs modalités d'application sont diverses, mais elles relèvent d'un état d'esprit commun et respectent certains principes généraux qui leur permettent d'avoir un champ d'application plus vaste que les méthodes usuelles du calcul économique.

Si les études menées selon les méthodes traditionnelles ont si souvent déçu, c'est que beaucoup d'entre elles supposent — souvent implicitement — que les processus décisionnels sont aussi simples que

les processus déductifs des méthodes de raisonnement qu'elles utilisent.
Les méthodes multicritères sont conçues en vue d'une meilleure adéquation à la complexité du réel. Elles permettent, notamment, de prendre en compte des éléments tels que les relations de pouvoir entre les hommes ou les organisations, ou encore le comportement interne des personnes ; elles utilisent des modèles mettant en relief l'aspect dynamique des processus et le caractère non linéaire des relations complexes.

Le présent ouvrage n'ambitionne pas d'en dresser un panorama exhaustif, mais cherche à traduire l'état d'esprit de cette nouvelle approche, et à mettre en lumière ses principes généraux. Il est illustré par de nombreux cas concrets que ses auteurs ont eu l'occasion d'aborder, soit dans le domaine des affaires publiques (par exemple, la gestion du patrimoine naturel ou le choix du tracé d'une autoroute...), soit dans celui de la gestion des entreprises (choix de media publicitaires, gestion du personnel, programmes d'investissements...).

Premières images de la Terre

par Max Leinekugel (30)

Editions Joël Cuénot (Weber diffusion, 24-28 rue du Moulinot, 75013 Paris)

« Un bruissement léger semblait s'élever de cette carte, peupler la chambre close et son silence d'embuscade ». Le langage envoûtant qui, dans la chambre des cartes, fascinait l'exilé du rivage des Syrtes, nous en retrouvons le murmure en ouvrant le livre de Max Leinekugel. De magnifiques images nous transportent, dans l'espace et dans le temps, de la Méditerrannée approximative de l'Antiquité jusqu'à un monde moderne curieusement travesti à travers une photo aux infrarouges. Mais l'auteur ne fait pas que nous présenter les chefs d'oeuvre de la cartographie, disques, mappemondes et portulans : il restitue le message, les innombrables messages des savants et des conquérants, des astronomes et des philosophes, des mystiques et des aventuriers. Et ainsi, en moins de cent pages et de cent images, Max Leinekugel nous apporte le reflet des connaissances, des légendes et des philosophies de tous les temps.

Le talent de l'auteur est servi par la perfection technique des reproductions qui fait de « Premières images de la Terre » l'un des plus beaux livres qu'il m'ait été donné d'ouvrir.

J.P. Callot (31)

INFORMATIONS DIVERSES

Prix 1978 de la « Société Générale » pour l'Énergie

Les candidatures pour le Prix 1978 peuvent être adressées au Secrétariat du Prix où elles seront reçues **jusqu'au 15 avril 1978.**

Le Prix pour l'Énergie, d'un montant annuel de 250 000 francs, a été fondé par la Société Générale en 1974 pour une durée de dix années en vue de récompenser la meilleure initiative pour améliorer la situation de notre Pays dans le domaine de l'énergie.

Depuis l'an dernier, des Prix d'encouragement, d'un montant global de 25 000 francs, peuvent être décernés aux auteurs de projets visant les mêmes objectifs que le prix principal.

Les objectifs du Prix de la Société Générale sont en effet suffisamment larges pour que puissent y trouver place des actions d'ampleur et de nature variées émanant aussi bien de chercheurs particuliers que d'équipes appartenant à de grands organismes.

Tous renseignements seront communiqués sur simple demande au Secrétariat du Prix de la Société Générale, pour l'Énergie, 29 boulevard Haussmann, 75009 Paris - tél : 266.54.00, poste 36.23.

La Société des Ingénieurs Civils de France

organise une **journée d'Études** qui aura lieu le :

16 février 1978

- placée sous le patronage du Haut Comité de l'Environnement - **pour tous ceux qui créent l'environnement et ceux qui y vivent**

Voir - Entendre - Vivre

La lumière et le son associés pour un meilleur environnement.

Avec le collaboration du groupement des Acousticiens de Langue française (GALF) et de l'Association française de l'Éclairage (AFE).

Présidence : M. J.J. Trillat, Membre de l'Académie des Sciences, ancien président de l'Institut de France.

Conditions de participation :

Membres de l'I.C.F. du GALF ou AFE :	210 F
Nom-membres	280 F
Membres-juniors ou membres n'exerçant plus d'activité	65 F

Un déjeuner froid sera servi sur place à tout inscrit.

Inscriptions : I.C.F. 19 rue Blanche, 75009 Paris.

Date-limite : **9 février**
(toute annulation nous parvenant moins de 5 jours avant la journée ne pourra faire l'objet d'un remboursement).

Programme sur demande à I.C.F. ou à l'A.X.

A.P.M.E.R.

« Association pour le mieux-être des Retraités »
155, Boulevard Haussmann 75008 Paris
(tél. 359.71.76)

Cette Association, dont nous avons déjà signalé les services, est aujourd'hui de plus en plus consultée, soit par correspondance, soit par visites dans ses bureaux, pour des problèmes juridiques, fiscaux, retraites, contentieux, recours assurances.

En outre A P M E R est à la disposition de nombreuses associations, entreprises, groupements d'études divers pour recherches des collaborations bénévoles pour ceux qui se résolvent difficilement à perdre toute activité et tout contact au moment de leur mise à la retraite, et ils sont le plus en plus nombreux avec les pré-retraites à 60 ans.

A P M E R ORIENTE ses adhérents dans des activités ponctuelles ou à temps partiel qui correspondent le mieux à leur compétence et à leur dévouement.

Les organismes et les retraités trouvent auprès de l'A P M E R un accueil très ouvert afin de répondre dans toute la mesure du possible à leurs préoccupations.

RECREATION & VARIETES . . .

La belle captive

Timeo et Danaos, guerriers grecs combattant en Espagne, ont fait prisonniers 39 hommes, 24 femmes, tous vieillards cacochymes, plus la belle Donâ Ferentes qu'ils convoitent tous deux.

Ils discutent, se fâchent et Timeo, qui n'est pas très malin, parle de passer les cacochymes au fil de l'épée.

Intervient le chef, Megacephales « j'ai sur le dos, dit Megacephales, des Inspecteurs de la Croix Rouge, de l'O.N.U. et de Amnesty International. Pas question de maltraiter les cacochymes. Et voilà ce que je décide... »

Il fait placer les 39 hommes dans une file, les 24 femmes dans une autre. Donâ Ferentes est en réserve.

« Vous allez prendre les cacochymes à tour de rôle. Vous en prendrez autant que vous voudrez, dans une file ou dans l'autre. Et même dans les deux, mais dans ce cas là, il faudra que ce soit le même nombre d'hommes et de femmes. Et celui qui m'aura débarrassé du dernier de ces minables aura Donâ Ferentes en prime. »

Timeo et Danaos acceptent, mais discutent à qui jouera le premier. Soudain Danaos dit « D'accord, tu commences » Et, tout bas, il ajoute « Euréka » ! Il sait en effet qu'il va gagner Donâ Ferentes.

Pourquoi ? Et comment ?

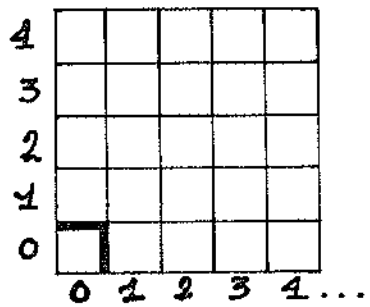
Un exposé complet des conditions de ce jeu, mais sans démonstration, est donné dans le numéro de mars 1977 de « Scientific American ». C'est « un jeu de Nim » modifié, qui était connu semble-t-il, des chinois, et qui a été réinventé par divers mathématiciens. Sous sa forme la plus générale il s'énonce ainsi :

On a deux piles de jetons (A) et (B). Il s'agit de retirer à tour de rôle des jetons de (A) ou de (B) ou des deux, mais dans ce cas en nombre égal. Le joueur qui retire le dernier jeton a gagné. On peut retirer toute une pile d'un coup. Ou même les deux si elles comportent le même nombre de jetons.

Une autre forme du jeu est la suivante :

Sur un échiquier à un grand nombre de cases, on pose une dame. La dame ne peut se déplacer que vers l'Ouest, le Sud ou le Sud-Ouest. Il s'agit de l'amener dans le coin inférieur gauche (le déplacement en diagonale correspondant à la prise de jetons en nombre égal dans deux piles).

Pour montrer l'identité des deux formes, il suffit de numéroter les cases de l'échiquier à partir de cette case inférieure gauche qui est notée O.



La solution est la suivante :

Il existe une suite infinie de couples (ab), à termes strictement croissants, tels que :

a) Tout joueur qui joue à partir d'un de ces couples ne peut que perdre, à condition que l'adversaire adopte la stratégie appropriée.

b) Tout joueur qui joue à partir d'un couple (xy) n'appartenant pas à (ab) peut ramener l'adversaire à un couple (ab). Il doit donc gagner si du moins il ne commet pas d'erreur.

Danaos a remarqué que (24, 39) constituait un couple (ab). C'est pourquoi il a laissé jouer Timeo en premier.

Les quinze premiers termes de la suite (ab) sont les suivants : (1)

Le lecteur devinera facilement la générations des (ab).

Dans le prochain numéro nous donnerons la démonstration et les stratégies gagnantes.

Mais il y a plus mystérieux : la suite A est formée des parties entières de n Φ . Φ étant le nombre d'or $\frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ racine de l'équation $X^2 - X - 1 = 0$ et la suite B est formée des parties entières de n Φ^2 .

Ces propriétés sont facilement vérifiées avec une calculatrice de poche. Mais j'avoue n'avoir pas trouvé de démonstration satisfaisante. Aussi fais-je appel à la perspicacité des camarades.

Marcel Sala (35)

Les quinze premiers termes de la suite (ab) sont les suivants : (1)

(1) N° d'ordre :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	1	3	4	6	8	9	11	12	14	16	17	19	21	22	24
B	2	5	7	10	13	15	18	20	23	26	28	31	34	36	39

Le lecteur devinera facilement la génération des (ab).

La conjecture de Catalan

« La Recherche » de décembre 1977 a publié un article intitulé « La Victoire de la transcendance » dans lequel est citée la conjecture de Catalan (X 1833), alors répétiteur à l'Ecole Polytechnique. Cette conjecture est moins célèbre que celle de Fermat, mais, pas plus que cette dernière, elle n'a encore été démontrée « complètement. »

Elle est énoncée dans une lettre de 1844, adressée par Catalan à l'éditeur du « Journal de Crelle » et publiée par celui-ci

13.

Note

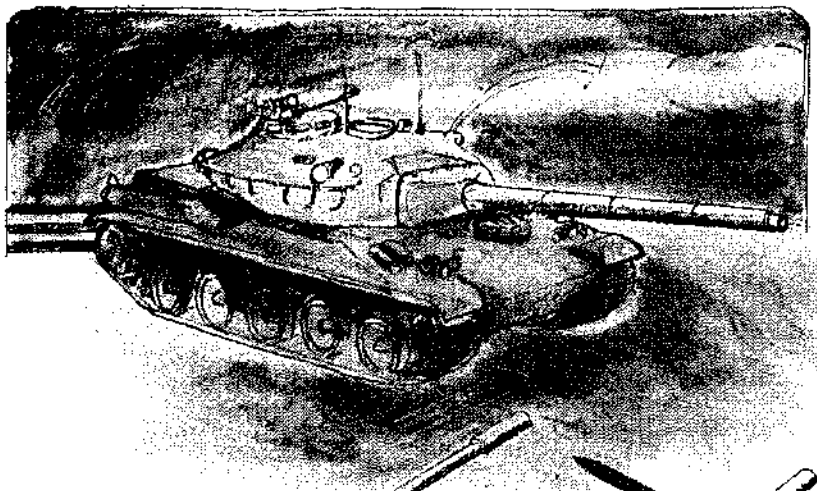
extraite d'une lettre adressée à l'éditeur par Mr. *E. Catalan*, Répétiteur à l'école polytechnique de Paris.

