

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif - Revue
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1949-2003
Collation	167 vol.
Nombre de volumes	167
Cote	INDNAT
Sujet(s)	Industrie
Note	Numérisation effectuée grâce au prêt de la collection complète accordé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (S.E.I.N.)
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039224155
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT
LISTE DES VOLUMES	
	1949, n° 1 (janv.-mars)
	1949, n° 2 (avril-juin)
	1949, n° 3 (juil.-sept.)
	1949, n° 4 (oct.-déc.)
	1949, n° 4 bis
	1950, n° 1 (janv.-mars)
	1950, n° 2 (avril-juin)
	1950, n° 3 (juil.-sept.)
	1950, n° 4 bis
	1951, n° 1 (janv.-mars)
	1951, n° 2 (avril-juin)
	1951, n° 3 (juil.-sept.)
	1951, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° 1 (janv.-mars)
	1952, n° 2 (avril-juin)
	1952, n° 3 (juil.-sept.)
	1952, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° spécial
	1953, n° 1 (janv.-mars)
	1953, n° 2 (avril-juin)
	1953, n° 3 (juil.-sept.)
	1953, n° 4 (oct.-déc.)
	1953, n° spécial
	1954, n° 1 (janv.-mars)
	1954, n° 2 (avril-juin)
	1954, n° 3 (juil.-sept.)
	1954, n° 4 (oct.-déc.)
	1955, n° 1 (janv.-mars)

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
	1961, n° 3 (juil.-sept.)
	1961, n° 4 (oct.-déc.)
	1962, n° 1 (janv.-mars)
	1962, n° 2 (avril-juin)
	1962, n° 3 (juil.-sept.)
	1962, n° 4 (oct.-déc.)
	1963, n° 1 (janv.-mars)
	1963, n° 2 (avril-juin)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1963, n° 3 (juil.-sept.)
	1963, n° 4 (oct.-déc.)
	1964, n° 1 (janv.-mars)
	1964, n° 2 (avril-juin)
	1964, n° 3 (juil.-sept.)
	1964, n° 4 (oct.-déc.)
	1965, n° 1 (janv.-mars)
	1965, n° 2 (avril-juin)
	1965, n° 3 (juil.-sept.)
	1965, n° 4 (oct.-déc.)
	1966, n° 1 (janv.-mars)
	1966, n° 2 (avril-juin)
	1966, n° 3 (juil.-sept.)
	1966, n° 4 (oct.-déc.)
	1967, n° 1 (janv.-mars)
	1967, n° 2 (avril-juin)
	1967, n° 3 (juil.-sept.)

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

	1983, n° 1
	1983, n° 3-4
	1983, n° 3-4
	1984, n° 1 (1er semestre)
	1984, n° 2
	1985, n° 1
	1985, n° 2
	1986, n° 1
	1986, n° 2
	1987, n° 1
	1987, n° 2
	1988, n° 1
	1988, n° 2
	1989
	1990
	1991
	1992
	1993, n° 1 (1er semestre)
	1993, n° 2 (2eme semestre)
	1994, n° 1 (1er semestre)
	1994, n° 2 (2eme semestre)
	1995, n° 1 (1er semestre)
	1995, n° 2 (2eme semestre)
	1996, n° 1 (1er semestre)
	1997, n° 1 (1er semestre)
	1997, n°2 (2e semestre) + 1998, n°1 (1er semestre)
	1998, n° 4 (4e trimestre)
	1999, n° 2 (2e trimestre)
	1999, n° 3 (3e trimestre)
	1999, n° 4 (4e trimestre)
	2000, n° 1 (1er trimestre)
	2000, n° 2 (2e trimestre)
	2000, n° 3 (3e trimestre)
	2000, n° 4 (4e trimestre)
	2001, n° 1 (1er trimestre)
	2001, n° 2-3 (2e et 3e trimestres)
	2001, n°4 (4e trimestre) et 2002, n°1 (1er trimestre)
	2002, n° 2 (décembre)
	2003 (décembre)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1963, n° 3 (juil.-sept.)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1963

Collation	1 vol. (p. [129]-164) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	48
Cote	INDNAT (64)
Sujet(s)	Industrie
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/09/2025
Date de génération du PDF	08/09/2025
Recherche plein texte	Non disponible
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT.64

Note d'introduction à [l'Industrie nationale \(1947-2003\)](#)

[L'Industrie nationale](#) prend, de 1947 à 2003, la suite du [Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publié de 1802 à 1943 et que l'on trouve également numérisé sur le CNUM. Cette notice est destinée à donner un éclairage sur sa création et son évolution ; pour la présentation générale de la Société d'encouragement, on se reportera à la [notice publiée en 2012 : « Pour en savoir plus »](#)

[Une publication indispensable pour une société savante](#)

La Société, aux lendemains du conflit, fait paraître dans un premier temps, en 1948, des [Comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publication trimestrielle de petit format résumant ses activités durant l'année sociale 1947-1948. À partir du premier trimestre 1949, elle lance une publication plus complète sous le titre de [L'Industrie nationale. Mémoires et comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#).

Cette publication est différente de l'ancien [Bulletin](#) par son format, sa disposition et sa périodicité, trimestrielle là où ce dernier était publié en cahiers mensuels (sauf dans ses dernières années). Elle est surtout moins diversifiée, se limitant à des textes de conférences et à des rapports plus ou moins développés sur les remises de récompenses de la Société.

[Une publication qui reflète les ambitions comme les aléas de la Société d'encouragement](#)

À partir de sa création et jusqu'au début des années 1980, [L'Industrie nationale](#) ambitionne d'être une revue de référence abordant, dans une sélection des conférences qu'elle organise — entre 8 et 10 publiées annuellement —, des thèmes extrêmement divers, allant de la mécanique à la biologie et aux questions commerciales, en passant par la chimie, les différents domaines de la physique ou l'agriculture, mettant l'accent sur de grandes avancées ou de grandes réalisations. Elle bénéficie d'ailleurs entre 1954 et 1966 d'une subvention du CNRS qui témoigne de son importance.

À partir du début des années 1980, pour diverses raisons associées, problèmes financiers, perte de son rayonnement, fin des conférences, remise en question du modèle industriel sur lequel se fondait l'activité de la Société, [L'Industrie nationale](#) devient un organe de communication interne, rendant compte des réunions, publiant les rapports sur les récompenses ainsi que quelques articles à caractère rétrospectif ou historique.

La publication disparaît logiquement en 2003 pour être remplacée par un site Internet de même nom, complété par la suite par une lettre d'information.

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

Daniel Blouin, Gérard Emptoz, [« 220 ans de la Société d'encouragement »](#), Histoire et Innovation, le carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement, en ligne le 25 octobre 2023.

Gérard EMPTOZ, [« Les parcours des présidents de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale des années 1920 à nos jours. Deuxième partie : de la Libération à nos jours »](#), Histoire et Innovation, carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, en ligne le 26 octobre 2024.

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

•
COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE
•

PUBLIÉS AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1963

N° 3

Revue trimestrielle

N° 3 : JUILLET - SEPTEMBRE 1963

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

QU'EST-CE QU'UNE MALADIE INFECTIEUSE ? LE CONFLIT HÔTE-PARASITE

par M. le Docteur A. DELAUNAY p. 57

Des mots d'un emploi quotidien, comme *infection* et *maladie*, sont, en réalité, d'une définition extrêmement difficile. Tous les êtres vivants — ou presque — hébergent, dans leurs humeurs ou leurs tissus, des bactéries, des virus ou des parasites. Ils sont donc infectés. Mais à partir de quel moment peut-on les considérer également comme malades ? Cet aspect de la question, qui est d'ordre philosophique, mérite une discussion et l'auteur l'aborde. Mais, biologiste, il entend ne pas s'arrêter aux mots et aller jusqu'aux choses. Chacun sait qu'il y a, parmi les agents infectieux, des germes qui méritent — bien plus que les autres — le qualificatif de pathogènes. Quand un germe est-il pathogène ? On répond généralement ici que cette qualité tient, pour une part, à une certaine structure physico-chimique du germe en question et, pour une autre part, à un certain état de l'organisme infecté. L'auteur rappelle tout ce qu'on sait en ce domaine mais il insiste davantage sur ce qui concerne l'organisme, car c'est de ce côté que les progrès récents ont été les plus remarquables. On pourrait même dire qu'ils ont été extraordinaires.

RÉCENTS DÉVELOPPEMENTS DES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

par M. Roger DESAINT p. 69

Au cours des dix années écoulées depuis la conférence de M. Léon MIGAUX sur les applications de la Géophysique, celle-ci n'a cessé d'apporter son concours à l'exploration du sous-sol et plus particulièrement à la recherche du pétrole. On lui doit la découverte d'importants gisements, notamment en Aquitaine et au Sahara. Ces succès n'ont été obtenus qu'au prix de constants perfectionnements techniques.

Il faut d'abord rappeler les progrès réalisés dans l'interprétation gravimétrique grâce à de nouvelles méthodes de calcul et à l'emploi de calculatrices électroniques, ensuite mentionner le développement pris par le magnétisme aéroporté, procédé utilisé dans l'exploration minière des pays neufs et dans la reconnaissance générale de vastes régions.

(Voir la suite en page 3 de la couverture)

Publication sous la direction de M. Jean LECOMTE, Membre de l'Institut, Président,
avec le concours du Secrétariat de la Société.

Les textes paraissant dans *L'Industrie Nationale* n'engagent pas la responsabilité de la Société d'Encouragement
quant aux opinions exprimées par leurs auteurs.

44, rue de Rennes, PARIS 6^e (LIT 55-61)

Le n° : 7,50 F.

C. C. P. Paris n° 618-48

QU'EST-CE QU'UNE MALADIE INFECTIEUSE ? ⁽¹⁾

LE CONFLIT HÔTE - PARASITE

par M. le Docteur ALBERT DELAUNAY,
Chef du Service de Pathologie expérimentale
à l'Institut Pasteur.

I

Nous vivons environnés de bactéries. Il y en a dans l'air que nous respirons, au sein de la terre que nous foulons, dans les aliments solides ou liquides, que nous absorbons. Le contact est si proche que, très souvent, ces bactéries pénètrent dans notre organisme par les cavités naturelles ou les excoriations cutanées. Cependant, d'un tel phénomène, nous n'avons pas normalement conscience. C'est que les bactéries en question ne sont pas nuisibles ; aussitôt après leur entrée dans nos tissus, elles sont détruites.

Voilà la règle... Mais on sait que toute règle connaît des exceptions. L'exception, ici, est que, près de ces innombrables bactéries qui ne sont pas dangereuses et que, pour cette raison, on appelle *saprophytes* quelques-unes existent qui, elles, sont à même d'exercer des ac-

tions mortelles. Ces dernières, on les nomme *pathogènes*. Est-il bien nécessaire de rappeler leur nom ? Il est connu de tous. Il s'agit, par exemple, du staphylocoque, du streptocoque, du pneumocoque, des colibacilles, du bacille typhique, du bacille de Koch, etc...

Pourquoi ces germes-là — et eux seuls — méritent-ils le qualificatif de pathogènes ? Grande question. Elle se trouvait posée au lendemain des travaux de PASTEUR sur les infiniment petits. Depuis lors, elle n'a jamais été délaissée. Elle a même fait l'objet d'innombrables travaux. Pourtant, récemment encore, elle demeurait nimbée d'obscurités. Faut-il s'étonner ? Non. Nulle question peut-être n'est plus difficile car, ici, les facteurs qui peuvent intervenir, donc qui doivent être considérés, sont légion.

(1) Conférence faite le 25 avril 1963 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (27^e Conférence Carrion).

Au moins, du pouvoir pathogène, peut-on donner une définition satisfaisante ? Certainement, mais à la condition d'user de périphrases. Je proposerai personnellement celle-ci : Pour qu'un germe donné se montre pathogène pour une espèce animale donnée, il faut, ou bien qu'il possède un facteur particulier (sinon plusieurs), ou bien encore qu'il rencontre dans l'organisme qu'il est venu infecter des conditions spéciales. Deux de ces conditions, au moins, sont faciles à imaginer. L'organisme doit être en mesure d'offrir au germe en question les matériaux nutritifs dont il a un absolu besoin pour sa survie et sa reproduction. Il faut, d'autre part, que, dans cet organisme, les moyens normaux de défense restent incapables, pour une raison ou pour une autre, d'intervenir.

Considérée de la sorte, l'éclosion d'une *maladie infectieuse* offre, en quelque sorte, la valeur d'un résultat. Deux forces se sont opposées, l'une agressive, l'autre défensive. Celle-ci n'a pu tenir. Elle a dû céder. Conséquence : une maladie a pris naissance. Dès 1923, E.G.D. MURRAY

proposait cette définition : « Le pouvoir pathogène d'un germe est l'expression de deux systèmes opposés de forces exercées physiologiquement, d'une part par le germe infectant, de l'autre par l'organisme infecté, chacun des deux adversaires s'efforçant de maintenir sa vie et sa santé ». Pareille définition, on le voit, n'est pas tellement différente de celle que je proposais moi-même il y a un instant.

Seulement, en 1923, MURRAY n'avait pas grand chose à nous apprendre sur la nature des deux forces en présence. Aujourd'hui, sommes-nous plus savants ? Sans aucun doute. Certes, bien des données — et des données importantes — nous échappent encore. Du moins, quelques-unes, capitales, ont pu enfin être acquises. Ces données, quelles sont-elles ? Voilà précisément, ce que, ce soir, je voudrais vous dire.

Avec votre permission, je considérerai en premier lieu les « forces » qui concernent le germe infectant, dans un second temps, celles qui intéressent l'organisme infecté.

II

Que, dans l'exercice d'un pouvoir pathogène, certaines initiatives soient dévolues au germe lui-même, parce qu'il jouit d'une structure ou de propriétés physiologiques particulières, de cela, on ne peut guère douter. D'innombrables faits l'établissent.

Certains ont pu être recueillis grâce à la seule *observation*. Ainsi, prenons des *espèces bactériennes* habituellement considérées comme pathogènes : staphylocoques, streptocoques, bacille typhique... Depuis très longtemps, on sait que, dans

ces espèces, à côté de souches indiscutablement dangereuses, existent d'autres souches qui ne le sont pas, comme si ces dernières avaient perdu quelque chose ou comme si elles n'avaient pas acquis ce qui appartient aux autres. De quoi peut-il s'agir ? Que peut bien être ce « quelque chose » ? Il correspond parfois au pouvoir que possèdent effectivement telles souches et non telles autres, d'élaborer une exotoxine. Plus souvent, il traduit la présence d'un constituant spécial, ce dernier assurant, *per se*, ce qu'on nomme, dans les laboratoires, *virulence*.

Il est assez fréquent, dans la conversation quotidienne, de voir confondus ces deux termes : *pouvoir pathogène*, *virulence*. C'est à tort. Il faut dire pouvoir pathogène quand on parle d'une *espèce bactérienne*. Ainsi, le pneumocoque est une espèce bactérienne qui est normalement pathogène pour la souris et... pour l'homme ; le bacille pesteux est normalement pathogène pour le rat et... pour l'homme. On doit dire, en revanche, *virulence* quand on se trouve conduit à distinguer, parmi les divers éléments d'une espèce bactérienne, des éléments qui ne sont pas capables d'exercer, au même degré, le pouvoir pathogène. Ce pouvoir est-il très élevé, on parlera à bon droit d'individus — ou de souches — *virulents* ; est-il faible ou nul, on dira que les éléments correspondants sont *avirulents* ou *peu virulents*.

