

Le courrier du CNRS 48

Auteur(s) : CNRS

Les folios

En passant la souris sur une vignette, le titre de l'image apparaît.

52 Fichier(s)

Les relations du document

Ce document n'a pas de relation indiquée avec un autre document du projet.□

Citer cette page

CNRS, Le courrier du CNRS 48, 1982-11

Valérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Consulté le 09/08/2025 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/143>

Présentation

Date(s)1982-11

Mentions légalesFiche : Comité pour l'histoire du CNRS ; projet EMAN Thalim (CNRS-ENS-Sorbonne nouvelle). Licence Creative Commons Attribution - Partage à l'Identique 3.0 (CC BY-SA 3.0 FR).

Editeur de la ficheValérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Information générales

LangueFrançais

CollationA4

Informations éditoriales

N° ISSN0153-985x

Description & Analyse

Nombre de pages52

Notice créée par [Valérie Burgos](#) Notice créée le 05/10/2023 Dernière modification le 06/12/2024

LE COURRIER DU
CNRS

48

Bimestriel — Novembre 1982 — 15 F



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
15, quai Anatole France - 75700 Paris - Tél. : 555.92.25.

Directeur de publication : Wladimir Mercoureff
Secrétaire de rédaction : Martine Chabrier-Elkik
La vie des laboratoires : Véronique Brossollet
Entretiens : Monique Mounier

Comité de rédaction : Martine Barrère, Georges Chevallier, Robert Clarke, Michel Crozon, Bernard Dormy, Elisabeth Gordon, Gilbert Grynberg, James Hiéblot, Gérard Lilamand, Jacqueline Mirabel, Jean-Claude Porée, Jean-Claude Ribes, Janine Rondest, Jean Tavlitzki.

Abonnement et vente au numéro, le numéro 15 F.
Abonnement annuel : 55 F - 65 F pour l'étranger (voir bulletin p. 27-30 pour l'année 1983).
Tout changement d'adresse doit être signalé au secrétariat de rédaction.
Revue bimestrielle comportant 5 numéros par an.
Nous remercions les auteurs et les organismes qui ont participé à la rédaction de ce numéro.
Les intertitres et les chapeaux introductifs ont été rédigés par le secrétariat de rédaction.
Les textes et illustrations peuvent être reproduits sous réserve de l'autorisation du directeur de la publication.
Direction artistique : ODT, 41 avenue de Friedland - 75008 Paris.
Réalisation ALLPRINT, 8 rue Antoine Chantin - 75014 Paris.
C.P.A.D. 303 - ISBN 2-222-03189-3 - ISSN 0153-985 X. © Centre national de la recherche scientifique.

Page 1 de couverture : Photographie en couleur de la nébuleuse du Crabe, prise au foyer primaire du télescope Canada France Hawaii par Laird A. Thompson de l'Université d'Hawaii. L'émission est de l'électrolyse 400 et le temps de pose d'une heure. On notera la finesse des détails des filaments. La couleur est due à ce que l'émission s'effectue principalement sur la raie H α de l'hydrogène. (Publiée en couverture par la revue « l'Astronomie » de la Société astronomique de France).

Page 4 de couverture : Au premier plan, petite stèle de marbre blanc portant une inscription honorifique pour un citoyen d'une ville du Péloponnèse (III^{ème} siècle avant J.C.) ; au-dessous, l'ombrelle de la cité, au sommet flanquant la cornue en avant ; à l'arrière, base en calcaire gris d'un trépid offert par Gélion, « tyran » de Syracuse à l'occasion d'une victoire (vers 480 avant J.C.).

Erratum : Une erreur s'est glissée dans la légende d'une illustration du numéro précédent (n. 41). A la place de « Diffractomètre à rayons X pour l'étude des structures cristallines » il faut lire : « Spectromètre de masse pour l'étude de la structure des substances organiques ».

CNRS
 Délégation du Siège
 4, avenue de la Terrasse
 Bâtiment 19
 91198 Gif-sur-Yvette
 Tél. 01 69 82 39 17

LE COURRIER DU 48 CNRS

Bimestriel - Novembre 1982
 Dépôt des archives
 de la Délégation Paris Michel-Ange
 Bâtiment 19
 1, avenue de la Terrasse
 91198 Gif-sur-Yvette

Directeur du Courrier du CNRS depuis février 1980, date de ma nomination comme Directeur des relations extérieures, je quitte le Courrier du CNRS en même temps que j'abandonne ces fonctions. J'ai essayé, au cours de cette période, d'être à l'écoute des lecteurs du Courrier du CNRS et de l'infléchir dans le sens qu'ils souhaitaient. Une consultation a été lancée en 1981 à laquelle vous avez largement répondu. La maquette du Courrier avait alors été modifiée, en donnant notamment naissance à une « vie des laboratoires » distincte. Une parution plus fréquente et un effort pour rendre l'information scientifique accessible au plus grand nombre avaient également accompagné cette évolution. Le Courrier du CNRS a réussi à créer un lien entre ses lecteurs et, en particulier, les personnels du CNRS. Je souhaite qu'à l'avenir, ce lien reste toujours aussi fort.

W.M.

| | | | |
|-------------------------------|----|--|-----------------------------|
| Éditorial | 4 | | Pierre Papon |
| Distinction | 6 | Pierre Joliot, médaille d'or du CNRS | |
| Entretien | 7 | L'homme et la science, dialogue entre un astrophysicien et un sociologue | Hubert Reeves — Edgar Morin |
| Réflexion | 17 | Les lésions génétiques et leur réparation | Ethel Moustacchi |
| Le point | 23 | Les moteurs à combustion interne | Rostislav Vichnievsky |
| La coopération internationale | 33 | Les premiers résultats scientifiques obtenus au télescope Canada-France-Hawaii | Roger Cayrel |
| À la découverte | 39 | Les microémulsions | Pierre Bothorel |
| À propos | 43 | L'épigraphie grecque et latine | Jean Pouilloux |
| Bibliographie | 47 | Les éditions du CNRS | |



Le 8 septembre dernier, le Conseil des Ministres adoptait le nouveau décret organique définissant le rôle et le fonctionnement du CNRS et me nommait au poste de Directeur général, en remplacement de Monsieur Jean-Jacques Payan appelé à la Direction des enseignements supérieurs et de la recherche du Ministère de l'éducation nationale.

Ce n'est pas sans une certaine émotion que je prends ces fonctions dans une maison que je connais bien. J'y suis entré en effet il y a vingt ans, comme stagiaire de recherche. Je vais maintenant faire un nouvel apprentissage, celui de Directeur général et j'espère que la communauté CNRS m'aidera à le mener à bien.

Je suis ému également, en prenant ces fonctions, de succéder à une lignée de Directeurs généraux du CNRS qui ont tous marqué profondément cette maison. Mais aussi un peu inquiet parce que je sais que, si l'Histoire s'intéresse au CNRS dans dix, vingt ou trente ans, elle sera tentée de nous comparer. Je pense en particulier à deux hommes : Frédéric Joliot, qui a organisé le CNRS en 1945 avant de créer et d'organiser le Commissariat à l'énergie atomique et à Bernard Grégory, qui est très tôt, trop tôt disparu ; beaucoup d'entre vous, comme moi, l'ont connu et apprécié.

Je tiens à souligner que mon arrivée au CNRS, comme successeur de Jean-Jacques Payan, n'implique aucune discontinuité, aucun changement de politique. M. Jean-Jacques Payan, auquel je tiens à rendre hommage, a, en dix mois – c'est une période bien courte, mais qui a été très intense – élaboré les fondements de la réforme du CNRS, qu'il a menée jusqu'à son terme. Son ardeur et sa rigueur sont pour nous tous un exemple.

La réforme du CNRS marque une nouvelle étape dans la très longue histoire déjà riche du plus grand organisme de recherche français.

Cette réforme du CNRS s'inspire des principes de la loi d'orientation et de programmation de la recherche et du développement technologique de la France, qui a été votée par le Parlement à la fin du mois de juin. Elle est aussi en filiation directe avec l'esprit du Colloque national sur la recherche et la technologie qui s'est tenu pendant plusieurs mois et auquel le CNRS a largement participé. En effet, cette réforme fait en quelque sorte un double pari, qui était celui du Colloque : du dialogue d'une part, de la démocratie et de l'ouverture d'autre part.

Le Gouvernement a réaffirmé clairement les missions du CNRS, en particulier sa première mission, prioritaire, de développer la recherche fondamentale dans tous les domaines de la connaissance, en liaison avec les établissements de l'enseignement supérieur et les autres organismes de recherche. Bien entendu, je veillerai à resserrer les liens qui nous unissent à l'enseignement supérieur.

La réforme confie également au CNRS des missions nouvelles et essentielles qui ont été largement débattues au moment du Colloque : la valorisation des résultats de la recherche, la diffusion de l'information scientifique et technique et la formation par la recherche.

Le CNRS, ainsi que la communauté scientifique sont, je le sais, très largement prêts à participer à ces missions nouvelles. En collaboration étroite avec le Président Monsieur Claude Fréjacques et avec l'ensemble de l'équipe de direction, je vais m'attacher à renforcer et à développer l'action du Centre dans le cadre de ces missions en visant quatre grands objectifs.

Le premier est de nous efforcer de favoriser des dynamiques scientifiques nouvelles. En effet, l'une des originalités du CNRS, qui est aussi l'une de ses richesses, est sa capacité à explorer tous les domaines de la connaissance. Il doit soutenir les recherches de pointe, renouveler le champ des disciplines, sans oublier les disciplines les plus traditionnelles et lancer des programmes pluridisciplinaires.

La connaissance nous donne aussi des moyens d'action, elle accroît notre capacité à répondre aux besoins culturels, économiques et sociaux de notre société : le Colloque national a montré que la communauté scientifique était prête à s'engager sur la voie de l'ouverture aux problèmes de la collectivité nationale ; c'est le second objectif à atteindre. Ceci implique que le Centre valorise les travaux de ses laboratoires, qu'il développe ses relations avec les entreprises.

A une époque caractérisée par des mutations scientifiques et technologiques très importantes, le CNRS sera un acteur en participant à un effort de diffusion de la connaissance, en explicitant les enjeux des travaux de ses chercheurs auprès d'un large public, en aidant tout particulièrement les jeunes à s'intéresser à la science, pour certains d'entre eux à y faire carrière.

Le troisième objectif que nous nous fixons est celui de faire du CNRS une force de propositions en participant à la définition des grandes orientations de la politique scientifique nationale. C'est dire l'importance du rôle que jouera le Comité national qui redevient le Comité national de la recherche scientifique.

Le dernier objectif auquel nous nous attacherons et ce n'est pas le moindre, est celui de la démocratisation des instances du CNRS et la déconcentration de la gestion administrative du Centre. Des représentants élus des personnels siégeront dans l'ensemble de ces instances, si bien que tous ceux qui font vivre le CNRS seront associés à la vie du Centre par leurs représentants. Il faudra également simplifier la gestion et la déconcentrer. La transformation du CNRS en établissement public à caractère scientifique et technologique devrait assouplir très notablement ses modalités de gestion.