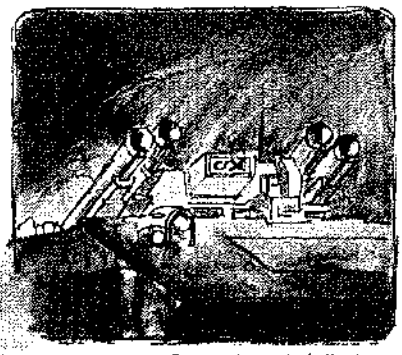
„Je vous prie, Monsieur, de vouloir bien énoncer, dans votre recueil, le „théorème suivant, que je crois vrai, bien que je n'aie pas encore réussi „le démontrer complètement: d'autres seront peut-être plus heureux:

„Deux nombres entiers consécutifs, autres que 8 et 9, ne peuvent être „des puissances exactes; autrement dit: l'équation $x^m - y^n = 1$, dans „laquelle les inconnues sont entières et positives, n'admet qu'une seule „solution."

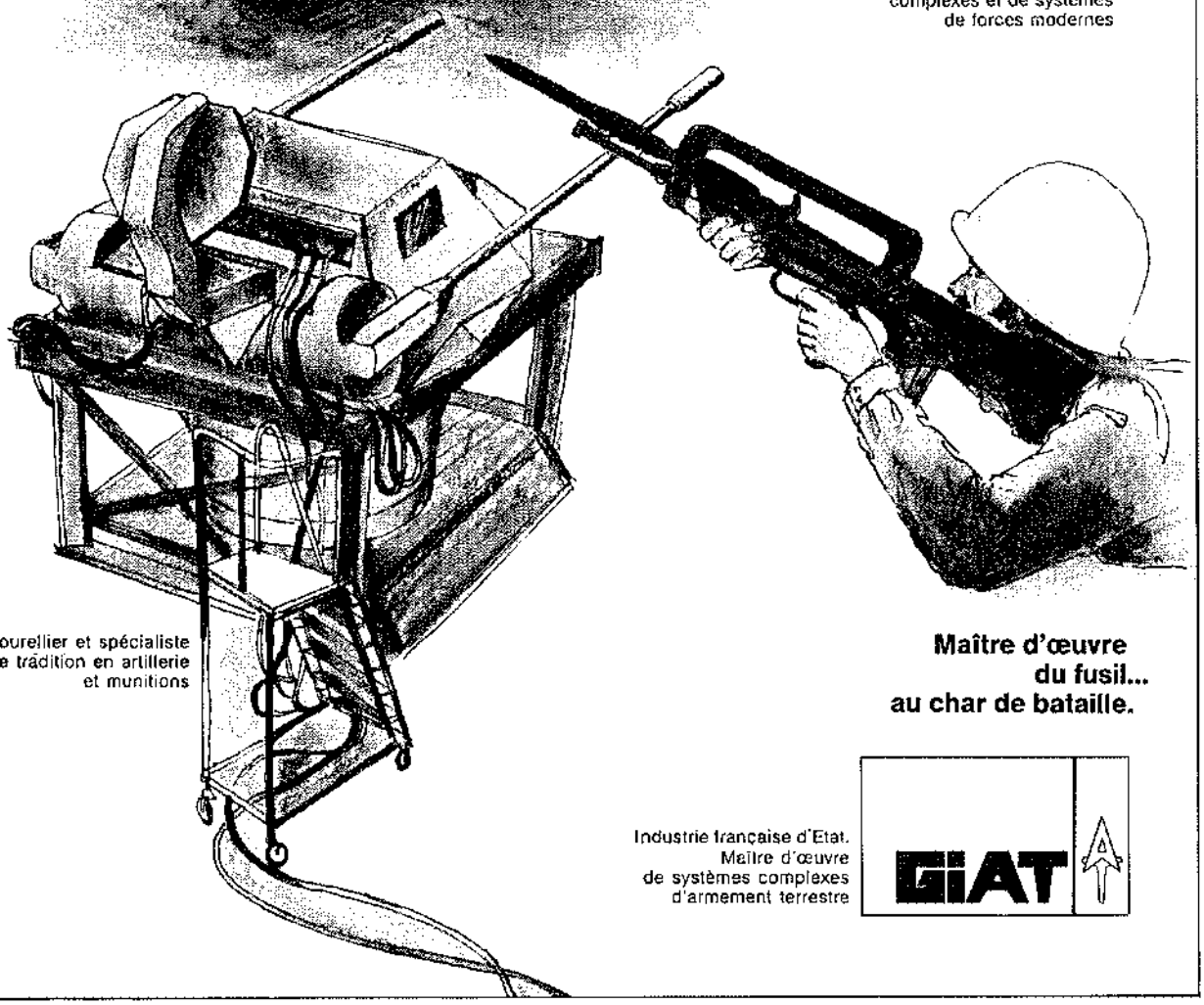
GIAT: un potentiel
de conception, de maîtrise d'œuvre, de production

Groupement Industriel d'Etat,
instrument de la politique d'indépendance de la France,
le GIAT avec ses 17 000 personnes dont 2 500 ingénieurs
et techniciens, ses dix centres d'étude et de fabrication,
est un grand Européen de la mécanique de précision.
Maître d'œuvre de systèmes complexes élaborés
et fabriqués en série pour les Etats-Majors français,
il propose à ses clients étrangers des armements
de haute qualité éprouvés par l'Armée française
et intégrés dans des systèmes de forces
adaptés aux conditions particulières de leur défense.





Concepteur et réalisateur
de systèmes d'armes
complexes et de systèmes
de forces modernes



Tourellier et spécialiste
de tradition en artillerie
et munitions

**Maître d'œuvre
du fusil...
au char de bataille.**

Industrie française d'Etat.
Maître d'œuvre
de systèmes complexes
d'armement terrestre

GIAT

ASSURANCE/X

Depuis le 1er avril 1977, l'A.X. propose aux anciens élèves de l'École Polytechnique d'adhérer à un contrat d'assurance leur garantissant, en cas de décès avant 65 ans, le versement d'un capital.

Les spécifications détaillées du contrat ont paru dans le numéro 321 de Juin-Juillet 1977, aux pages 30 à 33.

Les Camarades intéressés nous renverront la demande d'adhésion suivante et recevront le dossier médical à remplir. Le montant de la prime leur sera indiqué après acceptation par la compagnie d'Assurance de leur dossier, l'adhésion prenant effet le jour de réception de cette prime. A titre indicatif, les camarades trouveront dans le numéro 326 le montant des primes pour l'ensemble de l'année 1978

L'A.X. est à votre disposition pour tous renseignements complémentaires.

DEMANDE D'ADHESION AU CONTRAT D'ASSURANCE COLLECTIVE EN CAS DE DECES SOUSCRIT PAR LA SOCIETE AMICALE DES ANCIENS ELEVES DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE

NOM ..... Prénoms ..... Promotion

Date de naissance .....

Adresse .....

Le capital garanti est fixé à : ..... F

Ce capital sera / ne sera pas (1) doublé en cas d'accident et triplé en cas d'accident de la circulation

(1) Rayer la mention inutile

Bénéficiaire désigné en cas de décès : .....

En cas de décès le capital est servi au bénéficiaire désigné, ou à défaut, par priorité : au conjoint survivant non divorcé, ni séparé de corps judiciairement ; à défaut aux enfants de l'assuré ; à défaut à ses héritiers ou à ses ayants-droit ou enfin, à défaut à la Caisse de Secours de l'Association.

Fait à ....., le .....

Signature de l'assuré
précédée de la mention manuscrite
« lu et approuvé »

LA VIE DE L'ASSOCIATION

A.X. Secrétariat-général, 17, rue Descartes, 75005 Paris. Tél. 325.32.83. Adresse postale : B.P. 9005, 75223 Paris Cédex 05. C.C.P. 21.39 Paris. Ouvert de 9 h à 12 h 30 et de 14 h à 18 h (sauf samedi). J.-P. Callot (31) Délégué général.
A.X. Bureau d'information sur les carrières, 12, rue de Poitiers, 75007 Paris. Ouvert de 10 h à 12 h (sauf samedi) et sur rendez-vous. H. Baudrimont (35).Tél. 222.76.27.
A.X. Commission du Bal de l'X, 12, rue de Poitiers, 75007 Paris. Tél. 548.74.12. C.C.P. 13.31882 Paris.
Crédit X, 12, rue de Poitiers, 75007 Paris. Tél. 222.76.27. C.C.P. Paris 702.8.41.N. Ouvert de 15 h à 18 h (sauf samedi). H. Baudrimont (35).
G.P.X., 12, rue de Poitiers, 75007 Paris. Tél. 548.52.04. C.C.P. 21.66.36. Paris.
Maison des X, 12, rue de Poitiers, 75007 Paris. Tél. 548.41.66. C.C.P. 53.949. Paris.
Résidence polytechnicienne de Joigny (Yonne), 19, faubourg de Paris, 89300 Joigny. Tél. (86) 62.12.31.

Le déjeuner des Présidents, du 25 novembre 1977.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Procès-verbal
de la séance
du 24 octobre 1977

La séance est ouverte à 18 heures, à la Maison des X, sous la présidence de d'Orso (33), président de l'A.X.

Etaient présents :

MM. Laplace (43), Malaval (52), Bégon-Lours (62), vice-présidents ; Gresse (61), secrétaire général ; Aubert (34), secrétaire général adjoint ; Testut (31) trésorier ; Castelnau (57), trésorier adjoint.

MM. Roy (17), Gaspard (20 N), Panié (23), Bensussan (27), Thouvenot (27), Gasquet (29), Bouyssonnie (39), Leveugle (43), Marchal (46), Bouttes (52), Moutton (53), Cl. Moreau (58), Pélier (58), Granboulan (63), Lafourcade (65), Bréfort (66), Vaillant (68) Naigeon (69) et Madame Couffin (72).

Excusés :

MM. Cara (62), Clerget (24), M. Dhellemmes (36), Jacques Dhellemmes (70), Fiastre (71), Hüe de la Colombe (35), Mouchez (51), de Vulpian (55).

Assistaient à la réunion :

M. le Général Cazelles (31), ancien Président ;

M. Hamy (67), Président des Y ;

MM. Callot (31), délégué général ; Baudrimont (35), Chargé du Bureau des Carrières.

Invités à la réunion :

MM. Pasquet (39), Président de la Conférence des Grandes Ecoles ; Charles Prévot (66) du Cabinet de M. Stoléru Secrétaire d'Etat à la Condition des Travailleurs Manuels

Le président d'Orso remercie Pasquet et Prévot qui ont bien voulu se rendre à l'invitation du Conseil pour l'informer des modalités du projet d'ouverture des Grandes Ecoles aux bacheliers du technique.

Prévot situe rapidement le projet dans le cadre de la politique de revalorisation du travail manuel ; ce projet procède du souhait d'uniformiser les débouchés de l'enseignement technique et de l'enseignement général, en premier lieu ; de la volonté de mélanger des cadres de formations générale et technique, en second lieu. Pour traduire cette volonté d'ouverture, trois groupes de travail ont été mis en place, concernant les écoles d'ingénieurs, de gestion et d'aministration ; ils ont remis leurs rapports l'an dernier. Le groupe concernant les écoles d'ingénieurs était présidé par M. Pasquet.