Dans un instant, je m'efforcerai de dire ce qu'on sait présentement de ces constituants spéciaux, facteurs de virulence. Auparavant, je voudrais rapporter quelques faits du même ordre que les précédents mais qui, eux, ont été fournis par l'*expérimentation*.

En ce cas, on peut faire état de faits anciens et de faits nouveaux. Les *faits anciens*, ce sont essentiellement ceux qui nous ont été révélés par les grandes expériences pastoriennes, celles, notamment, qui concernent l'obtention des premiers *virus-vaccins* (virus-vaccins contre le choléra des poules, le rouget du porc, la bactériémie charbonneuse...). Inutile de se livrer ici à un long développement. Chacun connaît la merveilleuse histoire. PASTEUR partait des souches bactériennes *virulentes* que le hasard avait mises entre ses mains ; il parvenait, par une action combinée et judicieusement appliquée du

vieillessement *in vitro* et de la chaleur, à les transformer en souches *avirulentes*. Celles-ci n'étaient plus dangereuses à manipuler. Elles restaient néanmoins vaccinnantes.

Faits nouveaux maintenant. Ils sont si nombreux que je ne saurais, ce soir, les rapporter tous. Je me bornerai à deux exemples qui sont particulièrement typiques. Le premier a trait à une expérience historique de GRIFFITH (1928). Cet auteur avait injecté en mélange à des souris une souche vivante de pneumocoques non virulents et une souche tuée de pneumocoques virulents. Les animaux eussent dû survivre. Or, ils moururent. Pourquoi ? L'examen devait montrer que, dans l'organisme, les germes vivants s'étaient assimilés un constituant des germes tués, que, cette assimilation les ayant transformés, ils étaient devenus hautement pathogènes... ou, si l'on préfère, virulents. On pourrait évidemment se demander comment pareille assimilation avait pu prendre place. Encore aujourd'hui, une réponse précise est difficile à donner. Mais le fait est là, indiscutable, qui montre la possibilité, *in vivo*, du passage d'une souche avirulente à une souche virulente. Je disais plus haut, qu'il s'agissait là d'une expérience historique. En effet. Elle devait inciter, vingt-cinq ans plus tard, des chercheurs à faire ce qu'il fallait pour que soient posées les assises de la Génétique bactérienne.

Second fait, très différent d'ailleurs. Nous savons tous que le bacille diphtérique est capable d'élaborer une puissante exotoxine. Mais, naturellement, là encore, il est possible de distinguer des souches très inégalement toxigènes. Quelle explication donner ? Peut-être faut-il mettre en cause l'intervention d'un virus. On a pu, en effet, conférer le pouvoir toxi-

gène à une souche de bacilles diphtériques normalement atoxigène en la contaminant avec un bactériophage isolé d'une souche qui, elle, était toxigène.

De tout cela, que conclure ? Que nous montrent en définitive les faits d'observations comme les données de l'expérimentation ? Manifestement ceci :

une bactérie, pour être pathogène, doit obligatoirement posséder des caractères particuliers, que ce soit sur le plan anatomique ou sur le plan physiologique (ex. : pouvoir — ou non — d'élaborer une toxine).

Dans l'état actuel de nos connaissances, que peut-on dire de ces caractères, de ces particularités ? Je répondrai de la sorte. Une bactérie pourra se révéler pathogène :

1) Quand elle a le pouvoir d'élaborer une *toxine* ;

2) Quand elle a le pouvoir de sécréter certains *produits qui sont toxiques pour les globules blancs* ;

3) Quand elle a le pouvoir de sécréter certains *enzymes* hautement nocifs pour les tissus de l'hôte.

4) Quand, enfin, elle porte à sa surface des *constituants* dont la nature est telle qu'ils rendent impossible — ou inutile — ce processus de défense autrement si puissant qu'est la *phagocytose*.

Il peut arriver, bien entendu, qu'un seul de ces pouvoirs suffise à entraîner l'effet pathogène. Il n'est pas rare cependant qu'une même bactérie jouisse en même temps de plusieurs de ces pouvoirs.

Voyons tout cela de plus près.

III

Premier cas à considérer : Une bactérie se montre pathogène parce qu'elle a le pouvoir d'élaborer des toxines. A l'heure présente, on distingue deux grands types de toxines bactériennes : les *exotoxines* et les *endotoxines*.

A. — EXOTOXINES. Au nombre de celles-ci, je citerai au moins la toxine diphtérique, la toxine tétanique, la toxine botulinique, les toxines élaborées par les germes de la gangrène, la neurotoxine produite par le bacille de Shiga (qui est un bacille dysentérique), l'exotoxine du staphylocoque...

La plupart de ces poisons sont connus depuis longtemps. Toutefois, ce n'est qu'au cours de ces dernières années qu'on a pu les extraire des milieux de cultures où ils se trouvent naturellement et les

purifier. Tous sont faits de matière protéique. Quelques-uns ont un pouvoir toxique véritablement effrayant. Ainsi, un ml de bouillon de culture où se sont développés des bacilles tétaniques peut constituer, à lui seul, une dose suffisante pour provoquer la mort de 250.000 cobayes. Mais il y a mieux encore : c'est ainsi qu'on a pu calculer que 2 mg de toxine botulinique pourrait être une dose suffisante pour entraîner la mort de l'humanité tout entière (c'est-à-dire de trois milliards d'individus). On comprend, devant une telle puissance d'action, que certains aient osé penser à ce poison comme arme (offensive) de guerre.

Comment ces toxines parviennent-elles à entraîner la mort ? Le mode d'action diffère certainement d'une toxine à l'autre.

tre mais, sur ce point, beaucoup d'obscurités existent encore. Ici, les observations les plus saisissantes ont été faites récemment avec la toxine tétanique (VAN HEYNINGEN). Cet auteur a pu démontrer que, dans l'organisme, celle-ci allait se fixer de préférence sur certains composés chimiques qu'on appelle gangliosides qui sont des constituants des filets nerveux. Une fois fixée, elle empêche l'influx nerveux de passer : d'où la mort, à plus ou moins brève échéance, dans un tableau de contractions spasmodiques.

B. — ENDOTOXINES. Ces poisons sont très différents des précédents. D'abord, par leur structure chimique : ce ne sont pas des protéines mais des corps de constitution très complexe au sein de laquelle entrent des polypeptides, des glucides et des lipides. En second lieu, par leur mode de production : ils ne sont pas rejetés par la bactérie dès leur formation (comme le sont les exotoxines). Une fois formés, ils continuent de faire partie de la substance même de la bactérie. Ils sont un des constituants essentiels de la paroi. Ajoutons enfin qu'à poids égal, la toxicité des endotoxines apparaît considérablement moins accusée que celle des exotoxines : pour tuer une souris, par exemple, il faut, en moyenne, un dixième de mg. d'endotoxine.

Quels sont les germes capables de produire des endotoxines ? Je répondrai que ce sont à peu près tous les germes Gram-négatif, par exemple les bacilles typhique

et paratyphique, les colibacilles et encore les gonocoques, les méningocoques, etc...

Les exotoxines, ai-je dit plus haut, exercent dans l'organisme qu'elles viennent à atteindre une action qui leur est propre. Ainsi, l'exotoxine tétanique frappe surtout le tissu nerveux. L'exotoxine staphylococcique frappe de préférence la peau en entraînant, localement, d'importantes nécroses. Avec les endotoxines, rien de comparable. Cette fois, aucune spécificité ne se manifeste. Quelle que soit la nature du germe qui leur a donné naissance, elles entraînent toujours, après leur isolement, leur mise en solution dans l'eau et leur injection dans un organisme (cobaye, lapin, rat, souris...), les mêmes symptômes. Quelques heures après l'injection, on observe chez les animaux de l'hyperthermie (qui pourra devenir plus tard de l'hypothermie), une leucopénie (qui pourra être suivie de leucocytose), un état de choc et de prostration accusé. A l'autopsie, on découvre, dans les organes, des hémorragies diffuses et des lésions pycnotiques, celles-ci étant particulièrement prononcées au niveau de la rate, des ganglions, des testicules. Devant l'étendue de ces lésions, on ne peut s'étonner d'une issue fatale.

Les endotoxines, au demeurant, ne sont pas seulement capables de déterminer des lésions générales. Quand elles reposent encore à la surface des bactéries, elles ont le pouvoir de protéger celles-ci contre l'attaque des phagocytes. J'aurai à venir sur ce point dans un instant.

IV

Second groupe de facteurs bactériens doués d'un pouvoir agressif : les *leucocidines*. On désigne sous ce nom des pro-

duits particuliers sécrétés par les microbes et qui semblent doués d'une toxicité *directe* pour les globules blancs.

La première leucocidine connue fut celle que secrète le staphylocoque. Depuis, plusieurs autres ont été mises en évidence, en particulier, des leucocidines streptococciques.

Leur importance à toutes est évidente. Par leur pouvoir de tuer, puis de lyser, les globules blancs, elles privent manifestement l'organisme d'un de ses soutiens les plus efficaces. Devant les germes infectants, l'armée des polynucléaires, annihilée, ne peut plus élever de rempart. Les germes, dès lors, auront beau jeu pour se répandre en tous points.

Ces dernières années, ont été acquises diverses données nouvelles sur la nature chimique et le mode d'action anticellulaire des leucocidines, mais il ne semble pas que l'essentiel soit déjà dit. Je n'insisterai donc pas davantage.

Sur les *enzymes* capables, eux aussi, d'assurer, du moins en partie, la virulence d'un germe, je serai également bref. Tout de même, je ne peux pas passer sous silence les collagénases, les hyaluronidases, enfin la coagulase staphylococcique.

Les collagénases ne sont produites que par un tout petit nombre de germes, quelques-uns aérobies, quelques autres anaérobies. Au nombre de ces derniers, je mentionnerai le bacille histolytique et le bacille *perfringens*. Les collagénases, parce qu'elles ont le pouvoir de « dissoudre » le collagène, peuvent atteindre sévèrement toute la trame conjonctive. Des nécroses, des pertes de substances étendues, prennent place à leur contact, gênant l'action des phagocytes, favorisant la dissémination des microbes.

Les *hyaluronidases*, vous le savez déjà, sont des enzymes qui appartiennent normalement à certains tissus comme le testicule des mammifères. Mais elles peu-

vent appartenir encore à des microbes comme les streptocoques. Elles sont capables d'agir sur un constituant de la trame conjonctive différent du collagène mais aussi fondamental : l'acide hyaluronique. Cet acide une fois détruit, la « perméabilité » de la trame devient beaucoup plus grande que normalement. Le fait est facile à voir : injecte-t-on dans la peau qui a reçu une solution d'hyaluronidase une suspension d'encre de Chine, les grains d'encre, au lieu de rester réunis au point d'injection, sont disséminés sur une large surface. Un fait identique se produit avec les microbes. Le pouvoir que possède un germe de sécréter une hyaluronidase lui permet, d'emblée, une diffusion particulièrement large.

Coagulase staphylococcique. Cette substance est de connaissance relativement récente et il serait prématuré de dire qu'on a déjà percé tous ses secrets. Comme son nom l'indique, elle se montre capable de provoquer une coagulation du plasma sanguin. Mais tous les plasmas ne se montrent pas également sensibles à son action et, quand elle se produit, la coagulation est le résultat, non d'une action directe de la substance, mais d'un processus très particulier et d'ailleurs encore discuté.

... Cela dit, j'en arrive aux derniers facteurs qui méritent notre considération, j'entends les *facteurs de virulence attachés à la cellule bactérienne*. Ces constituants cellulaires ont le pouvoir, non pas de détruire — comme une leucocidine — les leucocytes, mais de rendre les microbes particulièrement résistants à la phagocytose par les leucocytes, par les monocytes, par les divers éléments du système réticulo-endothélial. Parmi ces constituants, quelques-uns sont de connaissance relativement ancienne. Il s'agit,

par exemple, des *polysaccharides* qui appartiennent à la capsule de quelques germes comme les pneumocoques. A rappeler également ici ces *endotoxines* dont nous avons déjà eu l'occasion de nous entretenir. En ce cas, l'expérience a maintes fois révélé que, de deux bacilles typhiques, l'un revêtu d'endotoxine, l'autre non, le plus aisément appréhendé par les cellules est le second. Autre constituant également doué d'un pouvoir antiphagocytaire : c'est la *protéine M*, substance à part qui appartient à certains streptocoques. On a pu soutenir enfin que la présence d'*acide hyaluronique* dans la paroi des germes pouvait elle-même renforcer la virulence en gênant l'attaque phagocytaire. Ici, une expérience est classique : des streptocoques virulents, porteurs d'acide hyaluronique, perdent leur pouvoir pathogène quand on vient à les injecter chez un animal avec de l'hyaluronidase. Je disais, plus haut, que cet enzyme pouvait, dans certains cas, augmenter le pouvoir pathogène d'un microbe en favorisant sa diffusion. On voit, par le nouvel exemple que je viens de donner, qu'elle peut encore, dans un cas il est vrai très particulier, se comporter comme une alliée de l'organisme.

Les différents constituants dont je viens de parler, qui sont capables d'agir comme des principes antiphagocytaires, parce qu'ils sont connus depuis assez longtemps, sont aujourd'hui seuls classiques. Mais, peut-être, ne sont-ils pas

les plus intéressants. D'autres, en effet, viennent d'être découverts grâce à certains artifices d'examen. L'artifice, en ce cas, avait été le suivant : les germes étudiés ne provenaient pas de souches entretenues depuis longtemps sur des milieux *in vitro* ; ils provenaient directement d'organismes infectés. Un tel examen a déjà porté sur des bactériidies charbonneuses, le bacille pesteux, des streptocoques pyogènes, des pneumocoques, des staphylocoques, la *Listerella monocytogenes*. Il a permis d'apprendre que, sur les plans antigénique et toxique, sur le plan encore de la virulence, les germes extraits directement de l'organisme sont très particuliers. Leur richesse en enzymes est souvent plus grande. Surtout, ils portent des facteurs antiphagocytaires qu'on ne trouve pas dans les souches de laboratoire, les facteurs en question étant constitués, parfois par des protéines, parfois par des polypeptides.

On peut penser que, dans les années à venir, l'examen de germes provenant directement de l'organisme est appelé à prendre une grande importance. De nouveaux facteurs antiphagocytaires pourront donc être révélés.

A l'heure présente, il reste difficile de préciser comment de tels facteurs peuvent agir. S'opposent-ils simplement à la préhension des germes par les phagocytes ? Gênent-ils plutôt la digestion intracytoplasmique ? On ne connaît pas encore la réponse. Mais que ne peut-on attendre du progrès ?

V

Maintenant, abandonnons les bactéries elles-mêmes. Le moment est venu de considérer l'autre système de forces en pré-

sence, celles qui concernent l'organisme. De ce côté-là, aussi, les travaux de ces dernières années ont été bénéfiques. On

aurait même le droit de parler de révélations tout à fait surprenantes.