Je voudrais enfin souligner que la réforme de notre organisme intervient à un moment, où grâce à l'action du Ministère de la recherche et de l'industrie, mais aussi à la suite du succès du Colloque national sur la recherche et la technologie, la confiance a été restaurée entre la communauté scientifique et la nation.

En outre, les pouvoirs publics ont reconnu que la recherche était une priorité nationale. Ceci se traduit par la croissance du budget.

Cette situation implique pour nous tous un effort de rigueur, parce que cette priorité qui est reconnue à la recherche, cette confiance qui nous est faite, se situent dans une situation économique difficile, dans un contexte de crise internationale. Nous aurons donc à la fois à veiller à maintenir l'excellence de la recherche et à faire des choix de politique scientifique dans la transparence. Tout cela est difficile, mais c'est enthousiasmant. L'enjeu en vaut la peine.

Il nous faudra au fil des semaines et des mois compléter et préciser nos objectifs. L'ensemble des personnels des formations du Centre doivent se mobiliser en collaboration étroite avec l'ensemble des forces vives du pays afin d'ouvrir des voies nouvelles et d'innover pour que nous soyons en mesure de répondre aux défis de l'avenir.



Pierre PAPON

Pierre Joliot, médaille d'or du CNRS

La médaille d'or du Centre national de la recherche scientifique vient d'être attribuée, pour l'année 1982, à Monsieur Pierre Joliot.

Né le 12 mars 1932 à Paris, Pierre Joliot fait ses études supérieures à la faculté des sciences de Paris. Il commence sa carrière de chercheur en 1953 au service de biophysique de l'Institut de biologie physico-chimique de Paris, sous la direction du professeur Wurmser.

En 1954, Pierre Joliot entre au CNRS. En 1967, il devient responsable de l'équipe de recherches sur la photosynthèse du CNRS (ER 16) et en 1975, chef du service de photosynthèse de l'IBPC. Directeur de recherche au CNRS depuis 1974, il est nommé, en 1981, professeur au Collège de France où il occupe la chaire de bioénergétique cellulaire.

Pierre Joliot a accompli une œuvre tout à fait remarquable, tant par son originalité que par son retentissement auprès de la communauté scientifique nationale et internationale dans le domaine de la photosynthèse. Ses travaux se caractérisent par un équilibre entre la recherche de l'innovation technologique et la poursuite d'objectifs de recherche fondamentale.

La photosynthèse se traduit chez les végétaux supérieurs par un bilan réactionnel apparemment simple : l'oxydoréduction de l'eau et du gaz carbonique, la production de sucres ou hydrates de carbone et le dégagement d'oxygène. Pourtant, elle nécessite une succession de phases complexes faisant intervenir les transporteurs d'électrons de la chaîne photosynthétique, des enzymes des membranes et une série de réactions chimiques ou photochimiques. C'est principalement aux mécanismes primaires d'activation photochimique et de transferts d'électrons dans la



chaîne photosynthétique que Pierre Joliot s'est intéressé dès l'origine de ses travaux.

Plus précisément, ses efforts ont portés sur l'étude de l'une des régions de cette chaîne, le système II, qui comporte une réaction photochimique et se trouve étroitement associée à l'émission d'oxygène par oxydation du donneur terminal, l'eau. Cette région est également le siège de phénomènes caractéristiques d'émission lumineuse : la fluorescence et la luminescence.

L'approche de Pierre Joliot a d'abord été méthodologique, mettant au point une méthode ampérométrique de mesure de l'émission d'oxygène dans les systèmes photosynthétiques. Cette méthode extrêmement performante, donnant en particulier la possibilité d'observer la réponse du système photosynthétique à un éclair isolé, a été exploitée par de nombreux laboratoires.

Grâce à l'outil qu'il s'était ainsi donné pour étudier l'émission d'oxygène, Pierre Joliot a pu montrer que plusieurs étapes réactionnelles étaient nécessaires à la libération d'oxygène. Ce

travail a conduit à l'une des découvertes les plus fondamentales concernant le photosystème II : la remarquable périodicité d'ordre 4 des oscillations de la réponse d'oxygène à des éclairs brefs et saturants qui traduisent l'accumulation sur un même intermédiaire de quatre charges positives, condition préalable nécessaire à la production d'une molécule d'oxygène au cours de la photosynthèse. La théorie des « 4 états » a sous-entendu un très grand nombre de recherches leur apportant un principe unificateur indiscuté. Les recherches de Pierre Joliot se sont développées avec une clairvoyance toujours renouvelée dans l'approche tant expérimentale que conceptuelle : elles ont porté entre autre sur le problème des unités photosynthétiques et leurs relations réciproques à l'intérieur des membranes cellulaires, l'étude fonctionnelle des centres photochimiques II ainsi que les réactions de transfert d'électrons qui lui sont directement associées.

La constante amélioration et la mise au point de différentes méthodes d'analyse biophysique du processus photosynthétique, en particulier dans le domaine de la spectrophotométrie rapide, ont constamment accompagné ses recherches.

La richesse et l'originalité de l'œuvre de Pierre Joliot se reflètent également dans l'activité remarquable du groupe de chercheurs qu'il anime (A. Joliot, P. Bennoua, B. Diner, R. Delosme).

Auteur de très nombreux articles dans des revues internationales, Pierre Joliot est membre de l'Institut et membre de l'Académie des sciences aux Etats-Unis.

L'homme et la science, dialogue entre un astrophysicien et un sociologue

Edgar Morin et Hubert Reeves expliquent aux lecteurs de notre revue en se rencontrant pour la première fois, leurs observations et leurs interrogations sur l'évolution de l'univers, sur la place de l'homme dans le monde, en cette fin de siècle difficile mais passionnante. Ils définissent ce qu'est pour eux la démarche du chercheur et évoquent l'apport de la science, livrant au public, en toute liberté, leurs inquiétudes et leurs espoirs.

□ Edgar Morin, directeur de recherche au CNRS, section sociologie, est l'auteur de nombreuses publications, en particulier *La méthode : la nature de la nature - la vie de la vie*, et d'un essai paru récemment : *Science avec conscience*. Il est responsable du Centre d'études transdisciplinaires (sociologie, anthropologie, sémiologie), (ERA 74 - Paris).

□ Hubert Reeves, directeur de recherche au CNRS, astrophysicien, est responsable du Laboratoire d'astrophysique nucléaire et nucléosynthèse, (ERA 182 - Gif-sur-Yvette). Parmi ses publications, son livre *Patience dans l'azur - l'évolution cosmique*, dont le titre est emprunté à Paul Valéry, illustre sa volonté d'expliquer au public l'histoire de l'univers.

Monique Mounier-Kuhn - Les étoiles naissent, vivent et meurent. Les hommes aussi... Hubert Reeves, vous expliquez la vie des étoiles et l'histoire de l'univers, et vous, Edgar Morin, vous méditez volontiers sur « l'homme et la mort », sur l'homme dans l'univers et dans notre société. L'un part de l'étude de la nature, l'autre part des sciences de l'homme, deux démarches en apparence opposées. Qu'est-ce qui vous rapproche ?

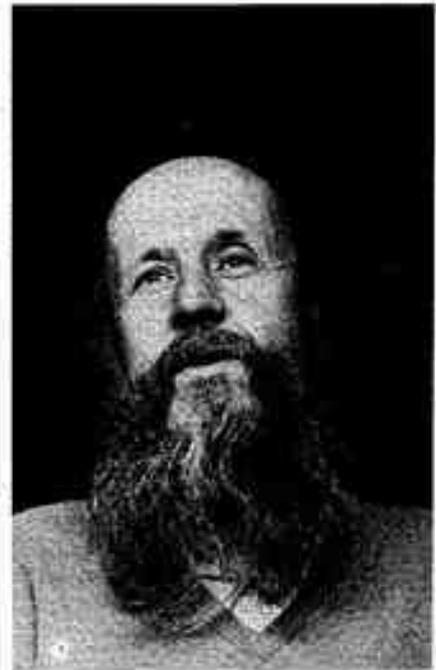
Edgar Morin - Je crois que Hubert Reeves, lui, en interrogeant l'univers, interroge nécessairement l'homme, réfléchit à la place de l'homme dans l'univers et que moi, en interrogeant l'homme et l'homme social, inévitable-

ment j'arrive à me demander quelle est la place de cet homme dans l'univers. Nous débouchons l'un et l'autre sur la question de l'homme inséparable de la question du monde.

Hubert Reeves - Je retrouve en Edgar Morin cette même passion de la synthèse que je reconnais dans ma démarche scientifique. La connaissance morcelée, spécialisée ne nous satisfait pas. Nous sommes curieux de tout l'univers. J'aborde le problème sur sa facette physique mais je sens qu'il faut aussi englober les réalités psychiques. Nos domaines sont connexes. Nous nous retrouvons dans le territoire mitoyen : celui des relations entre l'homme et l'univers.



Monique Mounier-Kuhn - Edgar Morin -



Hubert Reeves.

M.M.K. – Quelle est votre vision de l'univers, à la lumière de l'état de la science en 1982 ? Et quelle est la place de l'homme dans cet univers ?

H.R. – Ici je n'ai pas beaucoup d'idées claires. J'ai surtout des questions que je n'arrive même pas à formuler convenablement. Il m'est plus facile de définir ma position par rapport à d'autres « visions ». Par exemple, celle de Jacques Monod, lorsqu'il écrit que « La matière n'est pas grosse de la vie et la vie n'est pas grosse de l'homme ». Ou encore celle de Levi-Strauss « L'univers est né sans l'homme et il mourra sans l'homme ». Il me semble au contraire que l'être humain est une partie essentielle de l'économie de l'univers. Je me sens plus près du physicien Freeman Dyson : « L'univers, quelque part, savait que l'homme allait venir ».

Il s'agit bien sûr d'une vision personnelle et non pas d'une affirmation basée sur une argumentation rigoureuse. Mais il y a quand même des éléments qui nous viennent des acquis récents de la science (physique, chimie, biochimie, biologie, astronomie). C'est en gros le phénomène de l'organisation progressive de la matière. C'est le thème de mon livre *Patience dans l'azur*. Depuis le début de l'univers, la matière s'organise. Elle le fait en associant des entités simples pour en faire des entités de plus en plus complexes et de plus en plus performantes. On passe successivement du niveau « particules élémentaires » (quarks, électrons, photons) au niveau nucléons, puis aux noyaux puis aux atomes, puis aux molécules, simples et de plus en plus complexes (biomolécules) puis aux cellules puis aux organismes pluricellulaires, en grimpant progressivement jusqu'au sommet de l'arbre darwinien. Sur notre planète le « fruit » le plus avancé de cette gestation cosmique c'est l'être humain capable de prendre conscience de sa propre existence, capable de connaître l'univers qui l'a engendré...