Pasquet expose les études poursuivies par son groupe pour appliquer une décision du Conseil restreint du 16.12.1975 qui prévoyait d'ouvrir les Grandes Ecoles aux élèves du technique, dans des proportions de 10 % en 1978 et de 20 % en 1980. Le groupe a étudié le programme des classes préparatoires à créer et les modifications à apporter aux concours des Ecoles concernées. Voici ses conclusions :

L'ouverture des Grandes Ecoles d'ingénieurs a pour objet de valoriser l'enseignement technique, mais aussi de donner une place accrue aux préoccupations technologiques dans la formation des ingénieurs. Elle suppose que l'on s'intéresse à l'ensemble des bacheliers techniciens, c'est-à-dire, suivant la terminologie actuelle, non seulement aux bacheliers E, mais encore aux bacheliers F. Elle exige un effort d'orientation et de sélection dès la classe de 3e, de telle manière que les diverses finalités des bacs techniques ne soient pas perdues de vue. Elle passe par la création de classes spéciales préparatoires.

En ce qui concerne les concours, le Groupe de travail s'est posé la question de savoir s'il fallait recourir à un concours spécial, comme il en existe déjà dans certains cas, ou modifier chacun des concours par l'introduction d'une option technologique. Il a opté pour la seconde formule qui devait permettre de mieux suivre les nouveaux élèves et de les comparer dans le temps à ceux issus des options classiques M, M', P, P', grâce aux épreuves communes à toutes les options.

Le groupe a exclu de son étude le cas de l'X, pour différentes raisons : pas d'enseignement technique - niveau particulièrement élevé en mathématique - cursus limité à deux ans, dont 18 mois de tronc commun seulement.

Le Conseil de l'X avait d'ailleurs demandé à étudier lui-même son problème particulier, et la solution qu'il a adoptée consistera à utiliser l'option technologique du concours commun aux sept écoles (Mines, P.C., ENSTA, etc..), le jury de l'X se réservant la fixation de la « barre ». L'X envisagera parallèlement d'utiliser plus largement les possibilités existantes (concours spécial de 1959, admission des médaillés des Arts et Métiers). Le décret qui paraîtra incessamment * comportera un assouplissement des dipositions initialement prévues en ce qui concerne les quotas et le calendrier. L'expérience sera suivie, pour que les redressements qui pourraient paraître nécessaires soient effectués.

Le Président informe le Conseil de ce que le Bureau avait eu un précédent contact d'information avec Pasquet et Prévot, et qu'à la suite de ce contact il avait écrit au Premier Ministre et au Ministère de la Défense pour « insister sur la spécificité et la singularité du cas de l'X. Les réponses à ces lettres ne sont pas, à ce jour, parvenues. Il invite ensuite les camarades à poser, s'ils le jugent utile, des questions aux invités du Conseil.

Un camarade demande à Pasquet si les « techniciens » admis à l'X seront en mesure de suivre tous les cours, ceux de M. Schwartz par exemple.

Pasquet répond que, de façon générale, des rattrapages seront organisés dans les Ecoles. Mais il rappelle que son groupe de travail n'a pas envisagé le cas de l'X. Un camarade précise l'attitude du Conseil de l'X : il est prévu que les nouveaux élèves devront avoir un niveau suffisant pour qu'une formation complémentaire en trois mois les mette en mesure de suivre tous les cours. Pour répondre à certaines questions, Pasquet précise qu'il y aura un certain nombre de places prévues (5 par exemple pour la 1re année), mais que le jury demeurera souverain en ce qui concerne l'attribution ou non de ces places. Un camarade craint que cette méthode n'entraîne un certain favoritisme. Un autre constate que depuis 1959 les options ou voies particulières se multiplient. Ceci ne procède-t-il pas d'une volonté de démanteler le concours ? Quand il y aura 300 voies pour entrer à l'X, que restera-t-il du concours ?

Prévot fait remarquer que les méthodes prévues laisseront aux Ecoles une plus grande maîtrise dans le recrutement que le concours de 59. Celui-ci sera toutefois maintenu, parallèlement, pour le moment. Pasquet fait remarquer que, dans certaines écoles d'ingénieurs, les voies de recrutement sont déjà très diverses.

Un camarade évoque le cas de l'Inspection des Finances, qui a perdu son recrutement par concours à la suite d'une obstruction à la diversité d'accès.

Pasquet s'étonne de ce qu'on fasse état du risque d'abaissement du niveau de l'Ecole, mais qu'on ne se pose pas la question de savoir si ce nouveau recrutement n'allait pas lui amener d'excellentes têtes.

Un camarade fait remarquer à Pasquet que les recrutements diversifiés de certaines écoles font tous, finalement, appel à d'anciens taupins. Pasquet reconnaît qu'un élève qui a fait de bonnes Spéciales s'en tirera mieux qu'un autre ayant suivi un cursus amont différent. C'est pourquoi la réforme prévoit la création de nouvelles classes préparatoires.

Un camarade demande selon quel critère on a fixé des pourcentages de 10 et 20 %. Il pense que des pressions auront lieu sur les Ecoles pour que les contingents globaux prévus soient admis. Prévot précise que ces pourcentages ne sont que des bases de travail, qui permettront, en particulier, de fixer le nombre de classes préparatoires. Les pourcentages ne sont pas contraignants. L'opération sera suivie, et ce n'est que dans 4 ou 5 ans qu'on pourra l'ajuster.

Un camarade fait remarquer que si l'X est incluse dans le projet, malgré des difficultés évidentes, c'est pour servir de locomotive. Mais on trouve de fâcheux exemples dans le passé : L'X devait servir de locomotive pour entraîner d'autres écoles à Palaiseau ; elle y est allée seule. Il regrette que l'Ecole Normale Supérieure n'ait pas été choisie comme deuxième locomotive, pour aider à tirer le projet.

* il a paru le 14 novembre (J.O. du 15 novembre (décret 77.1247)

Un camarade souligne qu'appliquer les nouvelles mesures à l'Ecole Polytechnique dès le départ introduira une confusion et une difficulté supplémentaires.

Un camarade propose une réflexion sur le fond : dans le souci de revaloriser l'enseignement technique, on se propose d'ouvrir davantage aux bacheliers qui en sont issus les écoles d'ingénieurs. C'est une attitude mandarinale qui consiste à récupérer dans les filières intellectuelles les meilleurs des filières manuelles. Il serait bien préférable d'avoir une attitude maoïste sur cette question, en faisant réaliser des travaux manuels aux élèves des universités et des écoles d'ingénieurs. Mais surtout, au regard de son objectif, un écrémage nouveau des filières techniques aura pour effet d'abaisser, et non de revaloriser, le diplôme de technicien : seuls les laissés pour compte auront ce diplôme, les meilleurs devenant ingénieurs. Il faut, à son avis, examiner cette question à un autre niveau, qui n'est pas celui des débouchés en fin d'enseignement mais celui des possibilités de promotion en cours de carrière.

Un camarade demande pourquoi ne pas ramener plus tôt à l'enseignement général les éléments engagés à tort dans l'enseignement technique.

Pasquet répond qu'il serait dommage de tirer un trait sur l'ensemble des acquis technologiques de ces éléments. Il conclut que le projet discuté est un projet ambitieux, qui présente de grandes difficultés de réalisation (tout particulièrement en ce qui concerne l'X) mais que des précautions nombreuses ont été prévues telles que la limitation des places offertes, la souveraineté des jurys à l'intérieur de ces places offertes, une progressivité dans le déroulement de l'opération, un suivi tel qu'il est explicitement prévu une révision du dispositif, si besoin est.

A côté de cela, il y a ce grand objectif : élever les meilleurs quelle que soit leur origine, au plus haut niveau possible, grâce à un dispositif adéquat d'orientation, de formation et de sélection. Tout système éducatif doit se donner ce but-là.

Prévot approuve cette conclusion qui montre à la fois les difficultés et les objectifs du projet.

Un camarade insite sur le fait que, lorsqu'on évoque le bac technique, il faudrait tout de même préciser de quoi on parle. Il y a le bac E qui alimente le concours de 59, et les classes T qui fournissent les Arts et Métiers, mais il y a aussi les bacs F, G, H et T'.

Que se passe-t-il actuellement avec les classes préparatoires spéciales ? Les élèves du bac E ont deux ans qui comportent, en grande partie, un rattrapage en maths et en physique, ce qui permet à ceux qui entrent dans les Ecoles, notamment à l'X, de s'en tirer honorablement. Il n'y a pas de problème de ce côté, ni aucune différence à la sortie. Mais le projet, tel qu'il est présenté, comporte des classes préparatoires type TA. D'après ce qui a été publié, on met ces classes TA en correspondance avec un certain nombre de bacs F. Ces classes ne comportent pas de rattrapage en maths et en physique, puisqu'une partie de la motivation est qu'elles doivent servir à maintenir un acquis technique. On n'aura pas à la sortie de ces classes le niveau atteint dans les classes recrutées en E.

Il y a là un certain problème. Si c'est assez facile en ce qui concerne les Ponts qui comportent trois ans d'étude et qui forment à un métier où cet acquis technologique a une valeur, dans le cas de l'X on se trouve dans une situation invraisemblable. Il est bien certain que les élèves qui vont entrer, s'ils n'ont pas un niveau suffisant en maths et en physique, ne vont pas pouvoir rattraper en trois mois, étant donné la charge de travail, et on risque un échec.

Un camarade estime que les mesures de type publicitaire envisagées ne sont pas les meilleures possibles. Il faut faire entrer les élèves du technique dans les Ecoles qui correspondent à leur niveau ; ce ne serait pas un bon service à leur rendre que de les faire entrer par force de loi dans des Ecoles d'un niveau supérieur.

Prévot fait remarquer que l'on avance sans preuve que le projet implique un pari perdu d'avance. Il faut bien considérer que, sur les 20 000 bacheliers E et F, il en est de fortement motivés. De plus, le système sera très progressif. Le pari de l'ouverture de l'X est aussi valable que celui de sa fermeture.

Un camarade, revenant sur la question du rattrapage au cours des trois premiers mois d'étude à l'Ecole, estime que ce projet, compte tenu de la charge de travail actuelle, n'est pas sérieux. Pourquoi ne pas faire ce rattrapage avant d'entrer à l'Ecole, pendant une année durant laquelle ces « novices » seraient pris en charge par l'Etats ?

Un camarade fait remarquer que les projets en cours ne sont pas favorisés par la dégradation de l'enseignement technique. L'inflation des titres a conduit à des bacalauréats qui ont le niveau de C.A.P.

Prévot répond que raisonner globalement sur une mesure qui ne va concerner qu'un petit nombre de bacheliers techniques, en se fondant sur le niveau moyen des bacheliers techniques, ne veut rien dire.

Un camarade fait la remarque suivante : les élèves reçus à l'X sont de plus en plus concentrés dans un petit nombre de taupes. Cette concentration est un élément de leur succès. Les candidats prenant la voie technique souffriront de leur isolement. On ne les avantage pas en créant à leur intention une filiale spéciale, au contraire.

Interruption de séance.

Un camarade demande que le Conseil, informé par les exposés qui précèdent, vote une mention pour ou contre le projet. Le Président estime qu'une telle procédure ne lui paraît pas opportune, aussi longtemps que le Premier Ministre et le Ministre de la Défense n'auront pas répondu à la lettre qu'il leur a adressée.

Un camarade propose la motion d'attente suivante :

1. Les anciens élèves de l'École Polytechnique ne sont pas hostiles à l'entrée à l'École des élèves ayant une formation technique et le goût de la technique. -
2. L'École Polytechnique ne peut accepter aucune mesure qui abaisserait le niveau de son École, étant entendu qu'on ne fait pas de distinction au point de vue de la valeur de l'homme entre les sciences abstraites et les sciences techniques.

Finalement, après lecture de la lettre du Président au Ministre de la Défense (cf J.R. n° 325, page 17), le Conseil unanime décide d'attendre la réponse du Ministre avant de prendre position (à condition que cette réponse ne tarde pas trop).