Que, dans l'établissement d'un pouvoir pathogène, interviennent des facteurs liés à l'organisme lui-même, là encore, on peut dire que les faits qui le prouvent sont innombrables. Et, là encore, on peut ajouter que les uns ont été fournis par la simple observation, les autres par l'expérimentation.

Faits d'observation ? Je prendrai la liberté de vous rappeler les suivants : un germe donné peut se montrer très inégalement pathogène pour les différentes espèces spontanément soumises à son action. Ainsi, le lapin se montre moins sensible que le cobaye à la bactériémie charbonneuse, le bacille morveux peut se multiplier à la fois chez le cheval, l'âne et l'homme mais il donne, chaque fois, des tableaux d'infection distincts (infection aiguë ou chronique, selon les cas). A l'opposé, une même espèce animale peut être réceptive à certains microbes alors qu'elle demeure tout à fait réfractaire aux atteintes de germes différents. C'est ainsi que le chien, qui contracte si facilement la rage, ne « prend » pas le charbon. Le rat, qui résiste lui aussi à la bactériémie charbonneuse, est presque toujours une victime sans défense du bacille pesteux. Cependant, je pourrais ajouter qu'à côté de différences d'espèces, peuvent intervenir encore des différences de races. On peut même relever des différences d'individu à individu. Des cobayes inoculés avec une dose identique de bacilles tuberculeux ne mourront pas tous dans le même temps, surtout si la dose de bacilles injectés a été faible. Dans l'espèce humaine, le virus poliomyélitique ne parvient à produire ses ravages que chez quelques sujets.

Autres facteurs mis en évidence par l'observation ? Je rappellerai cette fois le rôle joué par certains *facteurs génétiques*, le *sexe*, l'*âge*... Au sein des espèces animales, en effet, il est relativement facile d'isoler des souches particulièrement sensibles ou au contraire très peu sensibles à un germe donné (bacille tuberculeux, bacille typhique). On aurait par ailleurs des raisons de croire que, dans l'ensemble des êtres vivants, les sujets du *sexe féminin* sont un peu moins sensibles aux infections que ceux du *sexe masculin*. En général, les *individus jeunes* représentent les proies les plus faciles pour les bactéries et les virus. Cette sensibilité particulièrement élevée peut d'ailleurs n'exister que pendant quelques jours, au lendemain de la naissance.

Est-ce tout ? Non. Pour être complet, je devrais mentionner encore les effets indiscutables que peuvent produire, dans le déclenchement d'une infection, la nature de l'*alimentation absorbée* (cf. : pouvoir proinfectieux d'un grand nombre d'avitaminoses), l'*état hormonal*, les *états émotionnels*, la *fatigue*, les *conditions de cohabitation*... De même, je devrais faire état, avec raison, des *facteurs climatologiques* (influence nocive des vents et des brouillards, influence bénéfique des séjours à une certaine altitude...). Mais à quoi bon insister davantage ? Tout cela est bien connu de vous.

Voyons plutôt, sans davantage attendre, ce qui se rapporte aux *faits d'expérimentation*. L'un, connu depuis la fin du XIX^e siècle, est d'une immense valeur : c'est celui qui concerne l'influence heureuse généralement exercée par une vaccination ou une sérothérapie. D'autres, cependant, sont de connaissance relativement récente.

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, devant les troubles graves observés dans les camps de prisonniers et de déportés, l'idée venait à quelques-uns de rechercher expérimentalement, l'effet des *carences* en protéines ou en vitamines sur la résistance présentée par divers animaux aux infections. Des observations nombreuses étaient, dans ces conditions, réunies. Elles montraient que, très souvent mais non toujours, de telles carences augmentent la sensibilité des animaux aux attaques bactériennes et virales. La dite accusation de sensibilité peut d'ailleurs se produire après l'application de régimes très peu carencés.

Vers 1950, une nouvelle source de documents allait naître. L'effet antiinflammatoire de certaines *hormones*, en particulier de l'ACTH et de la cortisone, ayant été découvert, ces nouveaux médicaments se voyaient brusquement utilisés, du jour au lendemain, sur une grande échelle. Avec des résultats spectaculaires certes... mais, aussi, de temps en temps, on avait la surprise de constater qu'un malade guéri par exemple de rhumatismes devenait la victime pratiquement sans défense d'un staphylocoque ou d'un bacille de Koch. Ces derniers temps, notre connaissance du pouvoir proinfectieux — ou

quelquefois anti-infectieux — des hormones devait, elle aussi, beaucoup progresser.

Nouvelle étape en 1955. La grande peur de la bombe atomique, des *radiations ionisantes* autrement dit, venait de prendre naissance. Comment ces radiations, mêmes appliquées à doses faibles, pouvaient-elles entraîner la mort ? Des expériences conduites au laboratoire apprenaient bientôt que, dans nombre de cas, cette mort tenait à une maladie bactérienne. Jusqu'alors, quelque part dans l'organisme, un germe avait végété à l'état latent. Brusquement, sous l'effet des rayons, il sortait de sa léthargie... Il se multipliait, pénétrait dans le sang, produisait finalement en tous lieux ses ravages.

Deux ans plus tard, nouvelle découverte de laboratoire. Cette fois, on avait observé la chose suivante. L'injection chez l'animal de *certaines extraits bactériens*, notamment de ces endotoxines dont je parlais plus haut, peut entraîner une augmentation ou une diminution de la résistance de cet animal aux germes les plus divers. En fait, ce qu'on observe alors, c'est d'abord une diminution, puis une augmentation de la résistance.

VI

Tous ces faits fournis par l'observation ou par l'expérimentation, quelles explications leur donner ? Comment, devant un germe donné, la résistance d'un organisme peut-elle, dans la réalité, se montrer aussi variable ? Pour quelle raison augmente-t-elle, pour quelle raison diminue-t-elle ?

Dans un cas au moins, la réponse est apparemment facile. Ce cas a trait aux vaccinations et à la sérothérapie. Si, après avoir mis en œuvre ces thérapeutiques, la résistance du sujet traité augmente, c'est manifestement que ses humeurs se sont enrichies en *anticorps*. Or, l'action bénéfique de ceux-ci ne saurait plus être

mise en doute. Les anticorps ont le pouvoir de neutraliser les exotoxines et les endotoxines, ils préparent l'englobement et la digestion des bactéries par les phagocytes, ils empêchent les virus de s'immiscer dans les cellules sensibles.

Cependant, que peut-il se passer là où, de toute évidence, des anticorps ne sont pas à même d'intervenir ? On crut avoir trouvé la réponse quand, en 1954, PILLEMER eut révélé l'existence de la *properdine*. On sait que, de ce nom, on désigne une protéine particulière que véhiculeraient les sérums et qui est douée d'un net pouvoir anti-infectieux. Fait curieux, alors que le titre en anticorps d'un sérum demeure normalement stable, celui de la properdine varie spontanément de semaine en semaine ou, expérimentalement, après injection, par exemple, d'une endotoxine. On tentait aussitôt d'établir un rapport entre les titres élevés et le maximum de résistance anti-infectieuse observée. Une nette concordance était d'abord relevée. On criait donc victoire. On tenait enfin l'explication cherchée. Pour cette raison, du jour au lendemain, la properdine prenait, en Biologie, rang de vedette... Hélas, la durée de cette satisfaction devait être éphémère. De nouveaux cas étaient rapportés où la belle concordance d'abord mise en relief n'existait plus. De toute évidence, c'est vers une autre solution qu'il fallait s'orienter.

Alors, on se mettait à reconsidérer le problème de l'*immunité cellulaire*, celle qui repose sur l'intervention de cellules spécialisées (polynucléaires, monocytes, macrophages, éléments divers du système réticulo-endothélial). Sur ce point, une donnée avait eu longtemps force de loi : celle qui prétendait que le pouvoir phagocytaire « intrinsèque » d'une cellule reste à peu près toujours le même. Ce

pouvoir, par exemple, n'était pas passible d'augmentation après vaccination, ou sérothérapie. L'anticorps ne touchait pas directement aux cellules. Il se contentait de faciliter leur tâche en « *affaiblissant* » bactéries et virus.

Quand on avait remarqué que des avitaminoses ou des radiations ionisantes étaient capables de diminuer la résistance anti-infectieuse de l'organisme, on s'était demandé naturellement quelles étaient les raisons de ce phénomène. Peu de travaux, cependant, avaient été consacrés aux phagocytes. C'est du côté des anticorps que s'était tournée presque exclusivement l'attention des expérimentateurs. Était-ce avec raison ? Non. Nous allons le voir à présent.

La vérité, en ce cas, devait se révéler de façon inattendue et par des voies très différentes.

Une de ces voies était ouverte, en France, par HALPERN et son équipe. Ceux-ci avaient eu le mérite de mettre au point une méthode nouvelle qui leur permettait de calculer l'importance du pouvoir phagocytaire de cellules qui tapissent les sinusoides sanguins et qui sont, en fait, des éléments du système réticulo-endothélial. Grâce à cette méthode, ils finissaient par remarquer que — en égard au bon état ou au médiocre état des animaux d'expérience — le pouvoir en question pouvait subir de larges variations.

Une autre voie était tracée par ROWLEY et ses élèves à l'occasion de recherches entreprises sur le problème de la properdine. Finalement, les anglais étaient conduits à mettre en évidence, chez la souris et le lapin, à côté des fluctuations du taux sérique de la properdine, une activité phagocytaire variable, tantôt dimi-

nuée, tantôt augmentée. Les cellules surtout examinées étaient des macrophages.

Les recherches de ROWLEY, comme celles de HALPERN, étaient sans aucun doute intéressantes. Néanmoins, plus remarquables encore devaient être celles qui étaient entreprises environ dans le même temps et qui concernaient, celles-là, le *devenir de certains germes* (bacille de Koch, Brucella, *Histoplasma capsulatum*, streptocoques) *après leur ingestion par des monocytes*. Ces germes, on le sait, ont la particularité d'être des parasites intracellulaires facultatifs. Autrement dit, parvenus dans le cytoplasme des monocytes, ils peuvent selon les cas ou être détruits par les cellules ou, au contraire, se reproduire activement, leur multiplication conduisant d'ailleurs le plus souvent à la mort des cellules.

Cela connu, on imagine sans peine les expériences qui pouvaient être faites : Pour un examen *in vitro*, on utilisait des monocytes qui provenaient, soit d'animaux normaux, soit d'animaux diversement traités. A une préparation de monocytes, on ajoutait tel ou tel germe puis on regardait ce qui se passait.

Qu'a-t-on vu ? On a vu que, parfois, les germes disparaissaient rapidement de

la cellule, que, dans d'autres cas, ils se multipliaient. On a pu établir des rapports entre l'une ou l'autre de ces évolutions et le traitement qu'avaient subi les animaux qui, secondairement, avaient fourni les cellules. On a remarqué enfin que, dans les cas où les cellules se montrent plus résistantes que de coutume, leur résistance peut être encore accrue par l'addition aux cultures cellulaires de certains sérums.

Quels traitements paraissent le mieux renforcer la résistance cellulaire ? Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut répondre ainsi : c'est, d'une part, une vaccination spécifique, de l'autre, une injection à dose subtoxique d'endotoxine.

Importance de telles expériences ? A coup sûr, capitales.

1) Parce qu'elles achèvent de montrer que le pouvoir phagocytaire d'une cellule — e.g. son pouvoir antimicrobien — reste passible de variations « intrinsèques ».

2) Parce qu'elles indiquent qu'un sérum peut contenir, en dehors des anticorps, bien d'autres types d'*opsonines*, c'est-à-dire de principes capables d'élever la défense cellulaire.

VII

J'aimerais en terminant vous instruire sur les causes intimes qui peuvent modifier directement un pouvoir phagocytaire. J'aimerais vous dire ce qu'est la nature chimique exacte, ce qu'est le lieu de formation des « opsonines » dont je viens de parler. Hélas, la chose n'est pas possible aujourd'hui. Sur ce point, nous en

sommes encore réduits aux hypothèses. A mon avis, les opsonines en question ne doivent pas être tellement différentes de l'*interferon* d'ISAACS.

On sait que cet *interferon*, puissante substance antivirale, apparaît comme conséquence d'un trouble métabolique sur-

venu dans des cellules infectées par un virus.

Dès à présent, il est permis de croire que les variations du pouvoir phagocytaire tiennent, elles aussi, à des perturbations biochimiques.

Ainsi, là encore, ce sera à des biochimistes qu'il appartiendra, en dernière analyse, de jeter la lumière.

Pouvoir pathogène d'une bactérie ? Il résulte, disais-je en commençant, de l'affrontement de deux systèmes de forces opposées.

Nature de ces forces ? Elles sont d'ordre chimique, bien entendu.

Cette remarque explique la lenteur des progrès dans le passé. Mais elle autorise aussi tous les espoirs pour demain.

RÉCENTS DÉVELOPPEMENTS DES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE (1)

par M. ROGER DESAINT,
Ingénieur en Chef des Mines,
Directeur Général de la Compagnie Générale Géophysique.

Au cours des dix années écoulées depuis la conférence de mon Président M. Léon MIGAUX sur les applications de la Géophysique, la géophysique française, elle-même, n'a cessé d'apporter son concours à l'exploration du sous-sol et plus particulièrement à la recherche du pétrole en France, dans toute la zone franc, ainsi qu'à l'étranger. On lui doit la découverte de tous ces gisements dont les noms sont à juste titre bien connus du grand public car ils témoignent des efforts, des sacrifices et de la persévérance de tous nos prospecteurs. Rappelons qu'il s'agit des gisements de Lacq et Parentis dans le Bassin d'Aquitaine; Coulommès dans le Bassin Parisien; Hassi Messaoud, El Gassi, Tiguentourine au Sahara; Ozouri et Pointe Clairette au Gabon; Raguse en Sicile; diver-

ses découvertes en Libye, etc. Ces succès n'ont été obtenus qu'au prix de constants perfectionnements qui ont modifié très sensiblement les procédés et appareillages géophysiques. Il m'a donc semblé que vous pourriez vous intéresser à l'évolution d'une industrie nationale qui s'est révélée aussi fructueuse et je me propose d'en dégager ici les grandes lignes.

La géophysique, comme vous le savez, tend à concourir à la détection des gisements souterrains en étudiant les modifications que leur existence entraîne, de manière directe ou indirecte, sur les différents phénomènes physiques que l'on peut mesurer en surface. Par exemple, si le sous-sol était transparent, nous verrions aisément ces concentrations vraiment exceptionnelles de minéraux utiles

(1) Conférence faite le 14 Février 1963 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

que l'on appelle des gisements et nous pourrions en définir la position, l'importance et la nature. En termes scientifiques, leur étude géophysique reviendrait à analyser les anomalies que ces gisements créent sur un champ électromagnétique particulier, celui des ondes lumineuses. Bien que cet exemple soit du domaine de l'utopie, il peut, tout de même, nous servir d'image, car il existe heureusement d'autres champs physiques pour lesquels le sol est plus ou moins transparent.

C'est ainsi que l'on est conduit à distinguer, en géophysique, les procédés de prospection magnétique, gravimétrique, électrique et enfin sismique. Mais il est temps que j'en revienne à l'objet de cet exposé qui voudrait vous décrire les récents développements de ces diverses méthodes.