Il n'est pas absurde de dire que l'univers a évolué « comme si » il voulait engendrer un être capable de prendre conscience de sa propre existence (tout en reconnaissant le caractère parfaitement anthropomorphique de cette proposition). On peut aujourd'hui sans se dégrader intellectuellement faire sienne l'idée que l'univers est en définitive une machine à fabriquer de la conscience. Et que cela prend quinze milliards d'années. Mais pourquoi ? Dans quelle finalité ? Cela je n'en ai pas la moindre idée.

Des échos qui ne sont pas en dissonance avec cette vision du monde nous viennent de la théorie de la mesure en physique quantique. Le postulat d'objectivité absolue « à jamais indémontrable » de Jacques Monod n'est plus tenable en tant que tel. On ne peut dissocier du résultat de l'observation la volonté de l'observateur quant à ce qu'il a décidé de mesurer. En d'autres mots, on ne peut pas penser l'univers sans faire intervenir la présence de celui qui pense, non pas seulement en tant qu'observateur détaché et « objectif » mais en tant qu'intervenant pour transformer ses potentialités en réalité par le fait même de son intervention. Les lois de la physique décrivent beaucoup plus notre interaction avec le monde que le monde lui-même (Heisenberg). C'est l'intuition kantienne qui nous revient, avec le poids et la vigueur que lui procure un formalisme mathématique rigoureux.

E.M. – Je rejoins Hubert Reeves sur un point fondamental : l'univers que nous connaissons, ce n'est pas l'univers sans nous, c'est l'univers avec nous. Nous connaissons bien des choses objectives de l'univers, c'est-à-dire des choses qui sont vérifiées par l'observation et par l'expérimentation. Mais ces choses objectives sont inscrites dans des théories qui sont structurées et élaborées par nos esprits : on ne peut pas prétendre connaître un univers non humain. Notre connaissance la plus objective est aussi quelque chose d'humain, de culturel et d'inscrit dans un temps. Ainsi nous ne pouvons pas nous désolidariser de l'univers bien que nous puissions nous distinguer de l'univers. Je suis donc d'accord et je généralise ce principe d'une certaine physique : on ne peut pas concevoir l'observation en excluant l'observateur. Dans tous les domaines, sociologique, historique, l'observateur doit être inclus dans l'observation.

Ce que nous ont apporté les sciences, depuis deux siècles, et ça continue..., c'est de nous faire perdre ce privilège central que nous donnait la religion, qui faisait de l'homme une créature créée spécialement par un créateur et sise au centre de l'univers. Nous avons perdu ce privilège d'être de substance différente de celle des autres vivants, puisque nous sommes un produit de l'évolution biologique ; la vie elle-même a été faite avec la matière cosmique, ce qui a commencé avant qu'existent les étoiles. Donc nous faisons « partie » de cet univers, mais nous sommes très marginaux. On a perdu le privilège d'être au centre du monde.

Ceci m'amène à penser, dans le prolongement de ce que dit Reeves, à un passage extraordinaire, pour moi, du mathématicien Spencer Brown. Il dit à peu près ceci : « à supposer que l'univers ait eu envie de prendre conscience de lui-même, il faudrait qu'il se distancie de lui-même, pour pouvoir se considérer ». Il faudrait donc qu'il lance hors de lui une sorte de pédoncule ou de pseudopode, qui soit assez étranger à l'univers pour qu'il puisse se regarder. Autrement dit, l'univers n'est pas capable de se réfléchir soi-même, s'il ne se distancie pas par rapport à lui-même. C'est comme notre conscience : elle a besoin de se dédoubler. Donc si nous sommes là et si nous prenons conscience de l'univers, nous devenons d'une certaine façon « étrangers » à cet univers. L'univers en tant que tel a besoin d'exiler une partie de lui-même s'il veut prendre conscience, pour rester dans cette hypothèse. Cela, du coup, va dans le sens de l'idée que nous sommes très marginaux dans l'univers, et que la vie elle-même est marginale. D'après nos connaissances, peut-être que cette vie n'est apparue qu'une seule fois sur terre, ce que nous suggèrent l'unicité du code génétique pour tous les vivants et le caractère lévogyre de la molécule de carbone.

H.R. – Oui. Mais il y a des opinions divergentes à ce sujet.

E.M. – Les raisons en faveur du caractère unique sont plus fortes actuellement que celles en faveur de la pluralité des naissances. S'il y a eu différentes naissances de vie sur terre, il ne peut y en avoir plus de deux ou trois. On ne peut éliminer toutefois l'idée que les conditions de naissance de la vie ont été supprimées par le développement même de la première souche vivante, qui aurait consommé toute la matière organique.

H.R. – On admet que si aujourd'hui, tous les êtres vivants possèdent des molécules lévogyres c'est qu'ils ont éliminé ceux qui possèdent des molécules dextrogyres.

M.M.K. – « Lévogyres » – « dextrogyres », pouvez-vous expliquer ces termes pour nos lecteurs non-scientifiques ?

H.R. – Il s'agit de molécules qui ne sont pas symétriques. Supposons une molécule qui s'enroule sur elle-même avec la forme géométrique d'une hélice ou d'un colimaçon. L'enroulement peut se faire dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens opposé. Ces molécules n'absorbent pas la lumière de la même façon. On parle ici de mo-

lécules dextrogyres et lévogyres. Les sucres par exemple existent au laboratoire sous les deux variétés. Mais chez les vivants n'existent que les sucres lévogyres. Au départ il y avait vraisemblablement les deux sortes. Mais une seule a survécu.

E.M. - Tant que nous resterons seuls, tant que nous n'aurons pas un message d'ailleurs, je pense que nous devons nous considérer seuls. Je crois que le monde est assez tragique, que nous sommes les enfants de cet univers mais que par notre culture, notre conscience, nous en sommes devenus très étrangers. Remarquez : il faut que nous retrouvions notre communauté matricielle avec l'univers. Mais on ne pourra jamais faire une véritable alliance avec l'univers. Je suis entre Prigogine et Monod : « Nous restons un peu les tziganes de l'univers », comme disait Monod.



Comète West - Observatoire de Haute-Provence.

H.R. - Je voudrais revenir sur cette idée de l'existence d'autres civilisations. Nous n'avons pour l'instant aucune certitude à ce sujet. Pourtant on peut établir une argumentation en leur faveur qui personnellement me plaît assez. Elle est basée d'une part sur l'uniformité des lois de la nature et d'autre part l'uniformité des compositions physiques et chimiques dans tout l'univers observable. Les tests à ce sujet sont de plus en plus précis et de plus en plus probants. Les densités de lumière, d'atomes, de molécules interstellaires d'une part, d'étoiles et de galaxies d'autre part montrent que la nature s'organise partout de la même façon. Il n'y a rien de spécial chez nous... Il est raisonnable de penser que même aux niveaux plus avancés de l'organisation (qui sont hors de notre portée d'investi-

gation) les choses se passent encore d'une façon analogue...

E.M. - Ce n'est pas une simple question d'observation, ce n'est même pas une question d'échelle, ni même le fait que l'être vivant le plus élémentaire ou le moins complexe, disons une protobactérie, est constitué de centaines de milliers de macromolécules. Il y a le fait qu'il faut un saut extraordinaire pour passer de l'organisation macromoléculaire à une organisation informationnelle, communicationnelle et computationnelle d'un être-machine vivant capable de s'auto-produire, de s'auto-reproduire et de s'auto-perpétuer. C'est ce saut extraordinaire qui est fabuleux ! On comprend cette thèse qu'ont défendue longtemps les biologistes moléculaires : la vie est née d'un hasard aussi improbable que le singe dactylographe qui écrit Hamlet sans le vouloir.

La seule chose qui est maintenant, je crois, corrigée par rapport à cette idée de Monod, c'est qu'il n'y a pas que la vision strictement chimique qui importe : il y a aussi la vision thermodynamique, la constitution par tourbillons de structures complexes, comme le montre la thermodynamique de Prigogine. Mais même dans ce cas-là, il y a un saut formidable de créativité de la plus grosse des macromolécules à la plus misérable des cellules...

H.R. - Je crois qu'il y a une véritable continuité. La vie est-elle improbable ? Pour calculer la probabilité de la vie il faudrait savoir exactement comment se déroulent les étapes intermédiaires. C'est un principe général du calcul des probabilités. Il faut d'abord établir l'espace « d'échantillonnage » c'est-à-dire

connaître le nombre d'« événements » qui mènent à la vie par rapport au nombre d'événements qui n'y mènent pas. Sinon on peut faire des erreurs énormes. Je vous donne deux exemples.

Le premier porte sur les molécules interstellaires. Les radio-astronomes ont été très étonnés de découvrir dans l'espace des molécules contenant jusqu'à dix ou douze atomes. On s'attendait à trouver des molécules simples de deux ou trois atomes. Pourquoi ? On pourrait à rebours, formuler à peu près comme ceci l'argumentation implicite : « L'espace est vide et froid, les probabilités de rencontre sont rares ». On ne soupçonnait pas, à l'époque, l'importance catalytique des grains de poussière interstellaire. Et en conséquence on sous-estimait grandement la probabilité de formation de molécules complexes, si largement répandues dans notre galaxie comme dans les galaxies voisines...

Un second exemple : les expériences de Urey et Miller. Il s'agit de simulation des conditions physiques et chimiques dans l'océan terrestre primitif. Là encore les résultats sont stupéfiants : alcools, sucres et même certains acides aminés se forment « spontanément » à partir de molécules simples. Peut-on croire après cela que la « matière n'est pas grosse de la vie »...

E.M. - J'espère que vous avez raison. Mais j'ajoute que l'illusion dans le jeu des probabilités n'est pas à sens unique. Au départ, il pouvait sembler très probable qu'il y ait d'autres espaces habités tant qu'on ne savait pas que la structure vivante était d'une aussi fabuleuse complexité. Et jusqu'à Pasteur, il semblait très probable que la vie naisse sans arrêt sur terre. Donc l'incertitude va dans les deux sens. Moi, j'attends, en espérant qu'il y a d'autres êtres pensants et surtout plus intelligents que nous !

H.R. - On peut, je pense, dire que la vie c'est cette tendance mystérieuse qu'a la matière à s'organiser. Cette tendance s'exprime en physique par l'existence et l'action des quatre forces de la nature. Nous avons toutes les raisons de penser que ces forces existaient déjà au début de l'univers. Trois d'entre elles se différencient à partir d'une force unique avant la première microseconde. (Pour l'instant la quatrième, la gravité, échappe encore aux efforts de réunification). Ces forces possédaient déjà les propriétés qui leur permettent aujourd'hui de construire les édifices qui servent d'assises à la complexité et à la conscience.