2. Institut Auguste Comte pour l'étude des Sciences de l'Action

Un camarade fait le point de la situation.

La nomination du Président du Conseil propre à l'Institut aura lieu incessament.*

L'Institut devrait ouvrir le 1er octobre 1978.

En ce qui concerne l'attribution des surfaces sur la Montagne Ste Geneviève, le Président de la République a indiqué que le Collège de France en occuperait 10 000 m², sur une surface développée de 62 500.

Sur les 52 000 m² restants, la Défense Nationale installera quelques logements de fonction ; l'essentiel sera disponible pour l'Institut (Joffre, Foch, Monge, Boîte à claque, Boncourt, bâtiment administratif, amphis Gay-Lussac et Poincaré).

Les actions de l'A.X. et de son Président ont été nombreuses en faveur de cet Institut dont la réussite serait favorable au rayonnement de l'École. Le président a rencontré notamment le Secrétaire général du Gouvernement, l'Administrateur du Collège de France. Il a écrit au Premier Ministre. Un groupe de réflexion « L'Ingénieur et la Société » a été organisé ; ce groupe a tenu, depuis le mois de décembre 1976, cinq séances ; il est présidé par René Mayer (47) ; des personnalités diverses, en majorité non polytechniciennes, en font partie.

Le groupe a examiné des questions générales, des questions de nature philosophique. Il s'est attaqué au concret pour ne pas rester confiné dans des préoccupations spéculatives. Des personnalités telles que MM. Giraudet, Berthon, Louis Lacoste, Coudray etc... présentent au groupe des cas concrets, de nature complexe, comportant des aspects sociaux, financiers, commerciaux, qui pourront constituer un début de portefeuille pour la Direction quand celle-ci sera en place et que l'enseignement démarrera.

Le Président fait remarquer que le travail effectué a été demandé verbalement à l'A.X. par les services du Premier Ministre. Il constate que ces discussions suscitent un grand intérêt et provoquent des suggestions de la part de nombreux camarades.

Le problème qui apparaît maintenant est celui de la création d'une association de soutien à l'Institut. Le Président expose les différentes solutions qui pourraient être envisagées dans un premier temps, particulièrement en ce qui concerne les fondateurs : personnes morales ou personnes physiques ? Quelles personnes morales ? A.X., autres associations d'anciens élèves, Chambre de commerce, ISA, C.P.A. ?

Finalement, le Conseil vote sur l'opportunité de créer une association de soutien à l'Institut dont l'A.X. serait la première personne morale fondatrice. Le principe de cette création est approuvé (pour : 22 ; abstentions : 4, contre 0).

* Un communiqué du 9 novembre a annoncé que le président serait M. Roger Martin (35)

3. Défense des Grandes Écoles

Le Président informe le Conseil qu'il a écrit aux sept responsables des principales formations politiques françaises pour leur exposer les préoccupations de l'A.X. face à certains projets visant à l'intégration des Grandes Écoles dans l'Université, ou peut-être même à leur suppression. Cinq de ces responsables ont répondu (leurs lettres sont lues) ; deux n'ont pas répondu. Le Président aurait souhaité un débat commun sur cette question ; mais les partis, à l'exception d'un seul (P.C.) se sont récusés, préférant le dialogue bipartite.

Dans le même temps, les associations d'anciens élèves d'un certain nombre d'Écoles d'ingénieurs et d'Écoles d'administration et de gestion (E.N.A., H.E.C., ESSEC) ont pris une initiative analogue à celle de l'A.X., chargeant de sa concrétisation le Comité National de Développement des Grandes Écoles (CNGE) créé il y a une dizaine d'années, à l'initiative de Jouven (27) et actuellement présidé par Varoquaux (37). Varoquaux a établi une commission présidée par Chenevier (37), où l'A.X. est représentée par Callot (31) qui a adressé un questionnaire aux différents partis, qui discutera avec ceux-ci leurs réponses, et qui les publiera. Dans ces conditions, l'A.X., qui participe à l'opération « C.N.G.E. », et qui en fera connaître les résultats, abandonne son initiative particulière.

Un camarade demande la raison pour laquelle on a adopté une procédure aussi complexe. Le Programme Commun est très clair, et implique la suppression des Grandes Écoles. Pourquoi ne pas écrire aux signataires du Programme Commun, leur demander s'ils n'ont pas modifié leurs intentions, et publier leurs réponses ? Il est répondu à ces camarades que les menaces ne viennent pas toutes du même côté.

4. Liaison entre le grade des Élèves à la sortie de l'École et l'obtention du titre d'ancien élève

Le Président indique que cette question qui avait préoccupé l'A.X. est moins brûlante aujourd'hui, - le cas des élèves de la 76 concernés ayant été réglé favorablement - mais qu'elle n'est pas réglée au fond. Il indique les arguments qu'il a présentés dans sa lettre au Ministre de la Défense. Le Ministre a fait valoir que, par suite du rattrapage possible à l'École, aucun élève n'avait été pénalisé à ce jour, mais il n'a pas modifié son interprétation de la loi du 15 juillet 1970.

Un camarade estime que la menace, qui subsiste, est de nature à dresser les élèves contre le statut militaire, ce que le Conseil ne souhaite pas. Il serait donc opportun de consulter un grand juriste sur l'interprétation de la loi.

Un autre camarade demande : veut-on régler un point de droit ou un fait ? Le problème ne se posant pas actuellement, une initiative est-elle opportune ? Mieux vaudrait, si un jeune camarade est concerné, l'appuyer à ce moment, y compris par voie juridique.

5. Situation financière de l'A.X.

Celle-ci n'appelle pas de commentaire particulier. Mais le Président informe le Conseil de ce qu'il a créé une petite commission officieuse pour étudier la possibilité d'améliorer le rendement du portefeuille de l'A.X. tout en assurant sa sécurité.

6. Publication se l'A.X.

L'annuaire doit sortir avant la fin du mois (novembre) ce qui représente un gain de près de deux mois par rapport à l'année dernière. Le résultat de la publicité est en augmentation de 20 000 F environ, bien que les tarifs n'aient pas été modifiés. Les ventes au numéro sont très satisfaisantes.

En ce qui concerne le J. & R. la régularité de la parution est à nouveau réalisée. La publicité pose un problème qu'il est nécessaire de résoudre rapidement.

7. Démission d'un administrateur

Le président lit la lettre de démission de Vinçotte (28), qui, malgré la vivacité de certaines de ses interventions, ne laissera au Conseil que des amis et des regrets.

8. Nomination d'un nouveau membre de la Caisse de Secours

Le Conseil nomme à l'unanimité Pierre Vidal (31), membre de la Caisse de Secours, à laquelle il apporte, par son dévouement et sa compétence, une aide considérable.

9. Approbation du P.V. de la précédente réunion

Le procès-verbal est approuvé à l'unanimité.

En terminant, le Président rend hommage à Dhellemmes (36) qui a mené à bien la rénovation des caves de la Maison des X (le Styx) et qui a organisé, à l'occasion de leur inauguration, une brillante réception à laquelle il a invité des représentants de chaque promotion, afin qu'ils fassent connaître les nouvelles possibilités de cette Maison qui est celle de tous les Polytechniciens.

La date du prochain Conseil est fixée, en principe, au 6 janvier.

CAISSE DE SECOURS

Procès verbal de la Réunion du Comité de Gestion de la Caisse de Secours du 15 septembre 1977

La séance est ouverte à 17 h 45 par le Président d'ORSO.

Étaient présents :
Zédet (14), Vice-Président, Testut (31), Trésorier, Pommier (19S), Bernard (20S), Caillez (20N), Lemouchoux (26) Mouton (29), Deveaux (30), Saint-Guilhem (30), Tranié (31) Dhellemmes (36), Delacarte (47).

Excusés :
Ziégel (18), Gondinet (19N), Ruffel (19N), Avril (21), Dulac (21) Charlet (36), Duval (36), Doyon (55).

Invité :
Vidal (31)

Secrétaire :
J.P. Callot (31) Délégué général

1. Le P.V. de la réunion du 30 juin est adopté à l'unanimité.

2. *Correspondants locaux :*
de nouvelles acceptations ont été reçues par le Comité :
- Lot et Garonne : Stroh (31)
- Pyrénées Orientales : Troy (17) et Reffay (31)
- Savoie : Charles (32)

3. Le Comité décide de poursuivre sa recherche d'une Assistante sociale.

4. *Bureaux de tabac :*
Une lettre sera envoyée à toutes les personnes secourues dont la part de redevance de bureau de tabac n'a pas été revalorisée depuis deux ans, afin qu'elles fassent la démarche au plus tôt. Un modèle de lettre à adresser au Ministre de l'Économie et des Finances sera joint.

5. *SECOURS*
Il est décidé d'envoyer si possible début octobre le questionnaire destiné à obtenir les renseignements en vue des secours à attribuer pour 1978. Il est en effet souhaitable que ceux-ci soient fixés avant fin décembre.
De légères modifications sont à apporter au questionnaire actuel afin d'obtenir des renseignements plus précis sur différents points.

51 - Un camarade handicapé habite actuellement un étage élevé sans ascenseur : le rapporteur suit de près la situation pour être en mesure de lui trouver un appartement au rez-de-chaussée.

52 - Un secours d'urgence de 9 000 F est accordé à la veuve d'un camarade récemment décédé, ayant plusieurs enfants poursuivant leurs études.

53 - La Caisse de Secours vient d'être informée du décès subit d'un camarade ; un rapporteur a été désigné pour prendre contact avec la famille.

54 - Un secours provisoire mensuel de 500 F a été prolongé pour un an au profit d'une veuve ayant de lourdes charges familiales.

55 - Zédet signale que Duval a fait les démarches nécessaires pour que la pension de reversion soit réglée à la veuve d'un camarade.

6. *PRÊT :* Un prêt de 24 000 F a été entièrement remboursé.

GROUPES X

X-Littérature

Dîner du groupe : Mardi **14 février** 1978, Maison des X, au STYX. Mettons, cette fois-ci, l'apéritif à 18 h 30, étant donné l'agrément du lieu. Dîner à 20 h comme d'habitude.

Pas de sujet au programme pour l'instant mais toute suggestion sera la bienvenue.

X AIR-ESPACE

Réunion du 6 décembre 1977. Sous la présidence d'Usunier (42), notre camarade Husson (57), Directeur du Centre Spatial de Toulouse, du Centre National d'Études Spatiales, nous a fait un exposé sur « Le programme français d'observation de la Terre : le projet national S.P.O.T. » Il s'agit du Satellite Probatoire d'Observation de la Terre.

Ce satellite, qui sera lancé par ARIANE, est capable de nombreuses missions concernant : ressources terrestres, agriculture, météorologie, océanographie, etc. ; son pouvoir de résolution — de l'ordre de 5 m pour une altitude d'environ 1 000 km — est très largement supérieur aux performances du satellite américain Land Sat, dont les possibilités nous ont été montrées par HUSSON sous forme de nombreuses diapositives. Il nous a également été précisé : les caractéristiques de SPOT, son architecture générale, et sa charge utile (650 kg).

Premier lancement : deuxième semestre 1983.

L'exposé a été suivi de la période habituelle de questions et réponses, particulièrement animée ce soir là.

GROUPE X DE L'EST

Le Groupe X de l'Est (Meurthe-et-Moselle, Vosges et Meuse) a eu le plaisir d'accueillir le Président d'Orso à son Assemblée générale, qui s'est tenue le 9 décembre dernier à Nancy, sous la présidence de Tommy Martin (34).

Après dîner, les membres du Groupe et leurs familles ont visité, sous la conduite du Président d'Orso, la nouvelle imprimerie du Figaro à Jarville, où ils ont assisté à l'arrivée par télélecture du quotidien composé à Paris, ainsi qu'à son impression, dans des délais records, permettant aux lecteurs régionaux de bénéficier, en début de matinée, des mêmes informations que les lecteurs parisiens.