Il me faut d'abord rappeler les progrès qui ont été réalisés en prospection gravimétrique. Sans doute, dans le domaine des mesures du champ de la pesanteur, dispose-t-on, depuis de nombreuses années déjà, d'appareils dont la précision — quelques centièmes de milligal — dépasse largement celle des corrections à appliquer aux mesures elles-mêmes, par suite de l'altitude des stations et en raison du relief environnant. Elle est donc largement suffisante. Signalons, cependant, qu'en matière d'appareillage la principale nouveauté réside dans l'emploi en mer, par des profondeurs allant jusqu'à 50 mètres, de gravimètres immergés. L'instrument placé à l'intérieur d'une cloche est descendu et posé sur le fond de la mer où la mise en station se réalise automatiquement. A bord du bateau, l'opérateur fait ses mesures par l'intermédiaire d'un câble et de cellules photo-électriques.

L'interprétation, au contraire, a beaucoup plus évolué. L'introduction des calculatrices électroniques et de nouveaux abaques permet désormais de connaître très rapidement l'effet gravimétrique

d'une structure géologique quelconque. Inversement, on peut dessiner la structure qui, avec la plus grande probabilité, correspond en surface à une anomalie gravimétrique. Au besoin, en calculant et en retranchant les effets perturbateurs de niveaux bien connus, on isole et on met en relief les phénomènes intéressants.

Le géophysicien procède également au calcul de dérivées du champ gravimétrique et applique la méthode dite de « prolongation du champ vers le haut ou vers le bas » selon les conclusions des travaux effectués en France par V. Baranov. Par un traitement mathématique approprié cela revient à filtrer, en fonction de leur amplitude et de leur forme, certains types d'anomalies. Un exemple de cette sélectivité est montré sur la figure 1.

Ces perfectionnements dans l'interprétation s'accompagnent de progrès d'ordre économique. Le rendement mensuel moyen des équipes a augmenté dans des proportions considérables, de 100 stations avant 1945 à 400 en 1957 et jusqu'à 750 en 1961. A qualité égale, le prix de la mesure a très sensiblement diminué.

En prospection magnétique nous devons mentionner le développement pris par les opérations aéroportées dont l'origine en France remonte à 1954. Tandis que la cadence des mesures effectuées au sol reste relativement lente : 60 à 80 points par jour, répartis sur une surface limitée, les mesures aériennes autorisent des rendements considérables : 500 à 1.000 km par jour. Dans ces conditions, on est capable de procéder à des reconnaissances magnétiques servant à établir l'inventaire minier de vastes régions encore peu connues, telles qu'il en existe en Afrique. En quelque sorte, on établit des écorchés géologiques qui, après interprétation et discussion, sont à la base des futures campagnes d'exploration, les mesures à terre étant uniquement destinées à détailler ensuite les anomalies découvertes. Par la magnétométrie aérienne, le prospecteur pétrolier se propose aussi de calculer approximativement la profon-

leur d'un socle cristallin, c'est-à-dire d'évaluer l'épaisseur des séries sédimentaires dont dépendent les possibilités pétrolières d'un bassin. D'importantes prospections aéromagnétiques ont eu lieu tout récemment en France, en Côte d'Ivoire, au Tchad, au Sénégal, etc...

leur développement ; il en résulte que, sur la carte originale, les anomalies ne se placent pas à l'aplomb des phénomènes qui leur donnent naissance. Par la « réduction au pôle » de V. BARANOV, on détermine la carte qui serait obtenue si le champ était effectivement vertical, trans-

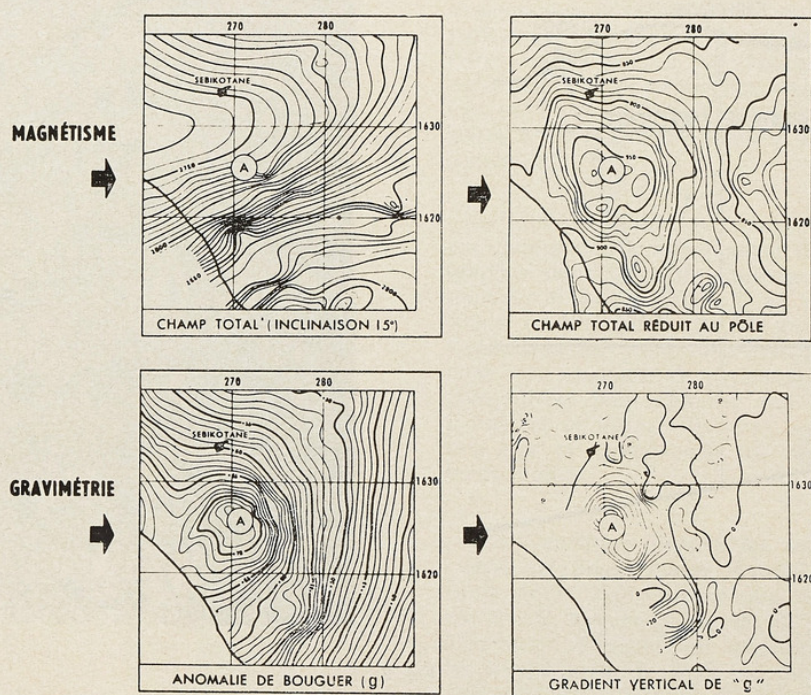


Fig.1

Comme en prospection gravimétrique, les calculatrices électroniques accélèrent singulièrement l'interprétation, tant dans le calcul des abaques que dans celui de la carte « réduite au pôle ». Remarquons à ce propos que l'inclinaison du champ magnétique entraîne non seulement une déformation des anomalies mais encore

formation qui facilite beaucoup l'interprétation qualitative et la comparaison avec d'autres résultats géophysiques. Sur la figure 1, où apparaît la différence entre la carte magnétique brute et sa transformée, on observe une belle corrélation avec la carte gravimétrique du gradient vertical.

PRINCIPE DE LA SISMIQUE REFLEXION

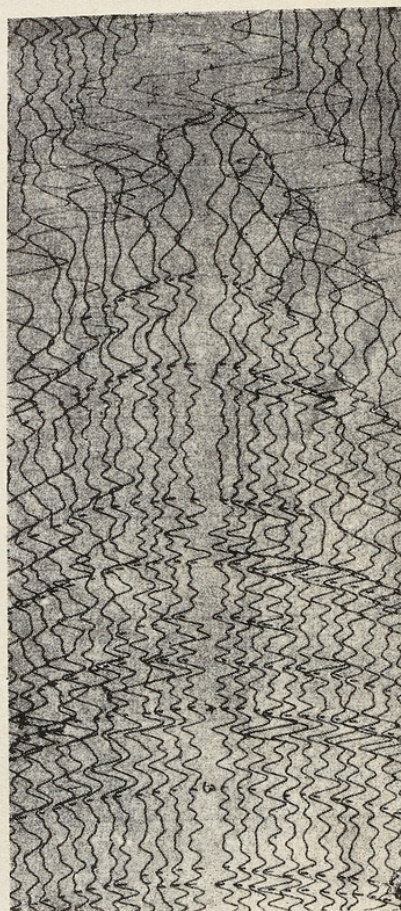
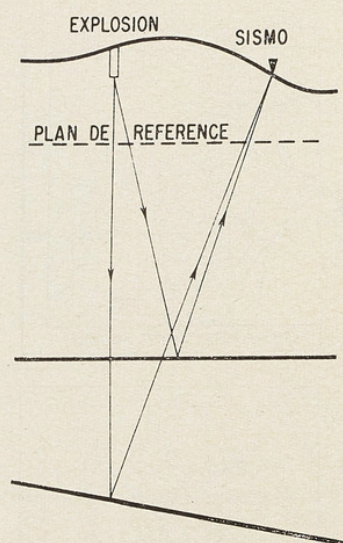


FIG. 2

Après cette première partie consacrée aux méthodes de grande reconnaissance, il me revient d'insister plus longuement sur les multiples applications de la méthode sismique qui, à elle seule, totalise près de 90 % des dépenses de géophysique.

Je rappellerai tout d'abord que le sous-sol peut être considéré comme une juxtaposition de couches sédimentaires reposant sur un socle cristallin. A chaque sur-

face de discontinuité, les ondes émises par une explosion, subissent des réflexions, réfractions, diffractions, etc..., et le sismicien enregistre en surface l'énergie qui s'est réfléchi sur les « miroirs » (figure 2) ou réfractée sur les « marqueurs ». Malheureusement, divers mouvements du sol se superposent aux « signaux » étudiés ; les parasites peuvent être soit constitués par des ondes de surface qui accompagnent l'explosion, soit provoqués par l'agitation permanente

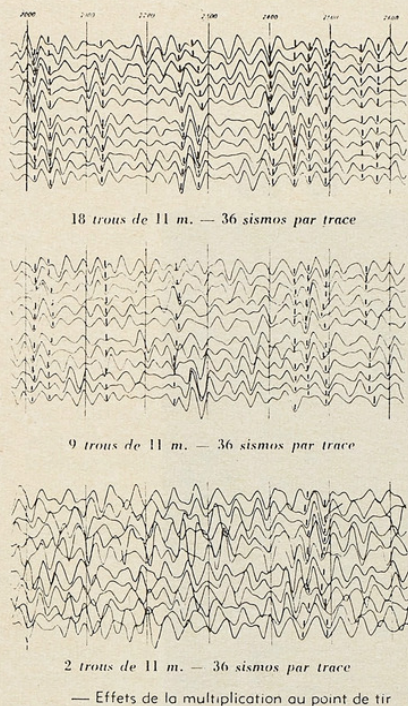


Fig. 3

due au vent, aux microséismes, etc..., qui trouble les enregistrements. Pour améliorer ce qu'il appelle le rapport signal/bruit, c'est-à-dire le rapport entre l'information systématique qu'il recherche et son environnement à caractère aléatoire, le technicien dispose de deux moyens principaux : la « multiplication » et le « filtrage ».

Comme les ondes perturbatrices et les ondes réfléchies suivent des trajets pres-

que orthogonaux, on a eu l'idée de favoriser le signal en couplant sur le terrain des sismographes dispersés autour d'un point central, et également en provoquant l'explosion simultanée de plusieurs charges plus ou moins espacées. Comme le montre la figure 3, le procédé a fait ses preuves et a été vulgarisé sous le qualificatif de « multiplication ». Autrefois, le prospecteur se contentait pour chaque tir d'une charge concentrée et de 6 à 8 sismographes branchés chacun sur un amplificateur. Maintenant, il n'hésite pas à faire exploser jusqu'à 200 charges « multiples » et à disposer sur une longueur allant de 800 à 1.600 mètres une masse de 500 à 2.000 détecteurs reliés à 24 amplificateurs.

La multiplication a été rendue possible par l'apparition sur le marché de sismographes dont le poids diminue régulièrement : 6 kg en 1935, 2 kg en 1950, 500 gr en 1955, moins de 100 gr en 1960. Cependant, les trajets des signaux parvenant à un ensemble de sismographes couplés doivent pour s'ajouter être peu différents et la surface couverte sur le terrain par ce groupement est nécessairement limitée.

Pour améliorer encore les enregistrements, on tient compte du fait que le bruit et le signal n'ont pas le même spectre de fréquence. Par un filtre adapté à la forme du signal, on amoindrit toutes les composantes du bruit qui ne se trouvent pas dans la bande de fréquence du signal. Ce procédé est utilisé depuis les débuts de la prospection sismique : le sismographe est relié à un amplificateur qui non seulement amplifie, mais filtre les signaux avant de les transmettre à la boucle galvanométrique d'un enregistreur photographique. Sur la « trace sismique » ainsi dessinée, apparaissent mieux les « réflexions » et les « réfractations » (fig. 4, présentée pour plus de clarté, en densité variable).

A l'expérience, la méthode se révélait imparfaite, car, avant le tir, l'opérateur

ignore à peu près toujours les réglages qui, en sensibilité et sélectivité, conviendront parfaitement aux conditions locales. La formule idéale aurait consisté à enre-

les plus variées. Le premier sismicien qui ait étudié l'enregistrement reproductible est l'Américain Frank Rieber qui, en 1934, imagina d'utiliser la technique du film so-

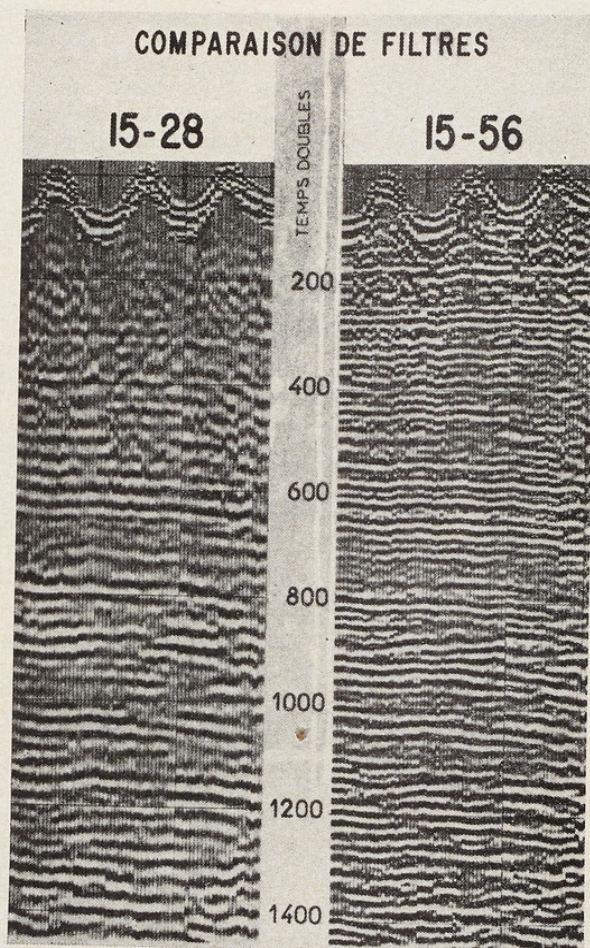


FIG. 4

gistrer fidèlement *toutes* les vibrations du sol sous une forme telle qu'il soit possible ultérieurement de les reproduire à volonté, et de les soumettre aux analyses

nore : enregistrement photographique sur piste à largeur variable et intensité constante, ou à largeur constante et intensité variable. Pour lire ce document, il suffit

de le faire ensuite défiler entre une source lumineuse et une cellule photo-électrique.

Plus tard, il sembla préférable de s'orienter vers l'enregistrement magnétique qui, grâce aux progrès réalisés pendant la deuxième guerre mondiale, devait garantir la finesse et la fidélité de la reproduction. La sortie d'un amplificateur à bande passante très large, par conséquent sans filtrage amont, est alors connectée à un modulateur qui reçoit d'autre part une oscillation porteuse. Le signal sismique module la porteuse en amplitude, en fréquence, ou en largeur d'impulsions, et le résultat est appliqué à une tête qui aimante un support magnétique mobile. Au moment du rejeu, comme dans un magnétophone, on fait passer le ruban magnétique devant la tête liseuse. Le signal est ensuite filtré par un amplificateur dont on modifie à loisir les caractéristiques de filtrages.