E.M. – Puis-je donner une objection : la matière aime s'organiser, tend à s'organiser, mais il y a une partie très désorganisée dans l'univers physique, donc elle est organisée de façon minoritaire.

H.R. – Elle doit payer. La deuxième loi de la thermodynamique, lui dit : « tout gain d'organisation sera payé par un gain de désorganisation ».

E.M. – D'abord la matière organisée est minoritaire dans l'univers et la matière organisée de la façon la plus complexe est elle-même minoritaire par rapport à cette matière organisée. Ensuite, quand on réfléchit à l'évolution biologique, Darwin, n'est-ce pas, a bien voulu montrer qu'elle était en forme arborescente. L'évolution biologique part dans tous les sens, végétale et animale. Nous avons une forme organisée extraordinaire, non seulement chez les hommes et les animaux, mais aussi chez les plantes et les fourmis, les sociétés de fourmis, de mammifères, de singes qui sont nos cousins. Mais ce phénomène propre à l'homme, avec cet énorme cerveau que nous avons, avec cette possibilité d'avoir une conscience, qui se conçoit elle-même par le langage, avec nos sociétés, nos civilisations, il est apparu dans un unique rameau de l'évolution. Si la vie voulait aller vers la conscience d'une façon un peu « teilhardienne », elle aurait pris trois ou quatre chemins pour y arriver. Or, il n'y a qu'un seul chemin qui a accédé à cette conscience. Cela dit, il y a certes une tendance à la complexification, où, à mon avis, le hasard terrien n'est pas maître de tout...

H.R. – Absolument d'accord quant au rôle du hasard.

E.M. – Tout ce qui arrive au stade le plus complexe est de plus en plus minoritaire.

H.R. – Vous l'avez très bien écrit quand vous évoquez « des îlots d'organisation dans un océan de désordre ». Ce sont les exigences de la deuxième loi de la thermodynamique : « Si vous voulez créer de l'ordre, il faut créer plus de désordre ». Bien sûr, sur le plan quantitatif, il a peu de matière organisée, par rapport à la matière désorganisée. L'important, c'est qu'il y a de la matière organisée, même s'il faut payer très cher comme désordre pour créer cet ordre.

C'est comme si la nature faisait un grand effort « tout azimut » pour s'organiser. Certaines démarches ratent, d'autres sont sur de bonnes voies. J'aime bien cette image de la nature qui



Albert Einstein (photo Palais de la découverte).

joue : elle essaie des quantités de choses, et quand ça ne va pas elle les écarte, elle passe à autre chose. Elle détruit les dinosaures avec un météorite, parce que ce n'est pas la bonne carte. Alors elle repart avec une autre carte. C'est le côté ludique de la nature.

E.M. – C'est un drôle de jeu.

H.R. – A quoi rime ce jeu ? C'est une autre question.

M.M.K. – Que représente pour vous, aujourd'hui, la science ? Comment définissez-vous la recherche ?

E.M. – La connaissance scientifique est distincte des autres formes de connaissance en vertu de son obsession de vérification ; si on ne peut pas vérifier par

expérience, on vérifie par multiplication des observations. La science est l'aventure de la raison humaine qui essaie de dialoguer avec les données et les faits. C'est un dialogue entre la raison humaine et l'univers. L'univers, en fait, est toujours plus fabuleux et incompréhensible que le croyait la raison. La science n'est pas la raison seule, parce que la raison seule fait des systèmes très logiques dans lesquels on s'enferme. La science marche sur quatre pattes. Les deux pattes de devant sont l'imagination et la vérification, les deux pattes de derrière sont le rationnel et l'empirique. Du coup, quatre unipédistes différents peuvent faire un excellent scientifique...

H.R. – Un petit enfant qui observe le

monde découvrir assez tôt une cohérence. Ce n'est pas le chaos. Quand on cache son jouet, il le cherche. Et quand il le trouve, il comprend qu'entre son esprit et la réalité extérieure il y a un certain lien. J'imagine que la démarche scientifique est née à partir d'événements semblables chez nos lointains ancêtres. Nous sommes fondamentalement encore dans la même démarche. Nos instruments se sont formidablement affinés, tant sur le plan de l'instrumentation que sur celui de la conceptualisation. C'est le couplage intime entre expérience et formulation logique qui est le cœur même de la science. Je sais que les électrons « existent » parce que la lumière s'allume au plafond quand je pousse le bouton. Même si je sais que je ne verrai jamais les électrons.

E.M. – On voit même qu'un certain nombre de données établies par les astronomes chaldéens et grecs continuent à être valables, après qu'on ait abandonné le système de Ptolémée.

H.R. – Exactement. Le concept de vérité s'associe avec l'efficacité. Ptolémée n'avait pas tort. Son système, quoi qu'on dise parfois, n'est pas faux : il marchait bien pour prédire les éclipses, comme le faisaient les Grecs et les Égyptiens. Mais ce n'était pas vraiment « bien ». Ce qu'on peut dire en faveur de Copernic et de Newton, c'est que ça marche « mieux ». Pourquoi a-t-on adopté Copernic, Newton, Einstein ? Il s'agit chaque fois d'un ensemble théorique qui explique plus de choses, et qui les explique de mieux en mieux. Par exemple la théorie de Newton explique des quantités de choses ; mais si vous essayez de comprendre pourquoi l'orbite de Mercure tourne sur elle-même, la théorie de Newton n'a pas de réponse ; ce n'est pas prévu. Alors vous adoptez une nouvelle théorie, qui est fondamentalement différente, celle d'Einstein, dans laquelle vous remettez en question les notions de temps et d'espace. Vous ne gagnez rien s'il s'agit de prédire les éclipses. Mais vous pourrez savoir pourquoi l'orbite de Mercure tourne. La vérité scientifique est liée à l'efficacité. A combien de questions pouvez-vous répondre pour le même prix ? Plus vous avez de bonnes réponses, plus la théorie est bonne.

E.M. – Et cette vérité elle-même peut être provisoire. Ce qui est très beau dans la science, c'est que le propre d'une théorie scientifique n'est pas d'être absolument certaine, à l'inverse de ce qu'on a longtemps cru parce

qu'elle accepte d'être remise en question comme l'a montré Popper (1), et les scientifiques. Ce qui est certain, ce sont les données sur lesquelles sont obligés de s'accorder des gens d'opinions, d'idéologies et de croyances différentes. La science progresse par ce jeu entre les théories et les faits.

M.M.K. – Quel est le rôle de l'intuition ?

E.M. – L'intuition, l'imagination, le rêve ont un rôle énorme. Mais vous savez, c'est un rôle qu'on ne peut pas mettre en formules mathématiques ; on n'en parle pas dans les manuels scientifiques. Dans la biographie de ceux qui ont « trouvé », on voit bien que « l'inspiration » est très variée. Poincaré disait qu'il a trouvé la solution à des problèmes pendant son sommeil. Le rôle du phantasme, de l'imaginaire est absolument incroyable, à condition qu'il soit en dialogue avec le travail logique et cohérent.

H.R. – L'intuition et l'imagination sont en quelque sorte les moteurs de la science. Mais il faut ensuite le contrôle de la rationalité. Mais dans un sens plutôt ouvert. Axé plus sur l'efficacité que sur la logique. En science on est pragmatique. Si ça « marche » c'est « bon » même si conceptuellement ça se tient plus ou moins bien. Prenons la notion de « force » telle qu'elle fut introduite par Newton. Strictement parlant les lois de Newton sont des tautologies. Qu'est-ce qu'une force ? C'est ce qui altère un mouvement régulier. Qu'est-ce qu'un mouvement régulier ? C'est celui d'un corps qui n'est soumis à aucune force. Pourtant il est avantageux d'adopter le concept de force : vous pourrez ensuite comprendre le mouvement des planètes.

M.M.K. – Savant, scientifique, chercheur : ces termes qui ont été en usage tour à tour correspondent-ils à une évolution des conceptions de la recherche ? A votre avis, Hubert Reeves ?

H.R. – Je n'aime pas le terme « savant ». Il évoque à mes yeux l'intage de celui qui « sait » et à ce titre possède un certain pouvoir sur ceux qui ne savent pas. C'est le nouveau prêtre, celui de la nouvelle religion qu'est le « scientisme ». « Scientifique » oui, c'est plus neutre. « Chercheur ». Je préfère.

M.M.K. – Pourquoi ?

H.R. – Parce que c'est ça, notre métier : chercher, essayer des choses... Le mot « chercheur » implique que nous sommes loin d'avoir tout trouvé : ce

que nous savons est une infime partie de ce qu'on pourrait éventuellement connaître sur l'univers.

M.M.K. – Et vous Edgar Morin, avez-vous une préférence ?

E.M. – Incontestablement, je préfère le mot « chercheur ». De toutes façons, je ne peux pas prendre le terme « scientifique », même si je voulais, parce que ce qu'on appelle « les sciences de l'homme » ne sont pas des « sciences » au sens des sciences dites exactes. Pour moi, scientifique correspond à des institutions, pas à des esprits. Un « savant » qui a l'esprit scientifique dans son laboratoire, dans ses travaux, ne l'a pas nécessairement dans la vie publique, dans ses opinions. C'est un abus de dire : « Moi qui suis un esprit scientifique ».

En revanche, « chercheur » c'est quelque chose de pleinement humain, parce que l'espèce humaine est une espèce chercheuse. C'est ce besoin de curiosité que tout enfant ressent. Nous avons le privilège, si nous aimons la recherche, de réaliser notre souhait d'enfance.

M.M.K. – Pensez-vous devoir jouer un rôle dans la vie intellectuelle du XX^{ème} siècle ?

E.M. – Quand je prends des positions sur un problème, je tiens à le faire en tant qu'individu et non comme « Edgar Morin, sociologue ». Bien entendu, j'essaie de me servir de mon savoir sociologique pour donner mon opinion, mais sans user de ce titre. Le rôle d'un chercheur dans la société, c'est peut être surtout d'éveiller ses contemporains aux problèmes fondamentaux de cette curiosité humaine, du savoir, d'empêcher aussi les gens de dormir en rond. Ce n'est inscrit dans aucun statut. Ce sont des choses que l'on sent en soi. Je suis chercheur au CNRS, une institution scientifique, et par ailleurs j'ai le droit, en tant que personne, d'avoir des opinions sur différents sujets. Et je peux me tromper !

H.R. – C'est une distinction importante. Le public a tendance à donner au personnage du « savant » un lustre, une sorte d'universalité : on risque de retomber dans le scientisme. Lorsqu'on me demande mon opinion, par exemple, sur l'énergie nucléaire, j'insiste toujours pour dire que je donne un point de vue personnel. Il s'agit d'un problème très complexe, qui fait intervenir tellement de variables, d'impondérables

(1) Karl Popper, auteur de *La logique de la découverte scientifique*, Payot, 1973.

et de composantes. La réponse ne figure pas dans les « bouquins ». Je peux émettre un avis parce que je connais bien la technique. Mais je peux aussi me tromper : c'est indépendant de ce que je sais ou ne sais pas sur la physique nucléaire. Savoir s'il faut utiliser ou non l'énergie nucléaire, c'est un problème de société qui est très vaste.