Le Secrétaire, Jean Boissière (49), ayant demandé à être déchargé de ses fonctions, il sera remplacé par Maurice Grandpierre (46).

Gilles Vaillant (68) reste Trésorier.

PROMOTIONS

1919 Sp

Prochain déjeuner trimestriel avec épouses le samedi **11 mars** 1978, à l'École Polytechnique à Palaiseau, à 11 h 45.

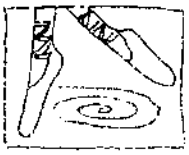
En envoyant adhésion à : Babinet, 41, rue de Villiers, 92202 Neuilly/Seine. Téléphone 758 11 62, indiquer si l'on peut offrir des possibilités de transport ou si l'on est, au contraire, demandeur éventuel d'une ou deux places dans la voiture d'un camarade.

RESIDENCE DE JOIGNY

Nous avons le plaisir d'adresser nos très vives félicitations à Mademoiselle Haquin, Directrice de la Résidence des Polytechniciens, à l'occasion de sa nomination au grade de Chevalier de l'Ordre National du Mérite.

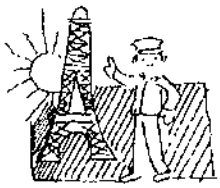
Les insignes de cette distinction lui seront remis, le 21 janvier 1978, par notre camarade, André Giraud (44), Président du Conseil d'Administration de l'École Polytechnique, en présence de d'Orso (33) Président de l'A.X. et du camarade Auberger (61), Maire de Joigny.

Soirée chansonniers : Mardi 14 février à 21 h.
Nous vous invitons à passer une agréable soirée à Pigalle. Cette soirée débutera dans la bonne humeur par un **Spectacle de Chansonniers** et se terminera par un **Sympathique souper dans un restaurant voisin.**
Programme :
- de 21 h. à minuit : Revue « Aux Urnes Citoyens » aux Deux Anes
- minuit : Souper au Restaurant « Le Cyrano ».



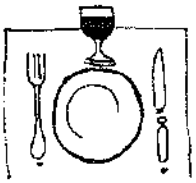
Soirée dansante : Chandeleur.
La prochaine soirée dansante aura lieu le 9 février à 20 h 30 au Styx de la Maison des X.

Cours de danse :
Les cours de danse, qui ont débuté en janvier, continueront à avoir lieu les mercredis suivants : 1er, 8, 15, 22 février ; 22 et 29 mars et 5 avril.

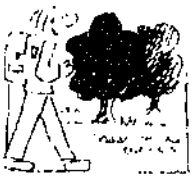


Visite technique : Mercredi 29 mars : Visite du Navire Câblier « Le Vercors » à Calais.

Visites commentées :
Des visites ont lieu régulièrement les mercredis et jeudis. Nous vous proposons de visiter les expositions nationales temporaires ainsi que des expositions permanentes dans les musées nationaux (ex. le portrait à travers la peinture en 3 visites, la peinture espagnole, la peinture flamande...).



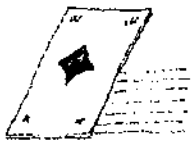
Diners-Débats
Jeudi 9 mars : Pierre Cardin
Avril : Pierre Salinger.
16 février : Audoin Dollfus.



Promenades : 5 février avec Gilles Moreau (58) :
« Ruines romaines de Champlieu et le sud de la Forêt de Compiègne. « environ 18 km. (possibilité de raccourcir en distance et temps).
Rendez-vous : Gare du Nord à 9 h.
Départ du train : 9 h 13 vers Crépy en Valois
Arrivée 9 h 50.
dans la cour de la gare : départ en autobus à 10 h - arrivée à Béthisy St-Pierre à 10 h 24
Retour à PARIS : Train à la Croix Saint-Ouen :
départ 17 h 32 - Arrivée Paris-Nord : 18 h 48.

Pas de promenade en mars (les dimanches étant tous bloqués soit pour vacances, soit pour élections, soit pour fêtes).

Cours de bridge :
Les cours de bridge ont lieu régulièrement chaque mardi après-midi et mercredi soir.



Tournois de bridge :
Le prochain tournoi aura lieu le samedi 18 février à la Maison des X.

Groupe X-bridge compétition :
Si vous aimez participer à des tournois par paires ou par équipes de 4, vous pouvez le faire en adhérant à la section « Bridge de Compétition » du GPX, qui organise au moins un tournoi par semaine dans une sympathique atmosphère de camaraderie. Pour tout renseignement adressez-vous à Praquin (32) 66, rue de la Pompe 75016 tél. 504.81.96.

Voyages :
27 février-7 mars : Voyage à Ceylan
24-27 mars : Week-end à Munich
1er avril : Wenk-end dans le Bordelais.
2e quinzaine d'avril : Voyage aux Canaries
28 avril-8 mai : Voyage en Andalousie et au Maroc
11-22 mai : Voyage en Turquie Orientale
26-29 mai : Week-end à Stockholm

Séjours à La Plagne :
Les camarades intéressés par un séjour à la Plagne peuvent choisir une des trois formules suivantes :
1. séjours organisés par eux-mêmes : réduction de 10 % sur les forfaits remontées mécaniques,
2. Séjours « tout compris » (comprenant location de l'appartement, linge, forfait ski, location de skis et de chaussures, cours de ski plein temps 4 h./jour) du 8 janvier au 11 février et du 16 au 29 avril (arrivée le dimanche matin, départ le samedi soir suivant).
3. séjours « logement et forfait ski » : du 19 au 25 février uniquement, par appartement de 4 personnes.

CARNET POLYTECHNICIEN

1900

Décès : 6.12.77, André **Baudin,** général de division 2e S.

1909

Naissance : 16.8.77, Mme Émile Fiquemont f.p. de la naiss. de son arrière-petit-fils, Benoît Fiquemont.

1914

Décès : Pierre **Blanchet** f.p. du décès de son épouse le 6.12.77.
- 9.12.77, Raymond **Malet,** père de Philippe **Malet** (44)
- Georges **Kunstler** f.p. du décès de son frère Charles, de l'Institut (Académie des Beaux-Arts) le 22.11.77

1919 Sp

Décès : 14.6.77 Gabriel **Fosse,** chef de bataillon hon.
- 28.11.77, André **Pétel**

1919 N

Naissance : 17.11.77, Mme André Richard f.p. de la naiss. de son 16e petit-enfant, Arnaud de Verdelhan des Molles

1920 Sp

Mariage : 3.12.77, **Duhem** f.p. du mariage de sa petite-fille, Sabine, avec Xavier Durbecq.

1920 N

Décès : 11.12.77, Henri **Seguin,** Colonel honoraire.

1921

Naissance : 12.11.77, Victor **Vigneron** f.p. de la naiss. de son petit-fils, Grégoire, fils de Jacques **Vigneron** (61)
Mariage : 9.12.77, **Carru** f.p. du mariage de son petit-fils, Olivier Carru, avec Mlle Kathrin Alechine.

1922

Décès : 28.11.77, Pierre **Gaume**

1923

Décès : 5.12.77, Albert **Bischoff,** anc. ing. G.M. industriel.
- 9.11.77, Gabriel **Guichardot,** Adm. des Stés.

1927

Naissances : **Sautereau du Part** f.p. de la naiss. de ses 14e, 15e, 16e et 17e petits-enfants : François de Loitière le 13.8.77 ; Damien Descamps, le 9.9.77, Caroline Sautereau du Part, le 27.10.77 : Augustin Butruille, le 17.12.77

1931

Naissance : 1.12.77, Jean **Devaux** f.p. de la naiss. de son 8e petit-enfant : Richard, fils de Bertrand, à Montbard.

1936

Naissance : **Duval** f.p. de la naiss. de son 13e petit-enfant, Jean-Baptiste, fils de **Duval** (62)

1939

Décès : 14.12.77, Raymond E.P. **Lecompte** cap. A.M. retr., Expert-comptable, Commiss. de Soc. (Cour d'Appel de Reims).

1942

Décès : 28.11.77, Gabriel **Walckenaer,** Ing. en chef G.M. (HC) Directeur de la Sté USINOR, beau-père de **Maublanc** (72)

Le 8 novembre 1977, est décédé, à l'âge de 89 ans, M. Pierre Chenevier qui fut, de 1913 à 1936, un célèbre professeur de Taupe, et a droit, à ce titre, à la reconnaissance de beaucoup d'entre nous.

Pierre Chenevier avait été reçu premier à l'Ecole Normale Supérieure en 1908 et premier à l'agrégation de mathématiques en 1912. Il fit la première guerre mondiale comme officier d'infanterie, fut grièvement blessé à Verdun, et décoré de la Légion d'Honneur à titre militaire.

Parmi les enfants et petits-enfants de Pierre Chenevier, on compte cinq polytechniciens : son fils Jean (37), son gendre Jacques Dontot (35), ses petits-fils : François Chenevier (64), Philippe Chenevier (67) et Etienne Chenevier (76).

1943

Mariage : **Sanner** f.p. du mariage de sa fille Arielle avec Éric de Broch d'Hotelans.

1961

Naissance : 12.11.77 Jacques **Vigneron** f.p. de la naiss. de Grégoire, frère de Claire et Anne, petit-fils de **Vigneron** (21)

1962

Naissance : **Duval** f.p. de la naiss. de son fils Jean-Baptiste, frère de Raphaël et de Marie-Chloé, petit-fils de **Duval** (36), arrière petit-fils de **Duval** (03)

1963

Naissances : 27.11.77, **Bourrel** f.p. de la naiss. de Benoît, frère de Christine, Marc, Sophie et Céline.
- 31.10.77, **Fouques** f.p. de la naiss. de Pierre-Antoine, frère de Caroline et Marie.
- 23.11.77, **Richez** f.p. de la naiss. d'Émilie et d'Antoine, sœur et frère de Sophie et Alexandre.
- 10.11.77, **Vivier** f.p. de la naiss. de Pascal et Anne-Sophie.

1964

Naissance : 22.8.77, **Bryden** f.p. de la naiss. d'Isadora, sœur de Benjamin et Pénélope.

1965

Naissance : 4.12.77, **Mouranche** f.p. de la naiss. de son fils Mathias, frère de Emmanuelle et de Xavier.
Mariage : 10.12.77, Jean-François **Viala,** fils de **Viala** (36) f.p. de son mariage avec Mlle Annie Parizot.

1969

Naissance : 9.11.77, Axel **Pavillet** f.p. de la naiss. d'Alexandra, sœur de Vanessa.

1970

Décès : François **Renvoisé** a la douleur de f.p. du décès de sa mère, le 19.8.77

1971

Naissance : 12.12.77, Patrice **Marchand** f.p. de la naiss. de sa fille Isabelle, sœur de Cécile

1972

Mariage : 12.11.77, Didier **Guy** f.p. de son mariage avec Mlle Jeannine Raffin
- 3.7.76, **De la Porte** f.p. de son mariage avec Mlle Laure Beguin-Billecocq.

Groupe PREVOIR

ASSURANCES VIE ET NUPTIALITÉ

ASSURANCES GROUPE

DEVOIR et PRÉVOYANTE

19, rue d'Aumale
75440 PARIS CEDEX 09
Tél. : 280-66-55

Groupe PREVOIR

ASSURANCES VIE ET NUPTIALITÉ

ASSURANCES GROUPE

MAURICE VOYER 1924 — GEORGES REGNAT 1936

pub. r. franck

BUREAU D'ETUDES

SOLS ET FONDATIONS

JEAN DULAU 1944

- ETUDES DE SOLS
- SONDAGES
- LABORATOIRE DE MECANIQUE DU SOL

153, AV. VICTOR HUGO - 75116 PARIS
B.P. 3 - 91620 LA VILLE DU BOIS
TEL. : 909.14.51

TECHNOSOL

cadre supérieur

130 000 + à 400 000 +

Que vous soyez Directeur Général, Directeur du Marketing, Directeur Financier, Directeur d'Usine, Directeur des Relations Humaines, etc. ou responsable d'un poste clé de votre Société, nous pouvons vous proposer à Paris, en Province, ou à l'Etranger, plus de 300 postes par an correspondant à votre niveau et publiés en **EXCLUSIVITE** dans la rubrique Dirigeants de l' "Officiel de l'Emploi et de la Formation" (revue éditée par I.C.A.).