Dans l'esprit du sismicien, l'enregistrement magnétique devait surtout servir à rechercher les meilleurs réglages. Cet avantage ne suffit cependant pas à expliquer pourquoi, en 1962, huit ans après l'apparition des premiers appareils commerciaux, presque toutes les équipes sismiques travaillant aux U.S.A., en Afrique, Europe de l'Ouest..., ont recours à l'enregistrement magnétique. La raison en est que les ressources de cet enregistrement se sont révélées considérables. Elles ont été largement exploitées à l'intérieur de bureaux centraux de calcul où sont installées les machines à gros rendement qui traitent, chaque mois, des centaines, ou des milliers de documents.

Examinons brièvement ces avantages considérables de l'enregistrement magnétique.

Dans le passé, les sismogrammes n'étaient lisibles que par des techniciens entraînés. Ceux-ci considéraient attentivement, et film par film, chaque trace ou groupe de traces sismographiques, ob-

servaient dans leurs moindres détails les déformations d'une courbe plus ou moins sinusoïdale. Un examen aussi minutieux était lent et coûteux. En outre, l'œil ne percevait qu'un élément très court du profil sismique.

Le rejeu des rubans magnétiques permet désormais d'assembler ces documents sous forme de coupes groupant tous les enregistrements obtenus sur un profil long de plusieurs kilomètres. Un système de présentation très suggestif : densité ou aire variable, est également utilisable.

De plus, par les corrections « statiques » et « dynamiques », sont éliminés les effets du relief et de la zone altérée en surface, ainsi que l'influence de la distance point d'explosion - sismographe. Ces corrections sont réalisées en décalant les têtes magnétiques d'enregistrement (fig. 14 par exemple). Sur une coupe ainsi régularisée, où tout est ramené à des temps verticaux calculés à partir d'un même plan de référence, et où l'on a remplacé les courbes sinusoïdales d'autrefois par des alternances de teintes claires et sombres, l'observateur embrasse d'un seul regard l'ensemble d'une structure géologique. La continuité des horizons, les biseaux stratigraphiques, les accidents tectoniques, les phénomènes de diffraction se détachent nettement, même si le niveau du bruit trouble quelques enregistrements.

Il n'en faut pas déduire pour autant que le rôle de l'interprétation est assumé par les machines. A celles-ci revient seulement le traitement de l'information. En fonction des ordres reçus, elles exécutent les opérations : calage, correction, assemblage. Elles délivrent des coupes sismiques qui diffèrent à la demande, par la présentation, les échelles, les filtrages et le contrôle de sensibilité. Les nouveaux documents permettent seulement d'aller beaucoup plus vite et plus loin dans l'interprétation qui relève toujours de la science, de l'expérience, en un mot du talent de l'interpréteur.

EXEMPLE DE COMPOSITION
Filtres 1/25_1/60

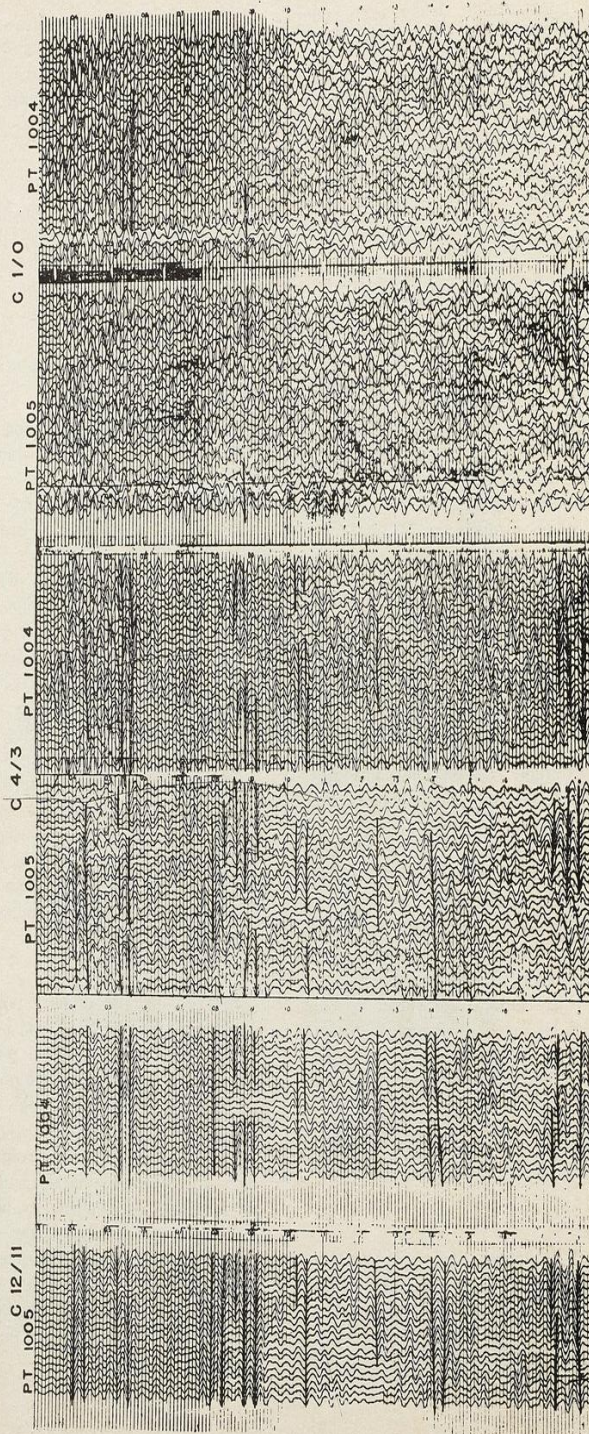


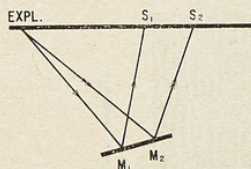
Fig 5

Ainsi armé pour mieux exploiter les sismogrammes, le prospecteur a éprouvé, convenons-en, une petite désillusion. Il s'est aperçu que, malgré la multiplication sur le terrain et le filtrage, il fallait encore,

Ce mode de « composition » des traces (figure 5) bien qu'intéressant, reste approximatif; puisque les trajets associés ne correspondent pas au même point d'impact sur le miroir. Il ne s'applique en pratique qu'à des séries subhorizontales.

EXEMPLE DE COMPOSITION

COMBINAISON DES TRAJETS EM_1S_1 , EM_2S_2



EXEMPLE DE COUVERTURE MULTIPLE

COMBINAISON DES TRAJETS (APRÈS CORRECTIONS) $E_1M_1S_1$, $E_2M_2S_2$

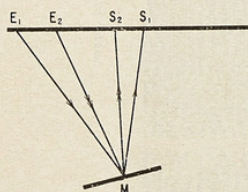


Fig. 6

dans certains cas, améliorer le rapport signal/bruit. Au moment du rejeu des rubans magnétiques, il a combiné entre elles plusieurs traces sismiques, de manière à mettre en phase et ajouter les signaux.

Depuis peu de temps, il a été trouvé un remède à ce défaut. Par le procédé dit de la « couverture multiple » (fig. 6), on se propose d'ajouter des traces qui correspondent à des emplacements différents sur le terrain, mais les positions des sismographes et des points de tir sont combinés de façon que les points d'impact sur les miroirs soient confondus. Après correction, on associe par conséquent des traces dont les distances du point de tir aux sismographes varient entre de larges limites. Le pendage des couches n'a plus aucune importance et on peut atteindre un *très grand* « coefficient de multiplication ». Les limitations de ce procédé sont seulement d'ordre économique. Pour une longueur donnée de profil, le nombre de tirs est, en effet, proportionnel au degré de couverture. Pour avoir une couverture d'un degré élevé, 6 par exemple, il faudrait, pour le même avancement sur le terrain, sextupler le nombre d'explosions, ce qui provoquerait une forte baisse du rendement des équipes. En réalité, on compense cet inconvénient en augmentant la distance entre traces sismiques. Le gain en qualité est évident sur la figure 7 où sont confrontées trois « couvertures » d'ordre 1, 3 et 12, expérimentées en tectonique calme. Il est aussi apparent sur les documents de la figure 8, obtenus en zone faillée, et sur la figure 9 qui concerne une région techniquement très difficile.

Une dernière difficulté reste à surmonter. Aux ondes, qui reviennent en surface (fig. 10) après réflexion sur un miroir, s'en ajoutent d'autres, qui émergent seulement après s'être réfléchies entre plusieurs miroirs, en général parallèles (miroir virtuel M'). L'élimination de ces « réflexions multiples », qui impriment sur la coupe des horizons fallacieux, demeure délicate dans

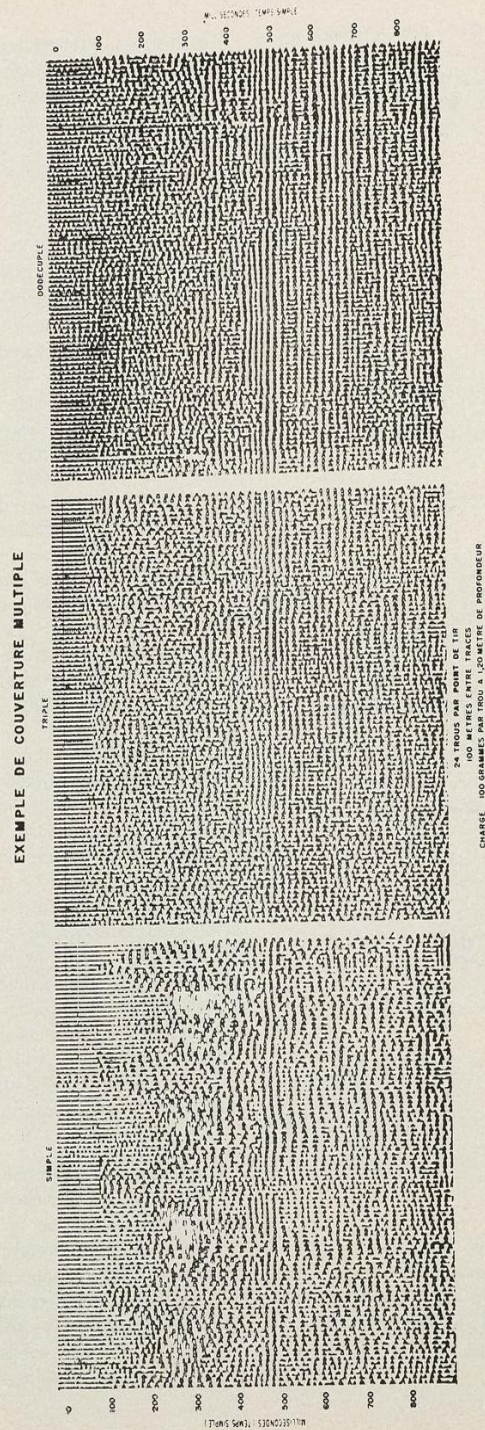


Fig. 7

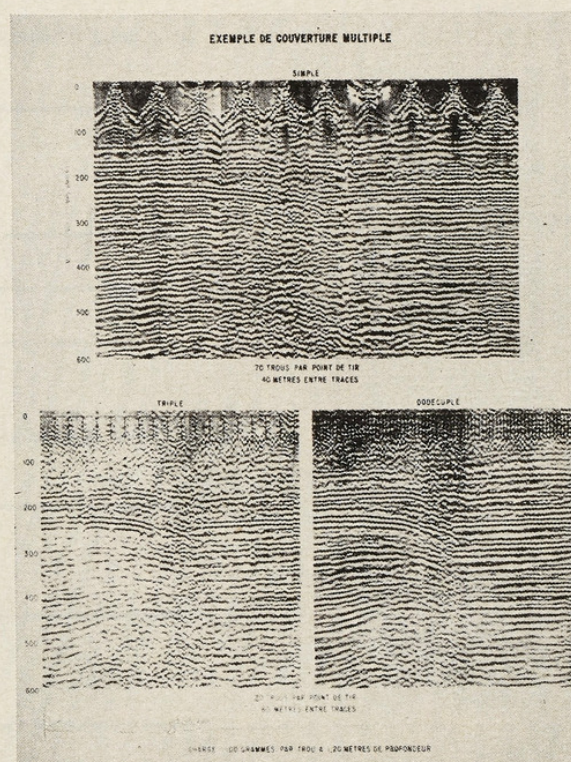


FIG. 8

les régions où il existe de nets contrastes de vitesse, entre lesquels des phénomènes de « résonance » peuvent aisément s'établir. La couverture multiple s'avère ici

encore intéressante en ce sens que, seule, elle élimine une bonne partie de ces phénomènes aberrants, compte tenu du fait qu'ils n'ont pas, sur les miroirs, les mê-

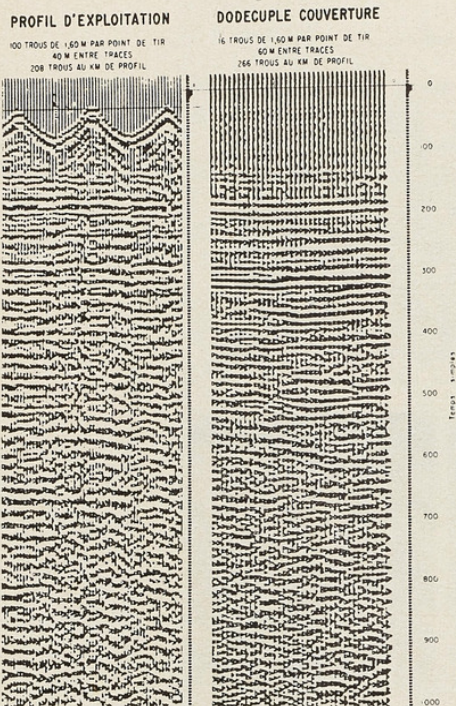


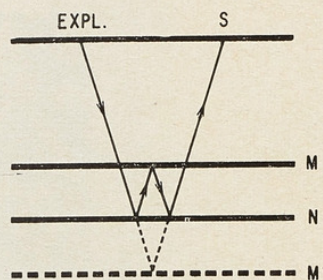
Fig. 9

mes points d'impact que les réflexions réelles et qu'ils ne se propagent pas dans des conditions identiques.