E.M. – Nous devons à tout prix éviter de nous servir de notre autorité comme des pseudo-mages ou des pseudo-prêtres.

M.M.K. – La recherche est de plus en plus liée aux diverses activités de nos sociétés, qu'elle féconde. Comme chercheur, qu'apportez-vous au monde actuel ?

H.R. – Raconter aux gens la vision qui émerge de la science moderne est certainement un objectif valable. Les gens s'interrogent beaucoup à ce sujet. Il importe de leur donner les éléments indispensables à cette réflexion, tout en évitant de jouer au « gourou ».

E.M. – Le chercheur dans les sciences naturelles apporte une révolution dans la vision du monde. En quarante ans, nous avons changé de cosmos, abandonnant la mécanique laplacienne pour un univers fabuleux, et nous avons changé notre idée de vie. Je suis sûr aussi que nous devons changer notre idée d'homme.

Dans le domaine des sciences sociales et humaines, il y a un malaise d'une science qui voudrait naître et qui n'arrive pas à naître. Notre rôle, c'est de dire : ne jouons pas aux Diafoirus ou aux Trissotin. Nous ne sommes pas des « docteurs » qui savons ce qu'est la société. Ce qu'on peut dire, c'est qu'il faut des chercheurs. Mon rôle, c'est de dire que la sociologie fait partie de la société qu'elle veut connaître.

M.M.K. – Comment appréciez-vous la responsabilité du chercheur ?

E.M. – C'est un problème très difficile. Nous sommes ballottés entre l'irresponsabilité et la culpabilité. L'irresponsabilité, c'est de voir la science comme un isolat admirable dans un univers mauvais. Si la bombe atomique menace de détruire la civilisation, c'est évidemment de la faute des méchants politiciens et non de la nôtre ! Or, science, technique, société sont certes des choses distinctes, mais non séparées. Elles s'entre-influencent et s'entrentransforment. En produisant des forces de manipulation énorme qui donnent à l'humanité puissance démiurgique, la connaissance scientifique a aussi pro-



Indien guayakí du Paraguay : homme malade recouvert de duvet d'urubu (Laboratoire d'anthropologie sociale – Cl. Lévi-Strauss).

duit des forces potentielles d'asservissement et d'aneantissement.

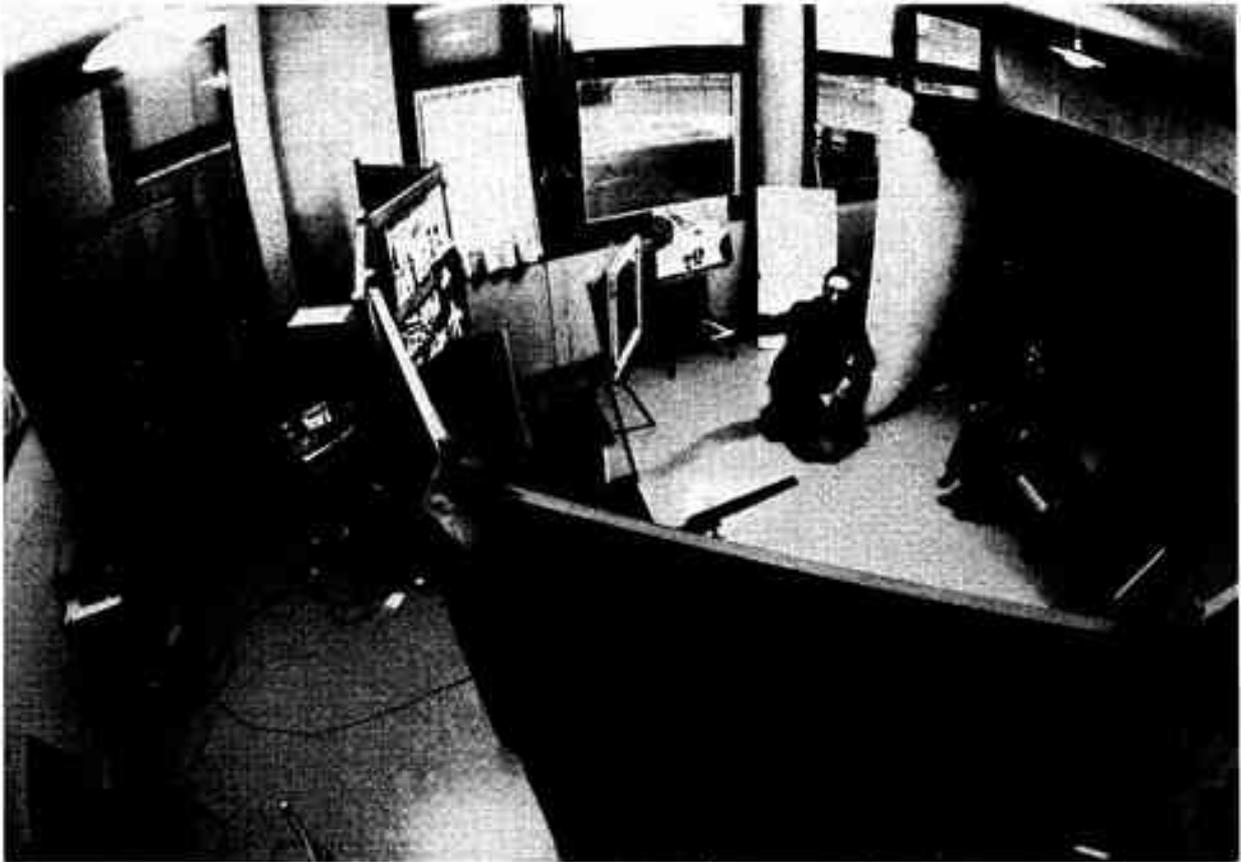
Alors on risque de tomber dans la culpabilité. Il y a eu un très beau manifeste surréaliste, dans les années 50, après les premières bombes atomiques, qui disait : « Permez les laboratoires » Mais ce n'est pas possible. Le vrai problème, c'est que nous devons prendre conscience de notre responsabilité dans la société ; nous faisons partie d'une société, nous ne sommes pas dans un vase clos, « victimes » de la société. La vraie difficulté, c'est de concevoir le rôle que nous jouons, et on n'a pas les outils mentaux pour ça. C'est le problème que je pose dans *La méthode*. Du milieu scientifique, il faudrait que naisse quelque chose de plus ample que le mouvement qui s'appelle déjà « Mouvement de la responsabilité scientifique ».

H.R. – Je suis peut être un peu plus pessimiste que vous. Je suis frappé par ce qu'on pourrait appeler la « logistique de la destruction ». Dès qu'une technique se développe elle est immédiatement dirigée vers des fins destructrices. L'expérience « Los Alamos » m'impressionne. Tous les meilleurs cerveaux de la planète pour construire la bombe atomique, le plus vite possible. Avec toutes les bonnes raisons du

monde. Au début c'était Hitler, puis les Japonais, puis Moscou et la guerre froide. Les historiens de l'après-guerre nucléaire (s'il en reste...) expliqueront comment tout cela s'est déroulé avec la précision d'une horlogerie...

Question : Pourquoi ne recevons-nous pas de messages en provenance des civilisations extra-terrestres ? Réponse possible : le développement de la technologie amènerait-il irrémédiablement l'auto-destruction ? Je cherche autour de moi des raisons d'espérer.

E.M. – Je crois qu'il y a un mouvement de « feed-back » positif de la destruction par la destruction, qui est terrifiant. Le problème aujourd'hui de la science n'est plus, comme l'a dit un philosophe, de maîtriser la nature, mais de maîtriser la maîtrise. Personne n'est contrôlé. Nous n'arrivons pas à contrôler les choses qui sortent des laboratoires, et les politiques qui s'en servent eux-mêmes sont incontrôlés : il y a une sorte de force incontrôlée mais que contrôle la mort ; c'est la mort, le contrôleur. C'est terrifiant. Nous ne pouvons pas donner de réponse. Quelque chose, qui tient au compartimentage même de l'institution scientifique nous rend irresponsables. Quand on disait à Wernher Von Braun : « Ecoutez, quand les missiles s'en vont et qu'ils tombent,



Expérience vidéo : l'image de soi chez l'enfant - Laboratoire de psychologie de l'enfant (I.A. 315) - (Cliché Lajoux).

qu'est-ce que vous pensez ? » Il répondait : « Ce n'est pas l'affaire de mon département ».

H.R. - Il s'agit plutôt des paroles d'une chanson de Tom Lehrer. Il fait dire à Von Braun :

« When the rockets are up... who cares
Where they fall, it is not my depart-
ment » (1).

E.M. - Ce n'est pas dans mon « rôle », comme on dit dans une comédie de Molière. Ce compartimentage de son « univers », cette affirmation : « ce n'est pas moi », c'est la logique d'Eichmann aussi : « je n'ai fait qu'obéir aux ordres ». Comment pourrions-nous rompre avec cette logique si nous ne prenons pas conscience de cette logique et si nous n'entrons pas en crise pour chercher une autre logique ?

M.M.K. - Vous évoquez l'angoisse devant le drame auquel est confronté le monde contemporain. On peut penser que l'on est en mesure aussi de récolter les fruits de la science, dans le domaine de la vie culturelle ou du développement socio-économique, sans qu'on soit, bien sûr, chaque fois gagnant. Certaines sociétés sont-elles plus douées que d'autres pour absorber le progrès des connaissances ?

H.R. - La science a un aspect à la fois très positif et très négatif. Ce côté positif de la science, on l'a ignoré pendant tout le XIX^{ème} siècle. Le seul qui ait sonné l'alarme, c'est Nietzsche. Il a écrit des textes très pertinents sur le côté pernicieux de la science. C'est le primat de la rationalité contre les autres visions de l'univers. Le livre *Tristes Tropiques* illustre bien ce que donne l'arrivée de la technologie dans une civilisation qui vit en harmonie avec son entourage : la vie n'a plus de sens. La civilisation occidentale lui donne des vêtements chauds, mais elle démolit la culture. C'est un vaste problème, à l'échelle de l'humanité : retrouver l'harmonie avec la technologie. La technologie n'apporte pas l'harmonie. Elle en sape les bases antiques. Je vois là un problème majeur de sociologie : quelles sont les valeurs de remplacement pour l'être humain dans une société technologique ? On doit accepter la technologie, on ne saurait reculer, mais comment vivre avec ?