Vous devez savoir que 80 % au moins des recherches de Dirigeants dont la rémunération moyenne atteint 198.000 F, **NE SONT PAS PUBLIEES DANS LA PRESSE,** mais confiées aux spécialistes français et internationaux de l'Executive Search (environ 18 spécialistes sur le marché français).

Seuls les Consultants spécialisés peuvent publier des offres exclusives dans notre revue ; cette formule permet aux Cadres Supérieurs en poste de s'informer **SANS RISQUE D'INDISCRETION.**

Adressez votre carte de visite et montant de l'abonnement (10 numéros = 190 F) à I.C.A., 3, rue d'Hauteville, 75010 Paris. tél. 770.02.39, 09.80, 36.77.

TARIF ABONNEMENTS ETRANGER		
ALLEMAGNE	DM	128
BELGIQUE	FB	1960
CANADA	$C	65
ESPAGNE	P	4700
GRANDE BRETAGNE	£	32
GRECE	DR	2000
ITALIE	LI	49000
PAYS BAS	FL	135
SUISSE	FS	134
U.S.A	$	60

I.C.A. PUBLIE PLUS D'OFFRES DE PLUS HAUT NIVEAU QUE TOUT AUTRE ORGANISME.

I.C.A. International Classified Advertising
3, RUE D'HAUTEVILLE - 75010 - PARIS

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES EAUX

52, rue d'Anjou, 75008 PARIS - 266.91.50

EXPLOITATION DES SERVICES DE DISTRIBUTION D'EAU

AFFERMAGE
CONCESSION
GÉRANCE

EXPLOITATION DES INSTALLATIONS

D'ÉPURATION DES EAUX USÉES
DE DESTRUCTION DES ORDURES MÉNAGÈRES
DE PRODUCTION ET DE DISTRIBUTION DE CHALEUR

GÉRANCE DE PORTEFEUILLES

Henri ROGIER

S. A. au Capital de 2.152.500 Francs

20, bd Montmartre, 75009 PARIS

✆ 770-42-97 et 770-43-18

Fondateur
Henri ROGIER (pr. 1920 sp.)

31 ANNÉES D'EXISTENCE

Président-Directeur Général
Claude PICHON (pr. 1946)

CAPITAL MINIMUM GÉRÉ : 10.000 Francs

DÉPÔT DES FONDS ET TITRES CHEZ TROIS AGENTS DE CHANGE

Envoi de renseignements détaillés sur demande

PETITES ANNONCES

Les petites annonces doivent toutes être adressées au secrétariat général de l'A.X. (17, rue Descartes, Paris (5e). Tél. : 325.32.83. poste 433). Adresse postale : B.P. 9005, 75223 Paris Cedex 05. ● Sauf les offres et les demandes de situations pour les camarades qui doivent être adressées au Bureau des Carrières (12, rue de Poitiers, 75007 Paris. Tél. : 222.76.27(. ● es textes à insérer doivent être accompagnés du montant des frais, calculé au moyen des tarifs portés en tête de chaque rubrique, la ligne représentant en moyenne 40 caractères, blancs et ponctuations compris. Mode de versement : par chèque bancaire ou virement postal à l'ordre de l'A.X. (C.C.P. 21 39 Paris). Quand les réponses doivent transiter par l'A.X. joindre, à la demande d'insertion, des timbres pour les retransmissions. Dans le cas où le paiement ne serait pas joint au texte, une taxe de 5 F sera comptée pour frais de facturation. Prière de rédiger sur des feuilles séparées les annonces destinées à passer dans des rubriques différentes. Les petites annonces sont reçues chaque mois jusqu'au 8 pour parution le mois suivant. Passé ce délai, nous ne pouvons plus garantir une insertion.

bureau des carrieres

12, rue de Poitiers, 75007 Paris
Tél. 222.76.27
Ouvert de 10h à 12 h
(sauf samedi) et sur rendez-vous.

Baudrimont (35) est à la disposition des employeurs pour toute offre pouvant intéresser les polytechniciens.
Les camarades à la recherche d'une situation, même si cela n'a pas un caractère d'urgence, ont toujours intérêt à se faire connaître, en écrivant ou en téléphonant au Bureau des Carrières. S'ils le souhaitent, ils peuvent recevoir direc tement, et sans tenir compte des délais de publication, la liste des offres récentes disponibles au Bureau des Carrières.

Offres de situation
Tarif : 15 F la ligne

Le Bureau d'Information sur les Carrières est parfois sollicité par des organismes désintéressés recherchant la collaboration bénévole de camarades, en principe retraités. Se faire connaître à lui.

L'Association Échanges et Consultations Techniques Internationales (E.C.T.I.) recherche, dans le cadre de la Coopération Technique Internationale, des ingénieurs experts bénévoles, en principe retraités, pouvant exécuter des missions, non rémunérées, mais défrayées des frais de voyage et de séjour sur place. Les camarades intéressés peuvent obtenir tous renseignements en s'adressant à BOREL (26) ECTI, 23, rue de La Sourdière, 75001 Paris. Tél. 261.18.80 et 03.79 (n° AX 5983).

1° PARIS ET SES ENVIRONS

ACTIVITES BENEVOLES. - Un camarade qui a du temps libre à donner, ne serait-ce que deux heures par quinzaine, ou dont la femme et les enfants ont du temps de libre, est souvent embarrassé pour choisir : personnes âgées, aveugles, handicapés, prisonniers ?
L'Association ZACHEE, 3, rue Molitor (16e), s'est proposée de l'orienter. Appeler ZIEGEL (18) 525.79.26, même adresse.

N° 3646 - Serti, Soc de Conseil en inform. de gestion, rech. jeunes cam. débutants ou qq, ann. d'expér. profes. désirant se former ou se perfectionner dans les techn. liées à l'emploi de syst., temps réel, etc. Écrire Schumberger (48). Serti, 49, avenue de l'Opéra PARIS (2e) ou s'ad. Bureau des Carrières.

N° 5279 - Cie Générale d'information recrute ing. confirmés ou déb. Formation ass. (2 mois). Prendre contact avec : CHAPOT (52) ou env. C.V. et photo à Mme JAMET, C.G.I. 84, rue de Grenelle, 75007 PARIS.

N° 6047 - Soc. de Conseil en organ. rech. jeunes cam. 22-26 ans. Déb. ou 1 à 2 ans exp. pour plusieurs postes ing. Conseil - Travail en Équipe - Possibilité d'acquérir rapidement de larges responsabilités - Formation permanente (cours et séminaires en France et aux U.S.A.) Anglais. S'adresser Bur. des Car.

N° 6175 - Important Cabinet Commissaires aux Comptes rech. jeune Ing. exp. 2-3 ans informatique gestion. S'adresser Bur. des Car.

N° 6176 - Imp. Cie d'Assurances cherche pour septembre 78 Ing. informaticien débutant. Formation assurée. S'adresser Bur. des Car.

N° 6177 - Imp. Soc. prospection « off-shore » rech. un Dir. de Dept. Engineering, plus de 35 ans, dipl. Inst. Fr. du Pétrole ou équivalent USA, exp. 5 ans minimum engineering « off-shore ». S'adresser Bur. des Car.

N° 6180 - Soc. internationale T.P. Bât. rech. Directeur de Projet, respons. Dept. « Barrages », environ 40 ans, anglais courant, de préf. Ing. civil P.C., S'adresser Bur. des Car.

N° 6185 - Recherche traducteurs toutes langues, formation technique, pour collaboration freelance. Ecr. Traductor, 12, rue Lincoln, 75008 PARIS - Service recrutement.

N° 6186 - Soc. de Systèmes en Automatisme et Informatiques qui emploie 400 pers. à Paris et ds. la région Rhône-Alpes et qui appartient à un groupe multinational de 1er plan rech. pour Paris :

1. Marketing Manager - formation M.B.A., École Comm. ou École d'Ing + spécialisation. Respons. de la commercialisation de matériel de pointe en péri-informatique. Il aura aussi pour tâche de faire évoluer ce matériel en fonction du marché et des nombreux utilisateurs potentiels.

2. Ing. Téléprocessing et réseaux. C'est un spécialiste du téléprocessing et des méthodes d'accès Réseaux des ordinateurs IBM 370 3 ans d'exp.

3. Ing. Technico commercial. G.E. (X, ECP, ENSTA, Mines), bien introduit ds. les milieux de la mécanique par calculateurs et les problèmes de suivi de fabrication en atelier.

4. Ing. méthodes informatiques - connaissance approfondie des principales méthodes.
S'adresser Bur. des Car.

N° 6187 - Société de services informatiques, la Défense, rech. Ing. stagiaire débutant, titularisable, pour support technique et promotion calcul de structures. S'adresser Bur. des Car.

N° 6188 - Soc. française réputée, conception et fabrication de centraux téléphoniques, rech. Dir. Industriel, 35-45 ans, exp. d'au moins 5 ans de la fabrication électronique de grande série et conn. sérieuses en électro-mécanique. S'adresser Bur. des Car.

N° 6192 - Cli Honeywell Bull rech. pour Paris et la Province des ingénieurs commerciaux. S'adresser Bur. des Car.

N° 6194 - Camarade 28 exerçant activité conseil affaires internationales zone Moyen-Orient rech. collaboration partenaires disposant relations autres secteurs de l'Étranger. Téléphoner MALEVAL, 924.53.33 Paris.

N° 6195 - Soc. distribuant produits pétroliers rech. Dir. Général, 35-45 ans, exp. plusieurs années dans le domaine. S'adresser Bur. des Car.

2° PROVINCE

N° 6178 - Industrie lourde, implantée en province, rech. Ing. débutants. S'adresser Bur. des Car.

N° 6181 - Alsthom Atlantique, à Belfort rech., pour chantiers de montage, jeune Ing. électriciens et mécaniciens, anglais souhaité. Déplacements en France et à l'Étranger. S'adresser Bur. des Car.

N° 6183 - Soc. fabriquant et commercialisant matériels d'équipements (conditionnement, imprimerie) rech. Dir. Gal, 45-55 ans, anglais courant, exp. de la Dir. Gale. ou Dir. Gal. Adjt. S'adresser Bur des Car.

3° ÉTRANGER

N° 6184 - On rech. pour entreprise faisant du développement industriel dans un pays du Tiers-Monde, 2 Ing. économistes, qqs. années d'exp. industrielle, formation Business-School souhaitée. S'adresser Bur. des Car.

N° 6190 - Filiale française groupe multinational, produits gde consommation, implantée Sud France, rech. Ing. des Méthodes, plus de 27 ans, anglais courant, exp. production et produits gde consommation. S'adresser Bur. des Car.

N° 6191 - Filiale française groupe multinational produits alimentation, implantée Sud France, rech. Dir. Technique, plus de 35 ans, anglais courant, exp. Dir. usine produits alimentaires. S'adresser Bur. des Car.

N° 6193 - SCET International rech. pour ses 2 secteurs Antilles-Guyane et Polynésie pour postes Dir. dans Société Économie mixte des candidats, originaires de ces régions, 5-10 ans de vie professionnelle, exp. aménagement territoire et engineering Bât publics. S'adresser Bur. des Car.