Ainsi, avec l'enregistrement magnétique, est-on parvenu à de remarquables résultats dont nous tenons à présenter encore deux exemples. L'un concerne un problème de biseaux beaucoup plus fa-

REFLEXIONS MULTIPLES

$M' = \text{IMAGE DE } M \text{ PAR RAPPORT A } N$



$M' = \text{IMAGE DE } M \text{ PAR RAPPORT A LA SURFACE}$

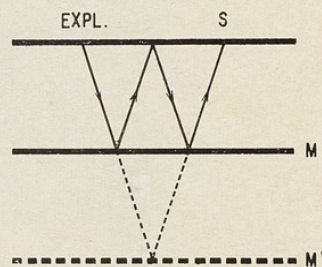


Fig. 10

cile à résoudre (figure 11), grâce à la régularisation et à la présentation en aire variable. L'autre fait appel à la notion de diffraction : figure 12. Les arrivées d'énergie diffractées proviennent de discontinuités tenant à des interruptions de niveaux par faille ou érosion. Le point A se comporte, de ce fait, comme un point brillant. Très utiles pour repérer exacte-

BISEAUX

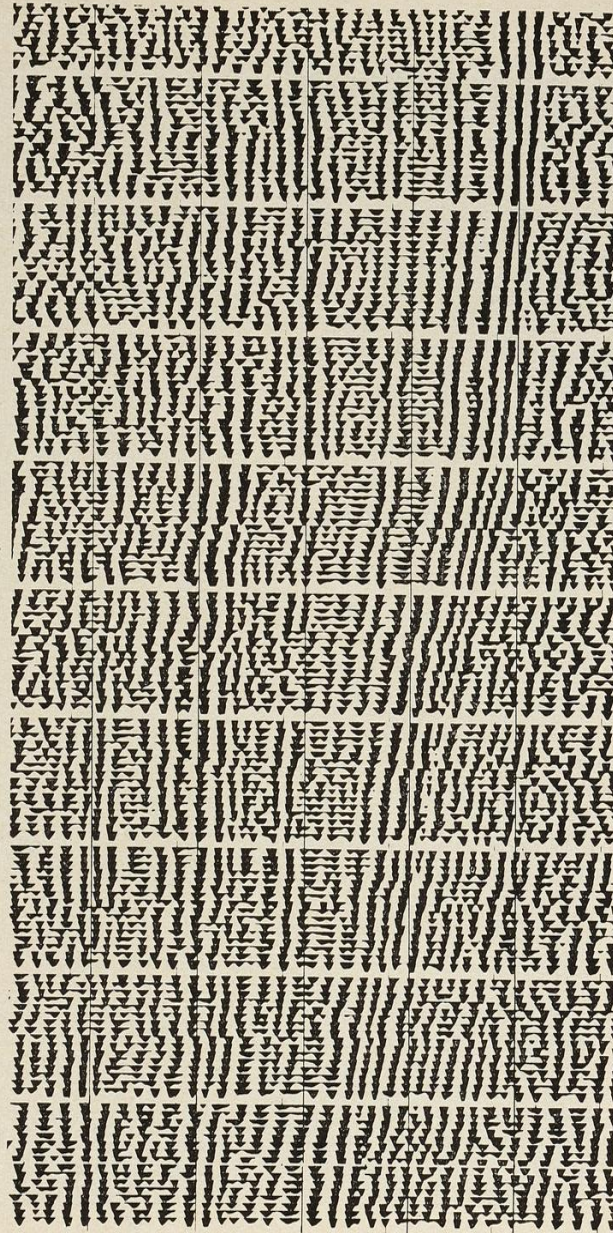
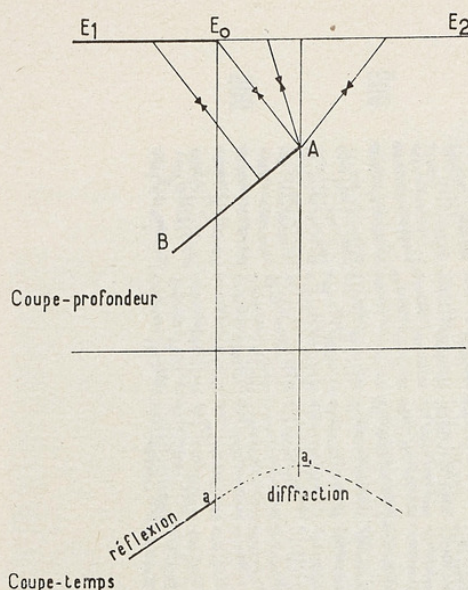


Fig. 11

500 600 700 800 900



PRINCIPE DE LA DIFFRACTION

Fig. 12

Parvenus à ce stade (multiplication des charges et des sismographes, recours systématique à l'enregistrement magnétique) les sismiciens recherchent encore des perfectionnements.

Il existe en effet toute une série d'opérations que l'on groupe dans la formule « filtrage linéaire ». Il s'agit d'une généralisation mathématique de la notion classique de filtre, qui permet théoriquement de simuler n'importe quelle loi de réponse en fréquence. Les machines des bureaux centraux se prêtent assez bien à ces opérations.

En sismique marine, par exemple, il est devenu possible d'éliminer les réverbérations multiples qui s'amorcent entre la surface et le fond de la mer (fig. 15).

Nous devons signaler une autre application : la déconvolution, transformation qui conduit à remplacer la trace sismique originale, superposition d'un grand nombre

ment les accidents géologiques, ces arrivées sont peu énergétiques. Elles se discernaient mal ou passaient inaperçues sur les anciens sismogrammes. Avec les nouveaux documents, elles deviennent beaucoup plus perceptibles (fig. 13).

L'intérêt des modes actuels de présentation est tel que le géophysicien cherche à régénérer les documents qui, autrefois étaient enregistrés directement sur papier ou pellicule. Les films sont relus à l'aide d'appareils spéciaux (transcorder aux U.S.A., suiveur de courbe en France), qui assurent leur transcription sur piste magnétique. Par le simple passage dans un central, d'anciens travaux sont revalorisés, comme en témoigne la coupe reproduite sur la figure 14.

DIFFRACTION A PARTIR D'UN HORIZON FAILLÉ

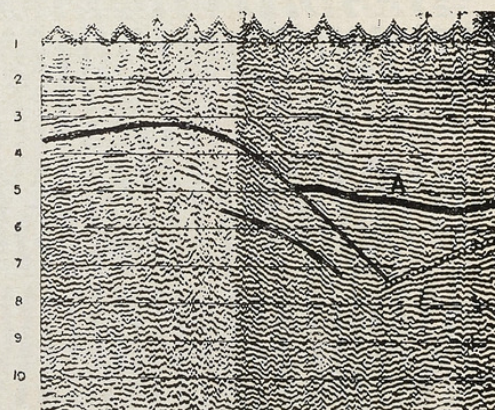


Fig. 13

SECTION OBTENUE A PARTIR D'ANCIENS FILMS

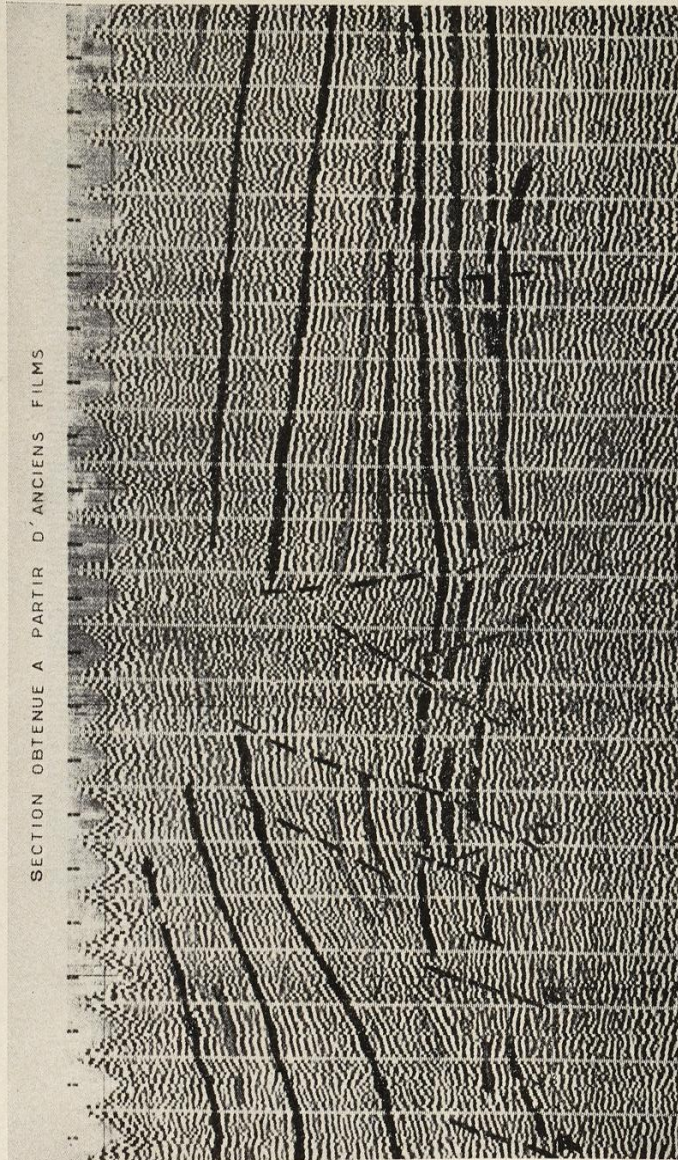


Fig. 14

de signaux d'allure sinusoïdale à plusieurs arches, par la suite d'impulsions brèves qui leur ont donné naissance.

Dès que se répandit le carottage continu de vitesse, c'est-à-dire la mesure directe, dans les forages, de la vitesse des

ELIMINATION DU

"SINGING EFFECT"

SECTION ORIGINALE

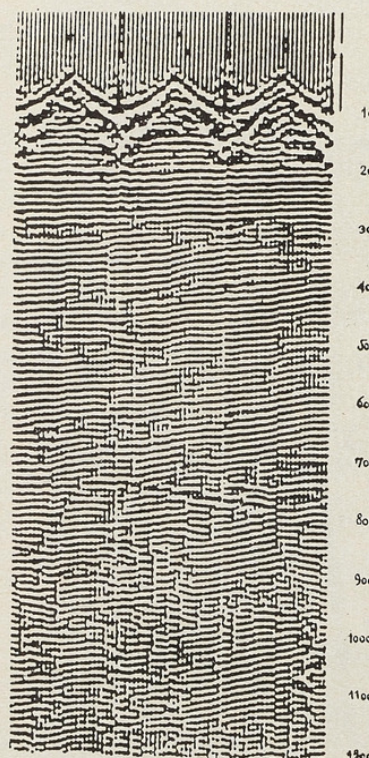
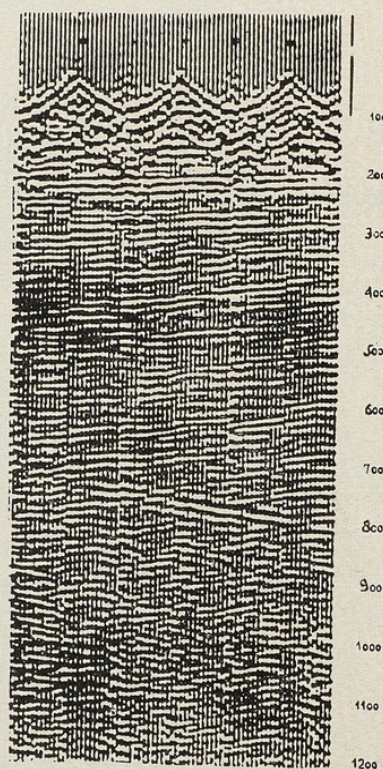
SECTION FILTRÉE
PAR LIGNE A RETARD

Fig. 15

Comme vous allez en juger, ce problème de la déconvolution est l'un des plus passionnants à résoudre.

ondes élastiques (détermination faite sur des épaisseurs de quelques mètres ou décimètres), l'idée naquit de calculer le

sismogramme théorique — ou film synthétique — que l'on devrait, en principe, enregistrer à proximité d'un forage. En France, les études dans ce domaine furent menées depuis 1958 par l'Institut Français du Pétrole sur modèle analo-

en fonction de la profondeur, on en déduit, en fonction du temps, la loi de vitesse et la suite des réflexions directes. A partir de cette suite, on calcule par un processus itératif les réflexions multiples qui sont engendrées par les différents ho-

COMPARAISON ENTRE FILMS SYNTHÉTIQUES (FS) SANS MULTIPLES

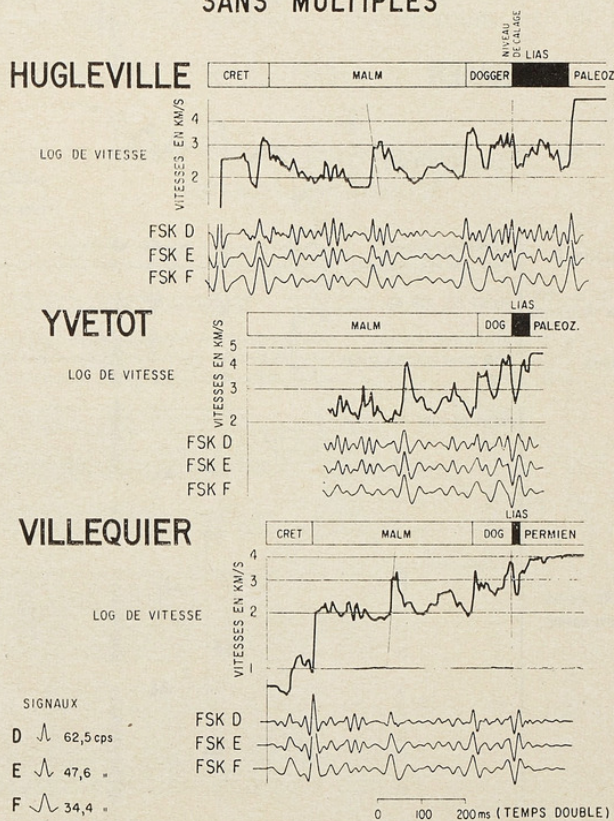


Fig. 16

gique, et à la Compagnie Générale de Géophysique, par MM. BARANOV et KUNETZ qui élaborèrent une solution mathématique du problème.

Les étapes successives sont les suivantes. Le carottage ayant fourni les vitesses

et les réflexions directes, on en déduit, en fonction de la profondeur, la loi de vitesse et la suite des réflexions directes. Pour le rendre comparable au document réellement enregistré sur le terrain, il est

nécessaire de réaliser un filtrage approprié. Mathématiquement celui-ci est simulé au moyen d'une opération appelée « convolution ».

sants que pour le choix des moyens les plus appropriés à l'étude d'un niveau particulier.

La figure 16 montre trois films synthé-

COMPARAISON ENTRE FILMS SYNTHÉTIQUES (FS) ET FILMS RÉELS (FR)

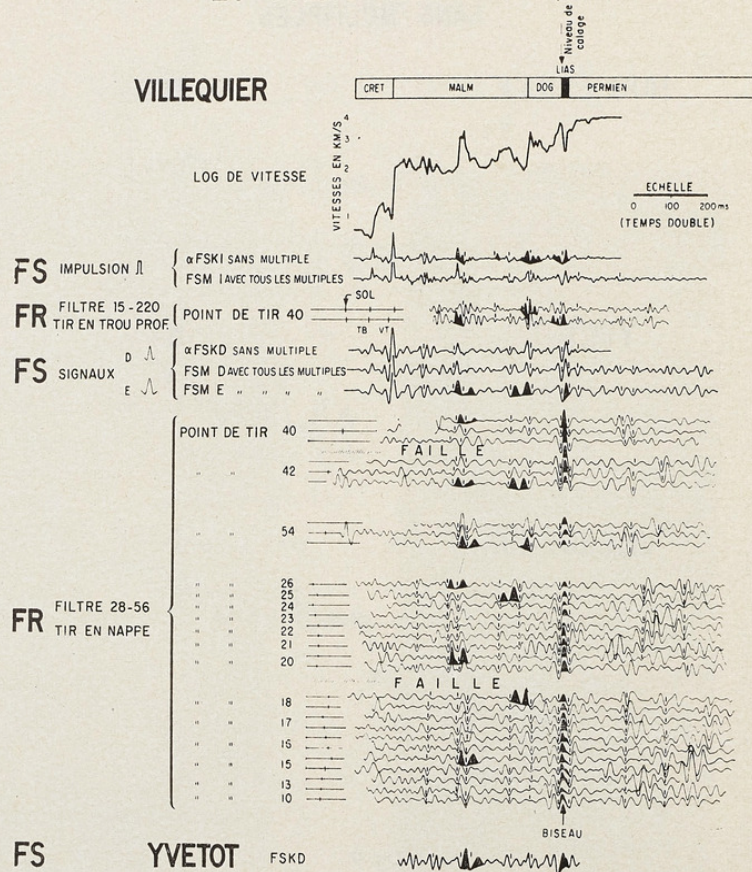


Fig. 17

Ces travaux ont montré l'importante contribution des films synthétiques à l'interprétation, tant pour l'identification géologique de certains horizons réfléchis-

sants que pour le choix des moyens les plus appropriés à l'étude d'un niveau particulier. La figure 17 reproduit les films réellement obtenus sur le terrain

entre les deux sondages de Villequier et Yvetot. Par comparaison avec les films synthétiques, on démontre que la variation d'épaisseur du lias d'une sonde à l'autre se fait au passage d'une faille.