E.M. - La grande difficulté, c'est de concevoir à la fois le « bon » et le « mauvais » côté de la science, cette ambivalence profonde. En général, les esprits se partagent : les uns disent la science apporte des bienfaits à l'humanité, médecine, vaccins, agronomie

etc... On dresse la liste de tous ces apports indubitables, d'autres font une liste tout aussi indubitable de menaces et de fléaux. En réalité, il y a un jeu dialectique de l'un et de l'autre ; la médecine a fait diminuer la mortalité infantile dans de nombreux pays du Tiers Monde, mais cette diminution a aggravé le problème démographique et le problème de la faim, qui lui-même relève évidemment de l'accroissement des cultures et des rendements mais aussi des problèmes politiques liés à l'organisation sociale. Le drame, c'est que nous avons des pensées compartimentées alors que tous les problèmes sont solidaires. Un problème scientifique est aussi un problème politique, qui lui-même renvoie à la science.

La science la plus humaine, l'anthropologie a pu être longtemps une science barbare. Au début du siècle, Lévy-Bruhl parlait des « primitifs », des « peuples-enfants », qui n'étaient pas rationnels. Ils étaient « mystiques » et « a-logiques ». On se demandait comment ils arrivaient à faire des armes aussi raffinées et des outils aussi remarquables. Supposant du même coup que

(1) Tom Lehrer, chansonnier américain qui est, par ailleurs, professeur de mathématiques à Boston.



René Descartes (photo Palais de la découverte).

notre civilisation était rationnelle et logique, ce qui en fait était totalement irrationnel. Claude Lévi-Strauss a su démontrer qu'il y avait des trésors, des vérités, des vertus dans ces cultures dites « primitives ». Aujourd'hui nous nous rendons compte de ce qu'est la barbarie de notre société civilisée. Nous ne pourrions sortir de notre barbarie mentale que lorsque nous serons capables de considérer la complexité des phénomènes. C'est notre façon de voir qui doit changer.

H.R. – Exactement. On retrouve le contexte de l'observateur et de l'observé. On a cru être des observateurs sortis du contexte, regardant les êtres humains comme des atomes. On s'est aperçu que nous étions des êtres humains, avec nos propres mythologies, notre propre irrationalité.

E.M. – Et c'est au moment où on se croyait le plus rationnel, c'est-à-dire propriétaires monopolistes de la raison, que nous étions le plus irrationnels.

M.M.K. – La science est-elle neutre ?

H.R. – Non rien de moins neutre que la science. Le mythe de la neutralité de la science, c'est une manière de se blanchir la conscience.

E.M. – Le mot neutre, à mon avis, n'a pas de sens. La science est faite de théories, qui correspondent à un point de vue sur le monde, lequel dépend des obsessions de tel ou tel scientifique ; elles peuvent se trouver vérifiées ou infirmées. Mais une théorie n'est pas neutre puisqu'elle impose un certain point de vue. La science donne des résultats qui ne sont pas neutres, ces résultats vont immédiatement être utilisés pour l'action, pour le meilleur ou pour le pire, souvent pour le meilleur et le pire à la fois. Alors il n'y a rien en soi de neutre dans la science.

Ce qui existe dans la science, c'est une objectivité ; bien qu'elle soit faite par des esprits subjectifs, bien que les théories reflètent nécessairement les conditions culturelles de leur production, elles réussissent à appréhender un

certain nombre de phénomènes objectifs. Objectivité oui, neutralité non.

M.M.K. – L'époque actuelle est marquée par un développement scientifique et technologique considérable. Peut-elle être jugée comme « scientiste » ? Que pensez-vous des mouvements anti-science et de leur influence ?

H.R. – Nous venons de traverser une longue période de « scientisme » qui s'étend de la Renaissance jusqu'au début du XX^{ème} siècle. Le plus vibrant témoignage est sans doute celui d'un poète, Victor Hugo : « l'immense bonheur du progrès est inévitable ». Qui maintenant signerait cette parole ?

Aujourd'hui, la religion de la science est au moins aussi violemment contestée que les grandes religions traditionnelles. Je viens de vivre six mois en Californie. La puissance et le fanatisme de certains mouvements anti-science atteignent là des niveaux effarants. On sent une montée en force de l'irrationalisme, tout aussi inquiétante que le mouvement nazi des années trente.

Il s'agit je crois d'une réaction à l'hégémonie jalouse que la rationalité avait imposée à toutes formes de pensée depuis plusieurs siècles. Les excès rationalistes (faites confiance à l'ordinateur) et la négation des valeurs irrationnelles (visions poétique et mystique) ont entraîné ces excès d'irrationalité qui voudraient nous ramener à l'âge pré-scientifique. C'est une illusion dangereuse qui mène droit à Jim Jones et aux suicides collectifs de la Guyane. La science et la technologie sont parmi nous, il nous faut apprendre à coexister avec elles...

Mais en même temps il nous faut réintégrer ces valeurs intuitives, imaginatives, créatrices, mises en veilleuse. La raison pure mène à l'assèchement, l'irrationalité pure à la folie. Tout cela n'a rien de nouveau. C'est de la sagesse antique. Mais il importe plus que jamais de la redire aujourd'hui.

La personnalité humaine a de nombreuses facettes. Elles ont toutes droit à l'existence, à la reconnaissance. Elle doivent toutes se développer en harmonie.

E.M. – Qu'est ce que le scientisme ? Il faut d'abord le définir. C'est une vision close de la science, c'est penser qu'à elle seule, elle a tout. Alors qu'il y a des dimensions humaines qui échappent à la vision scientifique, d'autres modes de connaissance. La poésie existe aussi et n'est pas pure fumée... En outre le scientisme est présent, surtout à la fin du XIX^{ème} siècle, comme le propriétaire absolu de la vérité, d'une nouvelle

religion de salut. C'était l'époque où l'on croyait que « scientifique » équivalait à « certitude absolue ». Alors que « scientifique » veut dire : « doute toujours ». Cette forme de scientisme impliquait l'identification de la science au progrès automatique, conduisant au progrès de l'humanité. On est revenu de tout cela. Le concept scientifique reste une idole moderne : le nazisme se prétendait fondé sur la biologie scientifique ; le stalinisme se prétendait propriétaire de la science historique. Le scientisme, c'est la prétention induite au monopole de vérité, alors que le propre de la science c'est de dire : il n'y a pas de monopole.

Le problème de la rationalité aussi est important. J'oppose fortement la rationalité et la rationalisation, bien qu'elles aient la même source : l'esprit voulant dégager ce qu'il y a de logique dans l'univers. Dans la rationalisation, s'il y a une contradiction entre sa logique et celle de l'univers, c'est toujours l'univers qui a tort et le système logique qui a raison. Si vous prenez l'astrologie et l'astronomie, l'astrologie représente une rationalisation fantastique. L'astrologie nous dit que notre destin à nous, individus, est déterminé. Le chef d'œuvre de la vision déterministe de l'humanité, c'est l'astrologie, puisque, à la lecture de notre ciel astral, nous pouvons dire qui nous sommes et qui nous serons. C'est une rationalisation. Pourquoi ? Parce que les sciences nous laissent incertains sur nous-mêmes : « qui suis-je ? » Ainsi chacun a grand plaisir à lire son horoscope, même s'il n'y croit pas... Nous sommes si divers, si multiples.

Le plus grand ennemi de la rationalité c'est la rationalisation. Les plus grands ennemis sont intérieurs. Le plus grand ennemi de l'homme, c'est évidemment l'homme. Le plus grand ennemi de la science, c'est cette forme de scientisme. L'inquiétant, c'est de se scléroser, de se compartimenter, de s'enfermer dans la spécialisation, qui détruit la sève même de l'esprit de recherche.

Les mouvements anti-sciences se développent à partir des dangers évidents du développement scientifique, dans le domaine des manipulations de toutes sortes, pas seulement physiques. Ils se développent aussi parce que beaucoup de gens ont l'impression qu'à tous les problèmes qu'ils ressentent en tant qu'êtres vivants – Que faire ? Comment vivre ? Avec quelle morale, quelle éthique ? – La science ne répond pas, pire, méprise ces questions.

Cette situation est d'autant plus dramatique que nous sommes à une épo-

VERS UN NOUVEL HUMANISME OU VERS UNE NOUVELLE BARBARIE ?

Le chercheur doit s'ouvrir aux problèmes et à la démarche de son temps. Cette « communication » nécessaire entre les chercheurs et les diverses composantes de la société contemporaine était l'un des thèmes du Colloque sur la recherche et la technologie. Edgar Morin et Hubert Reeves expriment leur point de vue sur la « popularisation » de la science et les chances de réconciliation entre la culture scientifique et technique, souvent inaccessible du fait de terminologies de plus en plus spécialisées, et la culture baignée d'humanisme à l'ancienne.

H.R. – Certains domaines de la science sont plus facilement accessibles au grand public que d'autres. Cela dépend de l'importance de la formulation mathématique inhérente. La physique quantique, par exemple, s'exprime fondamentalement par un langage mathématique. On peut prendre un langage imagé pour la décrire, mais il convient d'avertir le public : il y a quelque chose de « perdu » dans l'explication.

En astronomie c'est différent. Peut-être parce qu'on a pas encore atteint le même degré de sophistication que pour la mécanique quantique, peut être aussi parce que planètes, étoiles et galaxies sont plus accessibles à nos sens que les électrons. D'autres domaines de la science sont dans une situation analogue. Trop de scientifiques emploient un langage de clan, consciemment ou inconsciemment. Souvent pour préserver leur domaine contre les intrusions territoriales. Celui qui « sait » possède un « pouvoir ». De plus, le langage obscur peut masquer une ignorance ou une absence de réflexions approfondies. C'est souvent en cherchant à expliquer des phénomènes scientifiques à des enfants curieux que j'ai découvert mes carences. J'ai été amené à reprendre le problème en profondeur. Einstein disait : « On ne comprend bien que ce qu'on peut bien expliquer à des enfants ». J'en ai fait plusieurs fois l'expérience. Expérience quelquefois très fructueuse puisqu'elle m'a conduit à cerner de nouveaux domaines de recherches à poursuivre.

E.M. – Ce problème de la « popularisation » de la « culture scientifique » présente beaucoup de difficultés.

Les scientifiques doivent être propriétaires, dans leurs laboratoires, de leurs outils, de leurs appareils, de leurs archives, de leurs tiroirs et même de leurs théories – dans le sens où ils font des théories assez sophistiquées qui, sur le plan mathématique, ne sont pas intelligibles à tous. Mais ils ne sont pas propriétaires des idées qui se trouvent dans les théories. Ces idées devraient pouvoir

être discutées par tous, sans qu'il y ait ce qu'on appelle « vulgarisation », une sorte de sous-produit du savoir, c'est-à-dire un échec.