Demandes de situations
Insertions gratuites

N° 2609 - Cam. retraité, âgé de 60 ans spécialiste des questions de bâtiment et travaux publics, désirerait trouver activité à mi-temps ou à temps complet. S'adresser Bur. des Car.

N° 2610 - Cam. ayant conn., exp. et réalisations dans les domaines techniques, créatifs, commerciaux, souhaite élargir ses activités par exemple : conseils interventions, intérim haut niveau. France et étranger. Écrire à Claude Roger ISMAN - B.P. 4 - 94490 ORMESSON.

N° 2611 - Cam. 52 ans - 18 ans Dir. Gle - souhaiterait mettre son exp. multiple à disposition dirigeant d'entreprise, plus particulièrement type PME. Possède conn. approfondie secteur matières plastiques. Est particulièrement rodé aux contacts commerciaux domaine sous traitance. S'adresser Bur. des Car.

N° 2612 - Cam. Ing. civil Ponts ayant fait carrière 30 ans dans entreprises T.P. et Bâtiment, et bureau d'Ingénierie recherche situation Dir. ds. Soc. similaires ou Dir. travaux chez promoteurs. S'adresser Bur. des Car.

N° 2613 - X 48 - Dir. Gal. Industrie privée depuis 8 ans - Carrière : 22 ans ds. gr. multi-national produits de Gde consommation et 4 ans ds. gdes. Entr. françaises constr. mécanique, Ingénierie et T.P. Exp. et compétence d'abord administr. et financières, élargies à ttes les gdes. fonctions et surtout à la dir. d'entr. Points fort : contrôle de gestion et planification stratégique. Anglais courant. Rech. poste de respons. globale très élevée. région parisienne ou Sud-Est de préférence. S'adresser Bur. des Car.

N° 2614 - Cam. 58 ans, longue pratique secteurs chimie et second œuvre du Bât. recherche poste respons. entreprise moyenne, domaine indifférent, préférence région parisienne. Allemand courant. S'adresser Bur. des Car.

N° 2616 - X 37 ans, 14 ans d'exp. études et conseil maîtrise parfaite de l'informatique (ttes applic. matériels) compétences affirmées ds. plusieurs secteurs d'ingénierie et études économiques, cherche ds. grosse ou moyenne société préoccupée par nouveaux moyens de la

N° 2617 - Cam. 52 ans - Ing. des Ponts et Chaussées ESE, 23 ans d'exp. industr. dont 4 ans aux États-Unis, Dir. technique d'une imp. Soc. de construction de matériels d'équipement électrique puis Dir. Gal. d'une Entr. d'installation électrique, rech. poste de respons. gale, en direction fonctionnelle. Parle couramment anglais et a beaucoup pratiqué relations avec les États-Unis. S'adresser Bur. des Car.

N° 2618 - Cam. 57 ans, solide exp. technique électronique, engineering et marketing anglais courant, cherche poste à responsabilité. Région parisienne ou Sud du 46° parallèle.

N° 2619 - X.42 - 13 ans Industrie - 13 ans expertise et Conseil de Dir. - 7 ans Dir. Gle. examinerait toutes propositions de missions exigeant compétences de management et sens des respons. S'adresser Bur. des Car.

N° 2620 - X, 35 ans, dynamique, 11 ans exp. conseil (organisation, informatique) très diversifiée dont 3 ans prof. libérale. Cherche poste à respons. élevée, de préf. opérationnel en région parisienne. S'adresser Bur. des Car.

N° 2621 - X 35, Ing. en Chef des Ponts et Chaussées en retraite ayant travaillé 20 ans outre-mer et exercé ensuite pendant 15 ans, les fonctions de Dir. général d'un bureau d'ingénierie orienté vers l'exportation, rech. travail à temps partiel. S'adresser Bur. des Car.

N° 2622 - Cam. (47) universitaire, établi U.S.A. depuis 20 ans, bien introduit milieux scientifiques, rech. pour 1978 activité de complément (région New-York ou Côte Est USA). S'adresser Bur. des Car.

N° 2623 - X, 37 ans, INSEAD, solide exp. informatique, vente de bien d'équipement, contrôle de gestion, rech. poste respons. fonctionnelle ou opérationnelle, basé Paris de préférence. S'adresser Bur. des Car.

N° 2624 - X 71 X 73 - MBA STANFORD, 1978. Quatre Cam. veulent poste de responsabilité dans entreprise dynamique, à leur retour des États-Unis en septembre 1978. Le recrutement commence à la Business School. Contactez-nous dès maintenant en Californie, en joignant ttes informations sur l'entreprise et ses opportunités de carrière. Des entretiens pourront être arrangés en France vers Pâques. C.V. et adresses disponibles au Bureau des Carrières.

N° 2625 - Cam. G.M. 43 ans. Exp. approfondie chantiers constr., organisation et commerce international, connaiss. financières, administrateur sociétés, rech. Dir. Gale., D.G. Adjt. ou niveau équivalent ds. industr., organisation, banque ou organisme international - Ville universitaire. S'adresser Bur. des Car.

N° 2628 - 33 ans, X. Bonne culture générale. Agrégé de l'Université. A l'étroit dans sa chaire de Math. Spéciales, étudierait toute reconversion vers poste respons. où son dynamisme et son goût des contacts humains trouveraient à s'exprimer. Écrire : Jeanbrau - 18, rue d'Orléans - 64000 Pau.

N° 2629 - X - GM, 34 ans, CPA, parlant anglais, exp. chantiers et bureau d'études : mécanique et électricité, coopération avec l'étranger, cherche poste de responsabilité dans entreprise située en province de préférence. S'adresser Bur. des Car.

N° 2630 - Camarade 38 ans, civil Ponts, architecte DPLG, grande exp. Dir. technique et commerciale, BTP, France et étranger, recherche situation dans société dynamique. S'adresser Bur. des Car.

autres annonces

Secrétariat général de l'A.X.
17, rue Descartes,
B.P. 9005
75223 PARIS Cédex 05
Tél : 325.32.83 - Poste : 434

Demandes de situations pour non X

8 F la ligne

N° 715 - Fille cam. Retraite récente, excel. présent. cadre administratif, licence histoire géo,

N° 716 - Mère cam. divorcée 55 ans, ex-pianiste concertiste, recherche après 20 ans cessation d'activité tout emploi sans formation spéciale : standardiste, hôtesse, etc. Possibilité de jouer du piano pour accompagnements. Mme Janine Richard 1, rue Marie-Jeanne Bassot 92300 Levallois 757.90.29. Urgent

N° 717 — Veuve cam. 29 ans, Infirmière Dipl. État, cherche emploi le matin, sauf samedi, si possible 12e arr. ou limitrophe. Téléphoner 340.41.74.

N° 718 — Fils et petits fils cam. 36 ans, double form. scientifique et sciences humaines, carrière suivie dans la vente, le market puis la direction d'entreprise commerciale. Parle anglais, espagnol. Étudie tte proposit. Fiedler 36 bis, rue des Entrepreneurs, 75015 Paris.

N° 719 - Fils d'X. ayant fait HEC + INSEAD, 37 ans, 3 a. secrétaire général, puis 10 a. ds un groupe bureau d'études au sein direction comm., rech. poste responsabil. opérationnelle ds entrep. importante région paris. Points forts : commercial et développement de l'entreprise. Anglais, espagnol, allemand courants. Possibilités voyages à l'étranger Tél. 043.74.33 ou s'adresser AX qui transm.

Offres de situation pour non-X.

17 F la ligne

N° 411 - Recherche traducteurs toutes langues, formation technique, pour collaboration free-lance. Ecr. Traductor 12, rue Lincoln 75008 Paris, Service Recrutement

N° 412 - TRADUCTOR première organisation mondiale de traductions pour le commerce et l'industrie recherche en permanence excellents traducteurs et révisseurs salariés ou à la pige. Traductor, service recrutement 12, rue Lincoln 75008 Paris

N° 413 - Sté de services informat. La Défense recherche ingénieur stagiaire débutant, titularisable, pour support technique et promotion calcul de structures. S'adres. A.X.

Locations

Tarif : 17 F la ligne (minimum 3 lignes)

N° 1562 - SERRE CHEVALIER, vacances d'hiver et été, appts tt conf. à la semaine, au mois, à la saison, pour 3 à 9 pers. Tél. heures de bureau 225.73.90

N° 1563 - ALPE D'HUEZ studios 6 pers. et 4 pers. vue, sol. près pistes et commerçants. Tél. 966.42.67

N° 1564 - AUVERGNE alt. 850 m cam. loue manoir 6 ch. s. de bains et s. douche eau chaude, tt cft, frg. congélat. mach. à laver. lave-vais. gd jardin ombragé avec vue splend. Ecr. A.X.

N° 1565 - DEUX ALPES (1650-3500 m) ski été hiver tt cft 4-5 p. garage T. 969.17.85

N° 1566 - Qu. Bastille studio neuf 24 m² + terr. 12 m² 800 F + ch. Tél. 345.88.22

N° 1567 – SUPERTIGNES loue sem. app. sur pistes 70 m², 3 p. 7/8 pers. 071.06.61.

N° 1568 - ST GERMAIN 10 m. à pied RER cam. loue ds résid. stand. son duplex 140 m², 6 p. 4 ch + séj. double, gar. cave, jard. pr. calme, prox. lycées 963.36.93

N° 1569 - Vve cam. louerait app. 100 m² 4 p. tt cft, MEUDON-BELLEVUE, libre fin mars. Tél. soir 626.09.83

N° 1571 - CHANTEMERLE-SERRE CHEVALIER cam. loue app. 2 p. log. sud, 4/6 p. mars vac. Pâques, juillet, août. Tél. 350.69.69.

N° 1572 - BOULOGNE app. 3 p.s. de b. cuis. tél. 6e ét. tt conf. soleil, libre suite Tél. 624.93.65 matin à 8 h ou soir à partir 18 h.

N° 1573 - LES MENUIRES, cam.loue app. 8 personnes. Tél. 288.03.47.

N° 1574 - COURCHEVEL 1550 app. à louer pour 6 pers. dernière sem. Février excepté. Tél. 907.51.54 après 18 h.

N° 1575 - VAL D'ISERE loue 2 p. 6 lits à la semaine, hors période vacances scol, nord, plein sud, pied remontées. La Daille. Tél. 579.25.87.

N° 1196 - Vds YERRES app. F. 4 cave, park. 1er ét. résid. près gare, commerçants, école. Prix à déb. Tél. 555.95.20 P. 24911

N° 1197 - Cam. vend PARIS 7e beau 3 p. rue très calme, verd. excel. état, 82 m² 500 000 F. Tél. (16.35) 22.81.40 poste 400 (bureau) ou (16.35) 46.23.42

N° 1198 - TIGNES vends multiprop. 1 sem. fin avril, sacrifié 2 500 F 647.94.93

N° 1195 - Cam. vend FONTENAY LE FLEURY 78 - Parc Montaigne - Bel app. 5 p. 2 s. de b. terrasse, cave 350 000 F. Tél. 075.31.82

N° 1199 - SUPERDEVOLUY vend multipropr. séj. Pâques, studio 4 lits + ministudio 2 lits, en-dessous prix public. T. 642.45.99

N° 1200 - Cam. vend CLAMART 4 p. 75 m², exposé S/O sur bois, 2 park. s/sol, cave, libre juillet. Tél. 645.17.42 après 19 h.

N° 1201 - cam. vend app. tt cft 4e ét. expos. except. ds résid. Hauts de Cimiez 31, av. Cap-de-Croix : entrée, liv., chambre, s.d.b., cuis., balc. circul., revêt. sol marbre, superf. tot. 73 m² + park. Prix 260 000 F. Tél. (93) 99.04.79 ou Paris 266.62.33 h. bur.