Après avoir mis au point cette technique de « convolution » on s'est posé, dès 1961, le problème inverse dit de « déconvolution » qui, appliqué aux films réels, a pour objet de supprimer les distorsions dues à un filtrage. La déconvo-

lutions multiples et directes, puis à la loi de vitesse. La résolution de ce problème est très difficile, en particulier à cause du bruit environnant et parce que le début de la trace n'est pas connu. Cependant, au dernier Congrès de l'Association Européenne des Géophysiciens d'Exploration, M. KUNETZ, Chef de la Division Scientifique de la Compagnie Générale de Géophysique, était en mesure de présenter quelques exemples concrets très encourageants (fig. 18).

LOI DE VITESSE DÉDUITE DES RÉFLEXIONS DIRECTES OBTENUES PAR ANALYSE

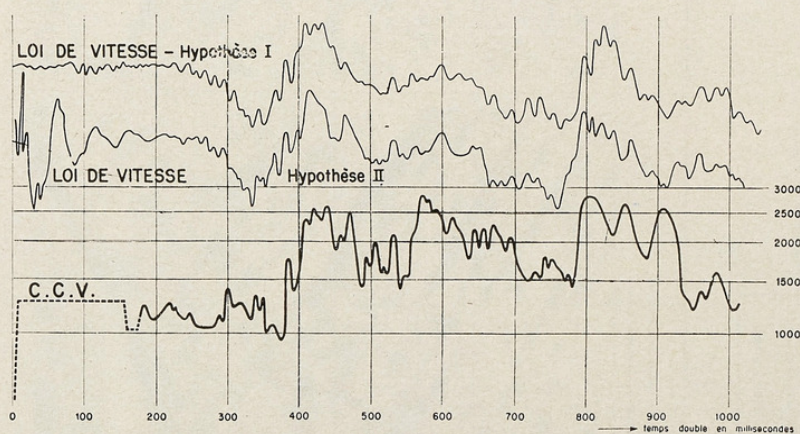


Fig 18

lution a déjà été utilisée pour des études délicates de couches minces et de biseaux. Elle ne tardera sans doute pas à être employée de façon plus systématique.

La trace sismique réelle étant déconvoluée, il devient normal d'envisager la possibilité de remonter, par « analyse » de cette trace, à la séparation des ré-

flexions multiples et directes, puis à la loi de vitesse. La résolution de ce problème est très difficile, en particulier à cause du bruit environnant et parce que le début de la trace n'est pas connu. Cependant, au dernier Congrès de l'Association Européenne des Géophysiciens d'Exploration, M. KUNETZ, Chef de la Division Scientifique de la Compagnie Générale de Géophysique, était en mesure de présenter quelques exemples concrets très encourageants (fig. 18).

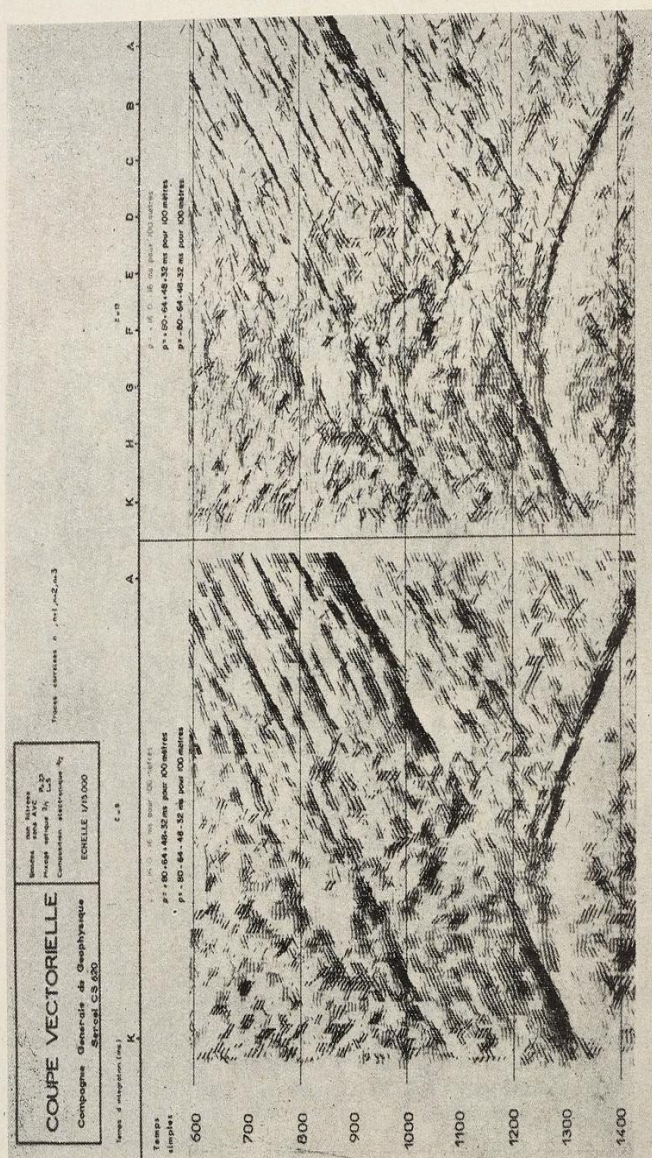


FIG. 19

pas à quelques niveaux, mais qui s'étendrait à toute l'échelle verticale du sous-sol. En attendant que ce souhait se réalise, je ne dois pas oublier de mentionner une présentation toute nouvelle et encore plus imagée des résultats sismiques. MM. PICOU et UTMANN ont, en effet, mis au point un appareil qui calcule automatiquement les coefficients de corrélation entre plusieurs traces et imprime des traits dont l'inclinaison indique le gradient temps et dont l'épaisseur est proportionnée à la valeur de la corrélation. Une coupe sismique « vectorielle » de ce genre est reproduite sur la figure 19.

Afin que cette rapide esquisse ne soit pas trop incomplète, il conviendrait d'insister sur l'évolution des matériels, par exemple sur ces remarquables performances de la transistorisation qui allège considérablement le poids des amplificateurs et de leurs alimentations.

A ce sujet, signalons que le développement des procédés d'enregistrement numérique, dit quelquefois enregistrement « digital », marquera une nouvelle étape. Ce procédé consiste à enregistrer les sismogrammes sur ruban magnétique, sous une forme numérique codée de telle manière que le document soit immédiatement assimilable par une calculatrice électronique. Les sismiciens tireront certainement profit des avantages qui en résulteront : dynamique plus large, calculs précis et extrêmement rapides...

Revenons maintenant pour quelques instants sur le terrain où s'effectue l'enregistrement. Implicitement nous avons admis que l'ébranlement initial, qui donne lieu aux ondes sismiques que nous nous proposons d'enregistrer, était provoqué par une explosion classique, moyen simple et efficace pour obtenir un choc assez puissant. En fait, l'augmentation de la sensibilité des appareils et les progrès réalisés dans l'amélioration du rapport signal/bruit ont permis, dans certains cas, de remplacer l'explosion par la chute d'une masse très pesante. C'est le procédé dit de détection sismique par chute de

poids, mis en œuvre par certaines sociétés spécialisées. L'énergie développée étant faible, on additionne, grâce à l'enregistrement magnétique, les effets de plusieurs chutes.

En mer, la dynamite ou les nitrates classiques sont parfois remplacés par un mélange détonant d'oxygène et de propane. L'énergie dégagée est plus petite, mais les explosions se répètent toutes les 4 ou 6 secondes et la profondeur d'investigation est bien souvent suffisante. Dans le même ordre de réalisation, mentionnons l'existence du « sparker », petit explosif qui provoque un choc par éclatement dans l'eau d'une étincelle électrique. La pénétration est dans ce cas particulier encore plus faible mais parfaitement adaptée aux problèmes posés par les grands travaux de génie civil.

Tous ces procédés souffrent de ce que l'on ne puisse agir sur la forme et les caractéristiques de l'impulsion émise à l'origine. Pour y parer, on vient d'expérimenter un mode d'émission qui, au lieu d'ébranler le sol pendant un temps très bref, le fait vibrer selon une loi donnée de fréquence. L'émission dure quelques secondes. Le signal reçu par le sismographe a toutefois l'inconvénient de n'être pas directement utilisable et doit être transformé. Cette méthode, à priori séduisante, n'en est qu'à ses débuts.

Je voudrais enfin attirer votre attention sur les progrès considérables que l'on a fait, ces dernières années, dans l'exploitation sur le terrain des méthodes sismiques. Grâce à l'utilisation de véhicules appropriés, nous pouvons affirmer que la géophysique pénètre maintenant partout, en forêt équatoriale et surtout en zone désertique, même dans les régions d'erg les plus dures où, vraiment, toute exploration sismique paraissait inconcevable il y a seulement dix ans. Les rendements atteints témoignent des performances remarquables. Il nous suffira de citer quelques chiffres. Progressivement, les rendements mensuels moyens ont augmenté, et, par exemple, sont pas-

sés, en quelques années, en secteur désertique de 60 km à 120 km. Sur les périmètres sahariens, depuis 1951, en près de 750 mois de prospection par sismique réflexion, il a été couvert plus de 60.000 km. Un record établi au Talak (Niger), dans une mission fortement char-

quent de couvrir 700 à 800 km/mois, production que l'on pourra augmenter en faisant travailler les équipes à raison de plusieurs postes/jour.

Au moment de conclure, nous constatons à regret que cet exposé porte essen-

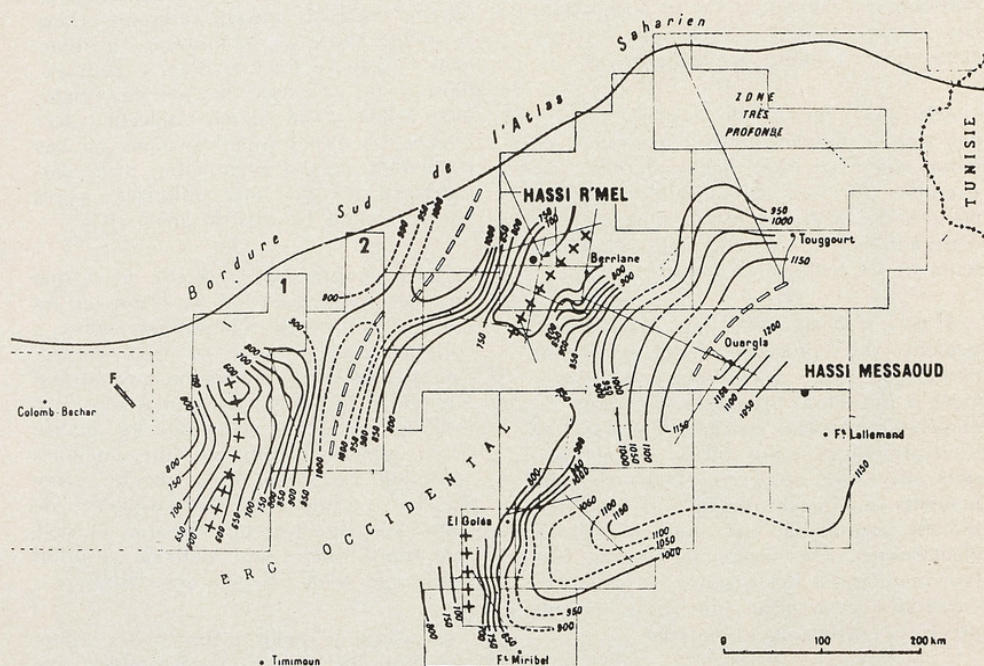


FIG. 20 - CARTE DE RECONNAISSANCE ETABLIE LE 30 JUIN 1954

pentée, mérite d'être consigné : 381 km de profil exploités en un seul mois, 72.000 mètres forés ce même mois par les sondeuses sismiques, 33.000 détonateurs consommés. En sismique marine, il est fré-

tiellement sur la sismique réflexion. Or, les succès éclatants de la sismique réfraction au Sahara démontrent l'efficacité d'une technique, qui, elle aussi, progresse régulièrement.

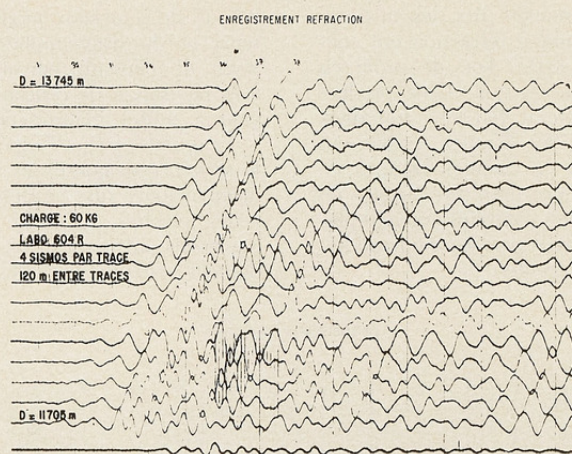


Fig. 21

C'est avec une certaine émotion que nous reproduisons sur la figure 20, un document historique : une carte de reconnaissance sismique établie en juin 1954. Un haut fond se dessine au Nord-Ouest du Sahara, et plus à l'Est s'esquisse un large bombement. Sur ces deux structures on découvrait, deux ans plus tard, le gisement de gaz d'Hassi R'Mel et le gisement d'huile d'Hassi Messaoud.

Depuis cette époque de sensibles progrès ont été, ici encore, réalisés : les équipes de sismique réfraction, réparties en échelons dispersés sur le terrain, ont vu leurs liaisons nettement améliorées grâce à l'emploi d'appareillages radio VHF, tandis que leurs consommations en explosifs diminuaient en raison de la plus grande sensibilité des appareillages et du fait de la mise en œuvre de dispositifs de réception perfectionnés. Sur le même enregistrement, on étudie maintenant plusieurs arrivées d'énergie issues de différents marqueurs. Au besoin, on rejoue le ruban magnétique, en faisant varier le taux d'amplification. Par développement des calculs au détriment des graphiques, l'ancienne méthode d'exploitation des résultats a été mécanisée.

Dans l'évaluation des profondeurs et des distances d'émergence, il est tenu

compte des effets de l'anisotropie, plus importants qu'on ne l'imaginait.

Basée sur l'enregistrement des ondes réfractées au voisinage de la distance critique, la méthode dite de corrélation « à distance constante » et les techniques qui en sont dérivées, ont rajeuni la sismique réfraction et augmenté ses possibilités. Se plaçant au lieu de rencontre de la réflexion et de la réfraction, on explore avec une précision suffisante et dans les conditions les plus économiques, des niveaux géologiques qui ne pouvaient s'étudier par les moyens habituels.