Dans le cas où on fait un effort de communication de sa propre pensée, on arrive à des résultats très heureux. Les livres d'Hubert Reeves en sont un bon exemple. Comme les ouvrages de Jacques Monod, de François Jacob, de Crick, de Luria, d'autres grands biologistes, des hommes qui ont réfléchi sur leur science, et créé quelque chose de « communicable ». On se rend compte que le problème de la communication réapparaît dès qu'il y a réflexion. Là où il n'y a pas de réflexion, il y a incommunication et orgueil de propriétaires... On dit : « Mes idées ?... il n'y a que moi qui peux en discuter, pas vous ! » Je crois que toute idée peut être discutée, que toutes les grandes idées de la science devraient faire l'objet de discussions. Si plus de philosophes s'intéressaient aux sciences, ils lanceraient ces débats comme ils l'ont toujours fait dans l'histoire de la philosophie.

Il ne s'agit pas seulement d'idées, mais aussi de notre vision du monde ; l'astronomie moderne, la biologie moderne changent notre vision du monde. Et notre vision va encore changer. Donc il est capital d'avoir ce débat, cette communication entre le monde des laboratoires et le monde du public. A condition qu'il y ait cet élément majeur qu'est la réflexion.

L'humanisme, c'est le véritable problème. Nous avions une culture humaniste qui était fondée sur un savoir assez limité, concernant l'homme et l'univers. Ce savoir limité pouvait être discuté par des esprits aussi divers que Montaigne, Pascal, La Bruyère, La Rochefoucauld... La difficulté a surgi quand le savoir est devenu quantitativement pratiquement illimité, toujours changeant, et du même coup très compartimenté.

On ne peut pas alors parler de culture scientifique comme de culture humaniste. La culture humaniste, c'est ce qui fait communiquer toutes les sphères du savoir. La culture scientifique est jusqu'à présent une culture compartimentée. Le grand problème est celui de la communication de deux cultures et cette communication implique la transformation de l'une et de l'autre.

Hubert Reeves partage entièrement cette analyse d'Edgar Morin : « Ce sont les enzymes de la communication et de la réflexion entre les secteurs qui sont absolument nécessaires pour qu'il y ait communication entre la culture scientifique et la nouvelle culture humaniste, qui doit, à mon avis, naître. Sinon nous allons vers une nouvelle barbarie ».

que où la science a rouvert tous les grands problèmes métaphysiques qui dormaient : le problème de l'univers, le problème de la place de l'homme dans l'univers, sont « rouverts », d'une façon qu'aucun esprit, aussi grand soit-il, Platon, Descartes, n'a pu concevoir. De même pour la machine vivante telle que nous la connaissons aujourd'hui. La « machine » de Descartes, c'était du « mécano » ! C'est à travers la réflexion sur la science que nous pouvons avancer dans notre développement proprement humaniste, à condition de concevoir un nouvel humanisme. Je dis bien « réflexion ». C'est-à-dire que la connaissance scientifique n'est pas seulement un produit à mettre dans des ordinateurs pour être manipulé par des puissances anonymes. La connaissance scientifique doit être faite pour être réfléchie et pensée par tout citoyen.

H.R. – Tout à fait d'accord. La découverte du fait que l'univers a une histoire est un événement d'une portée capitale sur le plan philosophique. Cette thèse a été confirmée d'une façon spectaculaire, il y a moins de vingt ans par l'observation du rayonnement fossile.

Pour le scientifique des siècles passés l'univers est sans histoire. Il est dans l'éternité des lois immuables de la physique.

E.M. – Oui on avait supprimé le cosmos au profit de la « physis ».

H.R. – Il n'était pas de bon ton pour un physicien de parler de « cosmologie ». Avant le XX^{ème} siècle, la « vision » du monde, la « Weltanschauung », était réservée aux philosophes, aux poètes, aux gens « pas sérieux ». La voilà aujourd'hui qui revient en force, en physique et en astronomie.

E.M. – Tout est historisé, c'est un changement radical. Avant on pensait qu'il n'y avait que l'aventure humaine. Depuis Darwin, même avec Lamarck, on a appris que la matière était historique, que le cosmos était historique. Nous sommes dans un évolutionnisme généralisé ; l'évolution n'est pas le privilège d'une espèce ; c'est ce qui existe dans tout ce qui est créé dans l'univers.

H.R. – C'est l'histoire de l'univers.

M.M.K. – Dans le cheminement de votre œuvre scientifique et de vos réflexions, je suppose que vous passez par des moments d'enthousiasme et par des phases de scepticisme. J'aimerais savoir si vous avez, chacun de vous, pour la période que nous vivons et pour la recherche, des espoirs ?

H.R. – Ce qui m'intéresse c'est d'es-

sayer de « comprendre » dans le sens le plus vaste possible, tout ce qui se passe, à tous les niveaux dans l'univers. C'est très ambitieux et je sais bien que je n'y arriverai jamais. Mais je ne peux m'en dispenser de toutes façons. C'est une passion, une obsession.

Le problème le plus difficile c'est celui de l'horreur. L'horreur existe, coexiste dans l'univers avec le « sens ». Il y a les hirondelles nées de quinze milliards d'années d'évolution. Cela est beau. Cela fait « sens ». Mais il y a aussi Auschwitz et cela je n'arrive pas à le comprendre, à l'intégrer. Il y a la mort, l'oppression et la guerre nucléaire qui nous menacent. Il faut lire les pages de C.G. Jung sur ce sujet dans son autobiographie.

E.M. – Je pense en profondeur comme Hubert Reeves. Les progrès de la connaissance ne sont pas du tout des régressions de l'ignorance, mais comportent la création d'une nouvelle ignorance. Cette nouvelle ignorance diffère de l'ancienne parce que nous savons que c'est de l'ignorance. Notre conscience de l'ignorance fait que l'ignorance dont nous sommes conscients n'est pas la même que celle dont nous sommes inconscients.

Avant, nous étions des prétentieux. Aujourd'hui nous savons que le savoir chemine aux frontières de l'indicible, de quelque chose qui échappe sans doute à notre logique. Le plus étonnant dans l'idée de recherche, c'est de frôler les limites de l'indicible. Peut-être qu'à leur façon, les mystiques, Saint-Jean de La Croix, avaient leurs contacts très privilégiés avec l'inconnaissable, avec l'ineffable.

La connaissance scientifique n'est pas du tout mystique dans ses voies, dans ses modes ; elle est très réflexive. C'est le jeu avec l'inconnu de l'univers. On arrive à cette idée si bien exprimée par Shakespeare : « Il y a plus de choses sur la terre et dans le ciel que dans toute notre philosophie ». Heureusement, le monde est tellement riche que nous avons toujours à apprendre et à avancer. Voilà ce qui m'exalte !

Je suis un pessimiste optimiste. Nous avons évoqué les processus désastreux qui se déroulent dans l'univers, selon semble-t-il une mécanique qui échappe à nos volontés. Or, dans l'évolution de l'univers, c'est toujours l'improbable qui est arrivé, l'improbable pour le « spectateur » qui est là avant le nouveau saut évolutif. Ce spectateur, aux premières secondes de l'univers aurait dit : « Quelle catastrophe ! ». Quelques milliards d'années plus tard, il aurait dit : « C'est fantasti-

que, il y a des galaxies... ». De même pour l'histoire de la vie, il n'aurait pas vu les petites cellules qui ont réussi à se former. Avant la naissance de l'oeil, comment imaginer l'oeil ? Ce même spectateur, au temps des dinosaures, n'aurait pu pressentir que les petits mammifères avaient l'avenir devant eux...

Ce qui est créateur, innovateur est imprévisible, improbable et même invivable. Nul n'a les moyens de le concevoir. C'est pourquoi je suis optimiste ; je pense que l'improbable a sa chance. Cette spirale de mort dans laquelle nous sommes, l'improbable c'est qu'elle se brise. Einstein disait, en termes un peu trop statistiques, que 10 % seulement de notre esprit est utilisé ; nous vivons une période très primitive, une sorte de « préhistoire » de l'esprit humain ; toutes ses potentialités ne sont pas encore développées.

Nous sommes des barbares non seulement dans les idéologies de la vie courante, de la vie politique, mais même dans nos théories scientifiques : c'est Chomsky et Piaget incapables dans un débat de saisir le point de vue de l'autre, de répondre à l'argument de l'autre. Nous sommes encore des barbares. Nous sommes à l'âge de fer non seulement de l'humanité mais de la science. Donc nous avons la chance peut-être de nous civiliser. Ce progrès est improbable. Pourtant nous pouvons croire en lui.

*Entretien réalisé par
Monique Mounier-Kuhn
Chargée des relations parlementaires
et publiques au CNRS.*

Les lésions génétiques et leur réparation

Il existe des systèmes enzymatiques qui réparent les lésions génétiques produites par des agents physiques et chimiques de l'environnement. En général, ils restituent intégralement la structure de l'ADN, mais parfois ils introduisent des erreurs dans l'information génétique. Connaître ces différents systèmes permettra de mieux prévenir et peut-être guérir certaines affections.

Ethel MOUSTACCHI

La réplication normale des milliers de gènes qui entrent dans la constitution des êtres vivants s'effectue avec une probabilité d'erreur très faible à chaque génération. Cette probabilité d'erreur augmente avec l'exposition des organismes aux radiations ionisantes (radioactivité naturelle et artificielle, rayons cosmiques) et ultraviolettes (spectre solaire) ainsi qu'à des agents chimiques de l'environnement (rejets industriels, pesticides, additifs alimentaires, ...). Ces agents provoquent, en effet, des lésions du matériel génétique (ADN) contenu dans les chromosomes et dans des organelles telles que les mitochondries et, dans le cas des Végétaux, les chloroplastes. L'accumulation de ces lésions dues à des erreurs « spontanées » de la machinerie répliquative ou provoquées par les agents dits « génotoxiques » a de nombreuses conséquences qui vont de la mort des cellules atteintes à la production d'altérations de l'information génétique. Celles-ci sont transmissibles à la descendance des cellules touchées. Chez les organismes supérieurs, il est admis que l'apparition de cancer constitue l'une des manifestations, au niveau de l'individu, de ces phénomènes

génétiques : une cellule touchée survivante peut échapper au contrôle normal de la division cellulaire et transmettre à sa descendance mitotique le caractère cancéreux. A l'appui de cette idée, il faut noter la corrélation presque parfaite qui a été trouvée pour plus de trois mille substances examinées entre pouvoir mutagène et cancérigène.

Les travaux poursuivis depuis une quinzaine d'années dans de nombreux laboratoires ont montré que toutes les espèces étudiées, des virus à l'Homme, disposent de systèmes enzymatiques qui ont pour fonction de détecter les lésions de l'ADN pour les éliminer. Certains de ces processus dits « fidèles » restituent intégralement la structure de l'ADN non lésé. D'autres processus dits « fautifs » agissent avec imprécision et tout en réparant suffisamment l'ADN pour assurer la survie des cellules touchées, ils introduisent des erreurs dans l'information génétique.