VENTE D'APPARTEMENTS

N° 1202 - NICE, Fille cam. vend app. libre, 2 p., entrée, dressing, cuis. s. de b., W.C. (55 m²), asc., cave. Quartier Musiciens 220 000 F. Tél. après 20 h (93) 86.83.69.

N° 436 - Cam. recom. skipper compét. et bateau sûr 12 m. Rêve d'Antill. pour croisière Charter 6, Grèce, Médit. Antill. rens. Delage 19, R. Madray 40000 Mt de Marsan

Annonces industrielles et commerciales

Tarif : 28 F la ligne

N° 369 - Cam (45) recom. vvt tapissier profession fg St-Antoine, tr. conscienc. tous travaux anc. et mod. pr particul. et entrepr. THERA ET DEMANCHE 20, rue St-Nicolas Paris. Dor. 49.49 Cond. Spéc. aux X.

N° 370 - CANNES : Villas, terrains, appartements, Yves Pelloux les vend depuis 30 ans ; murs commerciaux loués 8 % brut. Résid. Grand Hôtel 45, Croisette 38.56.56.

N° 371 - Silvy (31) Direc. gal MONVOISIN ET VINCENT peut traiter tous vos problèmes d'asssurances : auto (réduction spéciale accordée aux cam.) incendie, responsabilité civile, vie, risques industriels 101, bd Haussmann Paris 8e Tél : 265.84.20 (20 lignes)

N° 372 Décoratrice aménag. appart. décoration intérieure Devis gratuit 504.47.96

N° 373 - X.73 PDG Société dynamique en forte croissance sur marché en pleine expansion (CA. 12 000 000 - 30 Pers.) propose *ASSOCIATION* à Hauteur 500 000 F (40 % capital) ou *placement* obligations convertibles ou compte d'associé par tranches de 50 000 F rentabilité 12,5 %, pour financer programme de développement et de renforcement de fonds propres : J.L. Richard (38) 86.13.47.

N° 374 - Cam. (45) ayant créé récemment société conseil direction direction disposant bx commerciaux très bon stand. proximité imméd. station Auber-RER propose secrétariat et bureau cam. ou relation désireux minimiser fs gx T. 246.75.25

N° 375 - Bertrand Mathieu et Alain-Marc Piel X 69, architectes D.P.L.G., ont ouvert à Crépy en Valois dans l'Oise un atelier d'architecture et d'urbanisme

Ventes d'appartements et de propriétés

Tarif : 17 F la ligne

N° 1187 - PARIS 15e, cam. vend app. 5 p. 105 m²tt cft, sol. tél. 7e ét. prix : 650 000 Tél. 963.13.94 après 17 h.

N° 1188 - LA PLAGNE, app. 2 p. + cuisine 50 m² gde terrasse, double exposition Tél (Mégève) 21.33.12

N° 1189 - Cam. vend BIARRITZ magnifique app. 150 m² 4 p. 2 s. de bains, cuisine équipée, 400 000 F Tél. 81.75.04 Toulouse après 19 h.

N° 1190 - 140 000 F centre PÉRIGUEUX imm. de 7 log. Scherné 7, Bellevue 13010 Marseille T. (91) 75.32.31

N° 1191 - vends app. LA PLAGNE 82 m² terrasse 22 m² 10 lits, partiellem. meublé, expos. sud et est. 288.81.93.

N° 1192 - ANTONY 68, R. Velpeau, 5 min. RER, imm. 58, app. 4 p. Cuis. s. de b. compl. équipée Nbx plac. eau ch. chauf cent. coll. 8e ét. asc. 270 000 F 666.86.55

N° 1193 - VAL EURE vue splend. 2 600 m. Demorlet 9, squ. Jean Thébaud 75015 T. 734.85.01

N° 1194 – Vends DRAVEIL (91) ds résidence standing Orée Sénart app. 100 m², 3 ch. + liv. double, tél. tt cft, état impecc. étage élevé, expos. sud ouest, gde loggia, park. piscine. 320 000 F. Tél. 903.77.16.

Achats et ventes divers

Tarif : 17 F la ligne

N° 432 - VOILIER mixte, ketch 11 m, 75 cv. dies. type Malo 50. Excell. contr. Suéd. 74 État et équip. remarq. aussi bien pour navig. hautur, que résid. second. Tél. 014.10.10

N° 433 - - Fils d'X. achète collection timbres poste France, Europe, Outre-mer et cartes postales anciennes ; paiement comptant Ducassé. Tél. 969.39.09 après 20 h.

Divers
Tarif : 17 F la ligne

N° 433 - Vacances pour JEUNES (mixtes) ski (tennis probable) ALPE D'HUEZ. Association « A l'École du Sport » 027.12.88, mardi jeudi matin ou 17 à 19 h.

N° 434 - Institutrice Hattemer, longue exp. cherche dans famille leçons toutes matières jusqu'à seconde. Tél. A.X.

N° 435 - Fille cam. échange ch. indép. cft, contre garde enfants T. 033.06.75

Pourquoi des X dans la traduction ?

Parce qu'une nouvelle échelle était nécessaire

L'époque du traducteur isolé s'est achevée avec les années 60. Comme l'a constaté TRADUCTOR, plus de 20 langues sont utilisées couramment dans la communication internationale. En dix ans les échanges commerciaux et les voyages à l'étranger se sont multipliés par 7. Chaque contact crée une nécessité de traduction.

avec une organisation rigoureuse

Comment faire autrement quand il faut organiser l'activité de 2 200 traducteurs autour de 9 000 dossiers traités chaque année? Comment faire autrement pour satisfaire plus de 2 500 clients européens et plus de 1 000 firmes nord-américaines ?

dans un esprit global

Pour comprendre des clients « internationalistes » une entreprise de traduction doit avoir le même esprit. C'est une des raisons qui nous ont poussé à implanter Traductor aux U.S.A. et au Canada aussi bien qu'en France et en Suisse et bientôt en Allemagne.

pour traduire de 2 à 10 000 pages

Un gouvernement vient de charger Traductor d'un travail de plus de 10 000 pages. C'est exceptionnel, mais des travaux de 500 à 5 000 pages sont courants, et des dizaines de textes de 2 à 200 pages sont traduits chaque jour.

Serge Raffet (X-50)

Jean-Marc Choukroun (X-63)

termont 6150

12, rue Lincoln
75008 PARIS
Tél. (1) 261 84 97
Télex : 641368

3 Church Street
TORONTO, Ontario
Tél. 416 - 363 4117
Télex : 065-23037

500 5th avenue
NEW YORK N.Y 10036
Tél. 212 - 594 8720

620 Cathcart suite 621
MONTREAL, Québec
Tél. 514 - 871 9911
Télex : 052-68805

13, rue Céard
1204 GENÈVE
Tél. (022) 21 77 33
Télex : 27 766

DERNIERE HEURE

Avis très important à tous les lecteurs

Vous recevrez, dans le courant du mois de février, une brochure de la F.A.S.F.I.D. : « **Partis politiques et Grandes Écoles** », numéro spécial I D 73.

Ce document résume les entretiens qui viennent d'avoir lieu entre les responsables « Enseignement supérieur » des grands partis politiques français et une commission du « Comité National pour le Développement des Grandes Écoles » (G.N.G.E.) à laquelle a participé l'A.X.

Si vous vous intéressez à la survie et au devenir de votre École, vous devez tous lire cette brochure.

Décès :

Nous avons le très grand regret de faire part :

- du décès de Georges Bellenger (98) le doyen des aviateurs militaires français, titulaire du brevet de pilote n° 3, ex-commandant de l'escadrille « Cigogne », décès survenu dans sa centième année. L'A.X. était représentée à ses obsèques par le général d'aviation Pierre Prétat (31) ;
- du décès de notre éminent camarade Bernard Grégory (38), délégué général à la Recherche scientifique et technique, et savant mondialement connu. L'A.X. était représentée par Georges Fleury (18), ancien Président de l'Amicale.

PROMOTIONS 1933

Rappel de la journée du 45e anniversaire à Palaiseau, annoncée par circulaire fin décembre. Inscriptions avant fin février à Deubel, 14, rue Angélique-Vérien, 92200 Neuilly sur Seine. Tél. 722.89.13.

1931-32-33

A la demande générale de nombreux participants à notre dernière réunion, un nouveau pot de l'amitié des promos X 31, X 32, X 33 aura lieu à la Maison des X (Styx) le jeudi **16 février 1978,** à partir de 18 h 30.

Il est demandé aux camarades qui désireraient y participer de bien vouloir se faire connaître avant le 13 février, à Michel (31), Roth Meyer (32). Deubel (33) respectivement.

1953

L'opération « **quart de siècle** » est en cours... Les manuscrits sont collectés par Flesselles. Les camarades retardataires sont invités à lui faire parvenir, le plus tôt possible, leur contribution en vue de la préparation du document-témoignage projeté.

Directeur de la publication : Louis d'Orso (33) ● Rédacteur en chef : Jean-Pierre Callot (31 ● Rédacteur en chef adjoint : Frédéric Sichler (72) ● Comité de rédaction : Jean-Pierre Bégon-Lours (62), Georges Cara (62) Jean Chevrier (20 S), Dominique Couffin (72), François Dupont (72), Hervé Gresse (61), Philippe Naigeon (69), Jean Peynaud (29), Marcel Sala (35), Jacques Szmaragd (66), Christian Stoffaës (66), François de Witt (64) ● Dessin : Philippe Rémon-Beauvais (57) ● Mise en page : Annie Huart ● Secrétariat de rédaction : Jacqueline Ducrètet.

17, rue Descartes, Paris Ve - adresse postale : B.P. 9005, 75223 Paris Cedex 05 - Téléphone 633 74 25

Fabrication : SOGEPLO, 6, place de la Madeleine, 75008 Paris - Photocomposition Marchand, 75014 Paris.
- Imprimerie de la Mayenne, 53000 Laval.
Commission Paritaire : 26 757 - Tirage : 12 900

L'ASSURANCE AUTO DE LA GMF

LE MEILLEUR SERVICE AU PLUS JUSTE PRIX

parce que
l'esprit de la mutualité, c'est l'équité

- **5 formules pour répondre au mieux à vos besoins, des garanties plus larges et plus nombreuses**
- **2 garanties originales : la rente-éducation et la rente-reconversion**
- **des tarifs modulés pour s'adapter à votre cas**

Renseignements dans tous les bureaux de

LA GARANTIE MUTUELLE DES FONCTIONNAIRES

Entreprise régie par le code des assurances

BON A DECOUPER

Si vous désirez des renseignements retournez ce bon à : GMF, 76, rue de Prony - 75857 Paris Cedex 17

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

JR

Pour le Soir...

Vous avez peut-être, ce soir encore, la quadrature du cercle à résoudre : **«sortir» des clients** étrangers ou provinciaux, sans revoir pour la quatrième fois le même dîner-spectacle.

Le Jardin-Champs Elysées, le nouveau cabaret le plus élégant de Paris, vous propose, à l'occasion de sa première saison, une solution à la fois nouvelle et avantageuse : Un **dîner** «menu suggestion» élaboré par Potel et Chabot, le Traiteur du tout Paris, suivi d'un spectacle, **offert gracieusement**.

A tous les lecteurs de la Jaune et la Rouge, ainsi qu'à leurs invités, se recommandant de cette publicité, il ne sera demandé que le minimum normalement requis pour le spectacle et une demi bouteille de Champagne, soit 125 F.

Si vous êtes satisfait de cet essai, nous serions heureux **d'étudier avec votre société les conditions** nous permettant de devenir, **aux meilleurs prix**, la soirée préférée de vos collaborateurs et de leurs invités.

LE JARDIN
CHAMPS ELYSEES

LE NOUVEAU DINER SPECTACLE DE PARIS
50 artistes - 300 costumes
9 Avenue Gabriel - Paris 8 ème
Réservations 260 58 00
Télex JARDELY 650246 F