C'est ce que se proposent de démontrer les enregistrements faisant l'objet des figures 21 et 22 et extraits d'une récente communication présentée par le Service Géophysique de la S.N.P.A.

On constate que la sismique réfraction est orientée de plus en plus vers l'étude simultanée de *plusieurs marqueurs situés dans le sédimentaire ou à sa base. A la limite, elle tend à se confondre avec la sismique réflexion.* Comme en réflexion également ces films ont été enregistrés avec, d'une part des sismos multiples (4 sismos par trace dans un cas, 20 dans l'autre), d'autre part des charges minimales : 60 kg et 6 kg d'explosifs.

Depuis leur premiers tirs, les missions françaises de sismique réfraction ont couvert au Sahara 45.000 km. de profil en 3170 mois équipe environ. Leur production mensuelle atteint 140 km., soit deux fois plus qu'en 1953. D'autres profils ont été exploités par ces mêmes équipes en Libye, au Rio de Oro, en Sicile, en France..., dans des conditions géographiques et géologiques, parfois comparables, bien souvent différentes.

l'étude de nouveaux modèles d'amplificateurs et de sismographes, à la mise au point de l'enregistrement magnétique et à la réalisation de centraux de calcul servant à traiter l'information géophysique.

A grands frais, l'expérimentation sur le terrain a démontré les avantages ou les inconvénients que présentaient des procédés ou des appareils plus modernes. Les essais ont porté aussi bien sur le rendement énergétique des explosifs, les

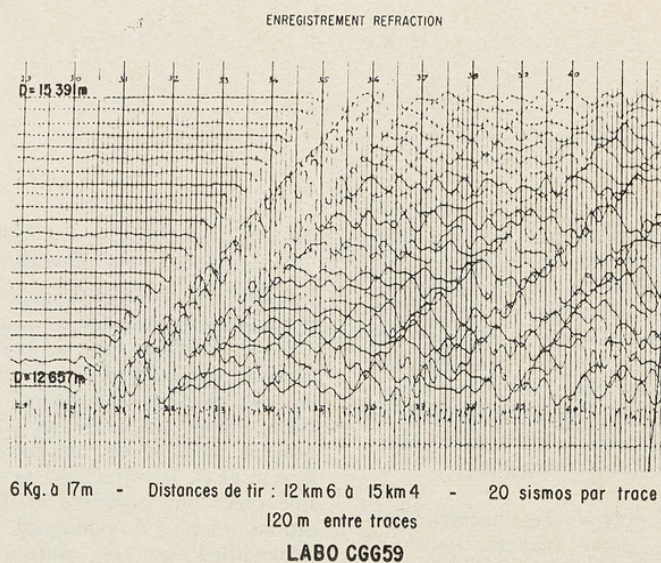


Fig. 22

Au terme de cet exposé, il m'incombe de rendre hommage à tous ceux qui, à tous les échelons, ont participé et participent à l'évolution de notre industrie. Il me revient aussi de dégager une conclusion.

Il ne faudrait pas croire que tous les progrès sont dus au seul génie inventif. Sans doute à ce titre, continuons-nous d'être en France particulièrement favorisés depuis que notre maître Conrad SCHLUMBERGER a, voici précisément cinquante ans, fait ses premières découvertes. Mais sans cesse, aussi, on a consacré des *investissements importants* à

types de véhicules, les sondeuses sismiques, le matériel de campement, la composition des équipes. Des missions à caractère strictement expérimental ont été mises en place pour résoudre des problèmes bien définis.

Bref, n'est-on pas incité à conclure que la perpétuelle renaissance de la géophysique appliquée et l'enrichissement qu'elle nous apporte, sont toujours acquis grâce à l'ardeur de ses techniciens et grâce à l'ampleur des moyens de recherches qu'il faut pouvoir investir, si l'on veut que cette industrie, française dès ses débuts, conserve sa qualité et son renom ?

Le Président de la Société, Directeur-Gérant : J. LECOMTE.

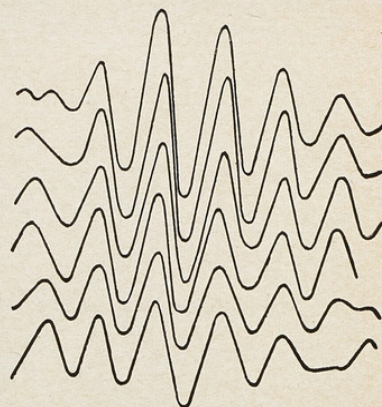
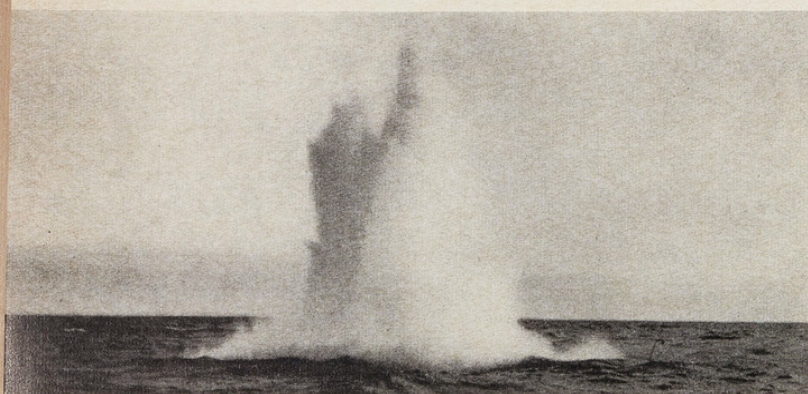
D.P. n° 1080

IMPRIMERIE COOPÉRATIVE. — ARPAJON (S.-et-O.)

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE

*Depuis trente ans, dans toutes les parties du monde,
toutes les méthodes de prospection géophysique
aéroportées, terrestres, marines.*

**LACQ - PARENTIS - HASSI R'MEL - HASSI MESSAOUD
ZARZAITINE - TIGUENTOURINE - OHANET
EL-AGREB - OZOURI - POINTE CLAIRETTE - RAGUSE**



COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE

50, rue Fabert, PARIS VII^e - Tél. INValides 46-24

Télex : 27-713 - Câble : CEGEGEC-PARIS

96, Avenue Verdier, MONTRouGE (Seine) - Tél. ALÉsia 37-74



ROME : COMPAGNIA GENERALE DI GEOFISICA,
via Flaminia 330 - Tél. 30-38-51

RIO DE JANEIRO : COMPANHIA BRASILEIRA DE GEOFISICA,
rua Joaquim Palhares 132, ZC 29 - Tél. 48-77-03

BRISBANE (Queensland) : 96-98, Astor Terrace - Tél. 25900

HOUSTON : 2920 Wesleyan, Houston 27 - Tél. MOhawk 4-1897

MADRID : COMPANIA GENERAL DE GEOFISICA,
avenida del Generalissimo, 30, 9^o, Madrid 16 - Tél. 259-84-00

FREIBURG im BREISGAU : GEOPHYSIKALISCHE BODENFORSCHUNG
G.m.b.H., Kaiser Josef Strasse 261 - Tél. 220-39

TRIPOLI : 7, Sciara Enasser, Box 97 - Tél. 60-32

SAINT-GAUDENS (Haute-Garonne) : 27, rue de la République - Tél. 294

TÉHÉRAN : Kh. Djalal-Bayar - K. Mohadjer 52 - Tél. 623-448

DAKAR : 31, rue de Denain - Tél. 265-44

LAGOS : PO. Box 12 49 - Tél. 55-929

YAOUNDÉ : B. P. 435

MARSEILLE (Bouches-du-Rhône) : 143, rue Félix-Pyat - Tél. 64-16-73

ALGER : Immeuble "Dans les Arbres", rue Shakespeare - Tél. 65-51-82

RABAT : COMPAGNIE AFRICAINE DE GÉOPHYSIQUE,
rue des Antilles - Avenue du Soudan - Tél. 305-19

TUNIS : 17, rue Pascal - Tél. 247-595

OUARGLA : (Oasis) - Tél. 1-89

OGEF

Frederick

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, Quai Anatole-France - PARIS-7^e

C. C. P. Paris 9061-11

Tél. : SOLférino 93-39



Colloques Internationaux

N° 108

MÉCANIQUE DE LA TURBULENCE

M A R S E I L L E

28 août - 2 septembre 1961

Volume relié pelliior, in-4° coquille, comportant 472 pages et 4 planches hors-texte

Prix : 60 F.

PRODUITS CHIMIQUES

pour
**INDUSTRIE
PHARMACIE
PARFUMERIE
AGRICULTURE**

MATIÈRES PLASTIQUES

"RHODOÏD" Acétate de Cellulose

"RHODOPAS" Résines vinyliques

"RHODORSIL" Silicones

"RHODESTER" Résines polyesters

"MANOLÈNE" Polyéthylène basse pression
(FABRIQUE PAR LA MANUFACTURE NORMANDE DE POLYÉTHYLÈNES)

"ALAMASKS" Agents neutralisants des mauvaises odeurs

PIGMENTS MINÉRAUX pour matières plastiques

SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES

**RHÔNE
POULENC**

22, Av. Montaigne, PARIS-VIII^e - Tél. ALMa 40-00

DIV. 121

6ATC

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE LA GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 19.595.800 F.

8, Rue Cognacq-Jay - PARIS-7^e - Tél. INV 44-30

AMMONIAQUE - ALCALI - ENGRAIS AZOTÉS

•

ENGINEERING - CONSTRUCTION D'USINES

HYDROGÈNE

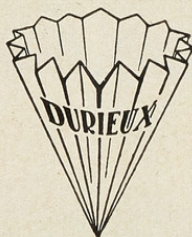
GAZ DE VILLE - GAZ DE SYNTHÈSE

AMMONIAQUE

ACIDE NITRIQUE

ENGRAIS AZOTÉS

LES FILTRES DURIEUX



PAPIER A FILTRER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52x52

SPECIALITÉS :

FILTRES SANS CENDRES

N° 111, 112 et Crêpe N° 113 extra-rapide

Filtres Durcis n° 128 & Durcis sans cendres n° 114

Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER "CRÊPE DURIEUX"

Toutes Dimensions, pour Filtres-Presses. (Envoi d'échantillons sur demande)

Registre du Comm. de la Seine N° 722.521-2-3

Téléphone : ARCHIVES 03 51

MÉDAILLE D'OR de Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Juillet 1918)

20, rue Malher, PARIS (4^e)



Demandez le Catalogue donnant toutes les explications sur les emplois de mes différentes sortes



PEUGEOT

403 • 404

0.193.

APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES

P. CHEVENARD

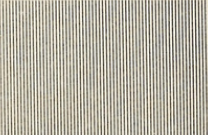
- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux ;
- pour l'essai mécanique et micromécanique des métaux à froid et à chaud ;
Essais de traction, de flexion, de compression, de dureté ;
Essais de fluage (Traction-Relaxation) et de rupture ;
Essais de torsion alternée ;
Etude du frottement interne ;
- pour l'étude des réactions chimiques par la méthode de la pesée continue ;
- pour la mesure des températures et le réglage thermostatique des fours.



A. D. A. M. E. L.
4-6, Passage Louis-Philippe
PARIS (11°)



Oxygène, azote, hydrogène,
comprimés et liquides.
Argon, gaz rares extraits de l'air.
Gaz spéciaux et
mélanges de gaz.
Propane. Ammoniac.
Acétylène dissous.
Soudage, oxycoupage,
toutes techniques connexes.
Appareils de séparation
de tous mélanges gazeux
par liquéfaction et rectification.
Péroxyde d'hydrogène (eau oxygénée)
Perborate de soude.
Bromite de soude.
Chlorite de soude.
Persulfates d'ammonium et de potassium.
Polyéthylènes haute et basse pressions.



Pub. AL

L'AIR LIQUIDE

75, QUAI D'ORSAY PARIS 7^e INV. 44-30

PLUS DE
200 USINES
DANS LE MONDE

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES

Société Anonyme au Capital de 36.160.000 F.
56, Rue du Faubourg-Saint-Honoré. - PARIS (8^e)

ENTREPRISES GÉNÉRALES
TRAVAUX PUBLICS ET BATIMENTS
BARRAGES - USINES HYDRO-ELECTRIQUES ET THERMIQUES
USINES, ATELIERS ET BATIMENTS INDUSTRIELS
TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX
AEROPORTS - OUVRAGES D'ART
ROUTES - CHEMINS DE FER
CITES OUVRIERES - EDIFICES PUBLICS ET PARTICULIERS
ASSAINISSEMENT DES VILLES - ADDUCTIONS D'EAU
BUREAUX D'ETUDES
CENTRALES ELECTRIQUES
GRANDS POSTES DE TRANSFORMATION
LIGNES DE TRANSPORT DE FORCE
ELECTRIFICATION DE VOIES FERREES
ELECTRIFICATIONS RURALES
EQUIPEMENTS ELECTRIQUES INDUSTRIELS

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

RÉCENTS DÉVELOPPEMENTS DES MÉTHODES DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

par M. Roger DESAINT

(Suite de la page 2 de la couverture)

Il convient surtout d'insister sur l'évolution de la prospection sismique : les laboratoires modernes permettent d'enregistrer fidèlement toutes les vibrations du sol sous une forme telle qu'il soit possible de les réduire à volonté et de les soumettre aux analyses les plus variées. Leur représentation permet à l'observateur d'embrasser d'un seul regard l'ensemble d'une structure géologique. On a même mis au point un appareil qui calcule automatiquement les coefficients de corrélation entre plusieurs traces d'un enregistrement. Parallèlement, sur le terrain, les modes opératoires ont changé — multiplication des sismographes, couverture multiple — et les rendements ont augmenté dans de fortes proportions.

Parvenus à ce stade, les sismiciens recherchent encore des perfectionnements : filtrage linéaire, déconvolution, digitalisation et, en dernière analyse, ils s'attaquent à l'interprétation stratigraphique des sismogrammes. Dans un domaine tout différent, on s'efforce de remplacer l'explosion classique par la chute d'un poids ou par la détonation d'un mélange de propane et d'oxygène, ou par la mise en vibration du sol sur une fréquence donnée.

Enfin, il convient d'attirer l'attention sur les succès éclatants de la sismique-réfraction, qui ont démontré au Sahara l'efficacité d'une méthode complètement rajeunie par l'étude simultanée de plusieurs niveaux, les corrélations dites « à distance constante », etc...

De tout ceci, il se dégage la conclusion que l'origine de tous ces progrès techniques réside dans l'esprit inventif des géophysiciens et dans l'ampleur des moyens mis à leur disposition.

ÉTABLISSEMENTS
KUHLMANN

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 197.888.560 F

25, BOULEVARD DE L'AMIRAL BRUIX - PARIS (XVI^e)

TÉL : KLEBER 50-50 + • KLEBER 50-10 +
TELEX : ETAKUHLM - PARIS 27.640



**PRODUITS CHIMIQUES
INDUSTRIELS ET AGRICOLES**



PRODUITS ORGANIQUES



**RÉSINES ET MATIÈRES
PLASTIQUES**



TEXTILES ARTIFICIELS

IK 3

Alproy