Ces divers systèmes qui mettent en œuvre plusieurs enzymes, dont l'intervention doit être coordonnée dans le temps et dans l'espace, sont eux-mêmes génétiquement contrôlés. Autrement dit, le patrimoine génétique de toute cellule normale (ou « type sauvage ») porte en lui la capacité informationnelle de procéder à sa propre réparation en cas d'endommagement d'origine endogène ou exogène (par agents physiques ou chimiques). Chez la bactérie *Escherichia coli*, on connaît une cinquantaine de gènes qui interviennent à divers niveaux dans la réparation de l'ADN (1), chez la levure *Saccharomyces cerevisiae*, le nombre de ces gènes approche la centaine (2) et chez l'Homme, on connaît une douzaine de maladies héréditaires asso-

ciées à des défauts de la réparation (1). Pour l'une de ces maladies, *Xeroderma pigmentosum* (XP), sept gènes sont en cause.

Au cours de l'évolution, il est probable que la pression de sélection a joué en faveur de mécanismes fidèles. Ceux-ci, en maintenant l'intégrité génétique, assurent la continuité des espèces. Simultanément, la réparation fautive introduit des possibilités de variabilité par la mutagenèse et la recombinaison. Comme cette variabilité peut être favorable à l'adaptation d'individus à des changements du milieu, la réparation fautive a sans doute aussi été préservée par la sélection.

Les lésions de l'ADN

Il est établi que la cible préférentielle des radiations ionisantes et ultraviolettes (UV) de 254 nm (lampes germicides) est la molécule d'ADN. Les agents chimiques génotoxiques* réagissent avec la plupart des constituants cellulaires. Toutefois, il a été montré qu'un grand nombre de produits chimiques interagissent avec l'ADN soit de manière directe, soit par l'intermédiaire de dérivés formés au cours de réactions enzymatiques intracellulaires. Ils produisent des liaisons covalentes ou s'intercalent entre les bases de l'ADN.

Etant donné la variété de ces agents, le catalogue des lésions détectées dans l'ADN est vaste et il est loin d'être achevé. On peut cependant classer ces lésions en plusieurs types (fig. 1) :

• Les ruptures d'un ou deux brins de la chaîne d'ADN. Ces cassures sont par

□ Ethel Moustacchi, maître de recherche au CNRS, est co-responsable du Groupe de recherche « Radiogénétique, biochimie des interactions noyau-mitochondrie » (GR 50). Chef du département de radiobiologie et de biochimie des acides nucléiques à l'Institut Curie-Biologie (Paris, Orsay) elle anime à Orsay un groupe qui étudie le contrôle génétique et les mécanismes moléculaires de la réparation des ADN nucléaires et mitochondriaux chez la levure.

* génotoxique : toxique pour les gènes.

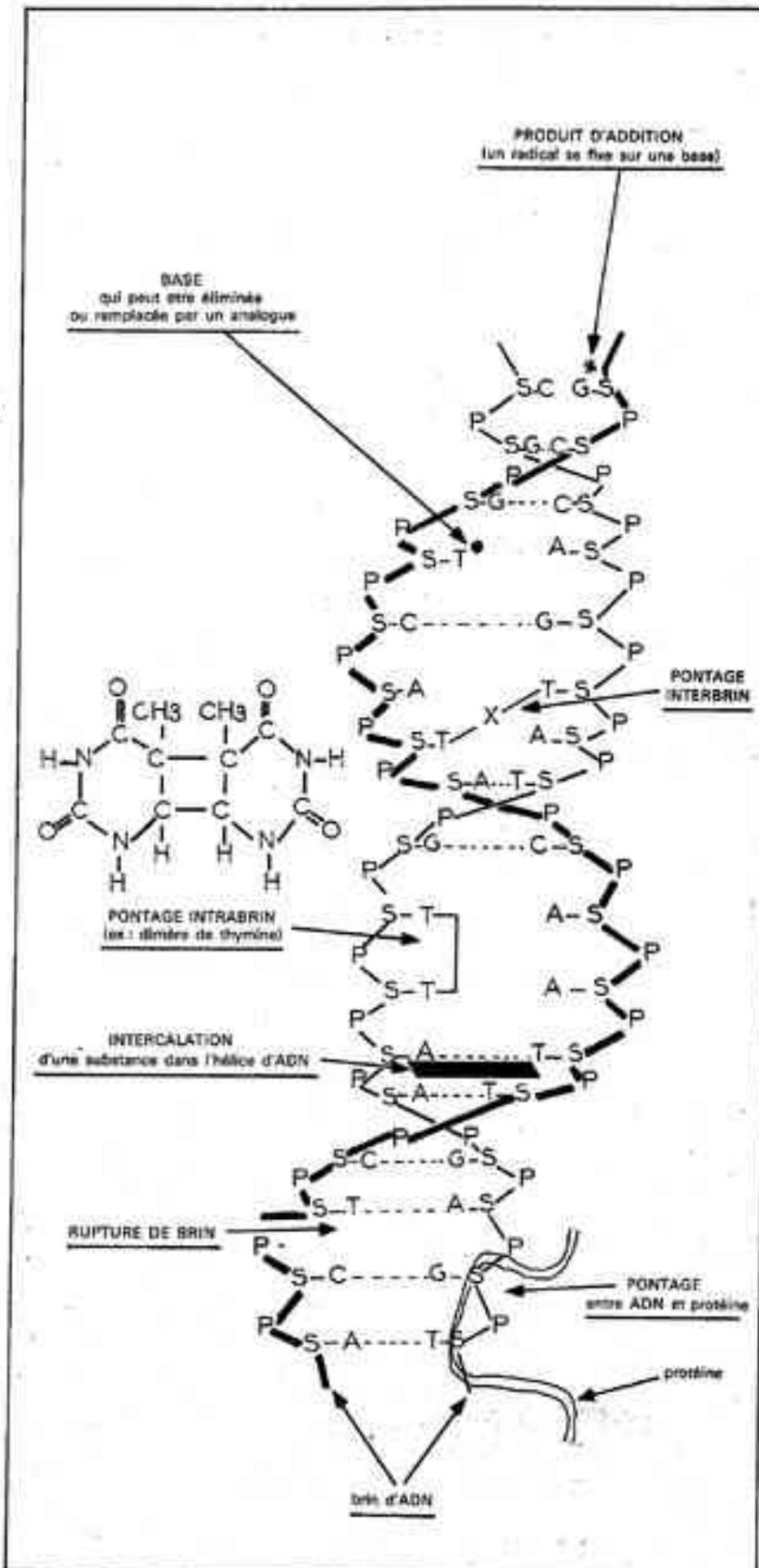


Fig.1 - Représentation schématique des différents types de lésions produits dans l'ADN par les agents génotoxiques physiques ou chimiques. Chacun des deux brins d'ADN est formé d'une succession de séquences de trois molécules : un phosphate (P), un sucre (S) et une base qui peut être, selon sa nature chimique, une base purique (G = guanine, A = adénosine) ou pyrimidique (T = thymine, C = cytosine).

exemple provoquées par les radiations ionisantes (rayons X, γ du Cobalt 60), les neutrons et divers agents antitumoraux (bleomycine, neocarzinostatin,...).

- Les dérivés d'addition sur les bases puriques ou pyrimidiques de l'ADN. La plupart des agents alkylants qui fixent un radical méthyl ou éthyl sur les bases, les hydrocarbures polycycliques cancérigènes ou leurs métabolites agissent de cette manière.

- Le remplacement d'une base par un analogue synthétique ou la perte d'une base. C'est ainsi que le 5-bromouracile peut remplacer une thymine ou qu'une élévation de la température de quelques degrés favorise la dépurination de l'ADN.

- Les pontages interbrin d'ADN entre bases puriques (mitomycine C) ou pyrimidiques (psoralène et ses dérivés plus une irradiation à 365 nm, présents dans certaines crèmes à bronzer et utilisé en thérapie du psoriasis). Il peut se produire également des pontages intrabrin, c'est-à-dire entre deux bases adjacentes d'un même brin d'ADN. Les UV de 254 nm forment ainsi des dimères de pyrimidine, les agents alkylants bifonctionnels tels que certaines moutardes azotées (agents antitumoraux) pontent des purines adjacentes.

- Les pontages entre l'ADN et les protéines qui l'entourent dans les chromosomes. C'est ainsi qu'agissent des dérivés des ellipticines, certains aldéhydes comme le formol...

- L'intercalation entre les plateaux des bases de l'ADN. Les acridines, le bromure d'éthidium, divers produits médicamenteux utilisés dans la lutte contre les trypanosomes par exemple agissent ainsi.

A dose égale d'agent inducteur de lésions, de nombreux paramètres externes et cellulaires déterminent la fréquence des dommages produits sur l'ADN : température, pH, perméabilité cellulaire, les facteurs enzymatiques de détoxification ou au contraire d'activation métabolique, la structure de la chromatine, la composition moyenne en bases de l'ADN, la position des cellules dans leur cycle de division. La connaissance de ces facteurs joue un rôle important dans l'évaluation des risques associés à la géotoxicité d'un agent donné ainsi qu'en chimio- et radio-thérapies anticancéreuses.

Les méthodes de détection et de quantification des lésions sont nombreuses. Le séquençage de gènes clonés permettant de localiser une seule base modifiée ou l'utilisation d'anticorps monoclonaux spécifiques de lésions ouvrent des perspectives nouvelles.

Il est intéressant de noter que la proportion des lésions produites *in vivo* dans l'ADN de certains organites cellulaires, les mitochondries, peut être cinq à cent fois plus élevée que dans l'ADN nucléaire. Ceci est dû à une meilleure accessibilité des mitochondries par rapport au noyau ou à une différence de structure chimique entre les deux types d'ADN (3). Cette attaque préférentielle de l'ADN mitochondrial peut avoir des conséquences fonctionnelles, en particulier dans le processus oncogène.

Les mécanismes de réparation de l'ADN

L'isolement, aux Etats-Unis, vers la fin des années 50 de mutants de la bactérie *E. coli* mille à cent mille fois plus sensibles à l'effet létal des radiations que le type sauvage, a contribué à la mise en évidence des mécanismes de réparation et à l'analyse des étapes moléculaires conduisant à l'élimination des lésions. De tels mutants ont été isolés en Grande-Bretagne (Oxford) et en France (Orsay) dans les années 60 dans des organismes unicellulaires à noyau (eucaryotes), accessibles à l'analyse génétique au cours des processus de division, comme la levure *S.cerevisiae*. De plus, cet organisme possède comme les eucaryotes supérieurs des mitochondries bien différenciées. Des mutants sensibles à l'induction d'anomalies de l'ADN mitochondrial ont été isolés car il s'agit d'un organisme pouvant vivre en l'absence d'oxygène : l'abolition de la respiration associée au fonctionnement des mitochondries est compatible avec la vie des cellules si le milieu contient des sucres fermentescibles. Cette propriété nous a permis l'étude des interactions nucléomitochondriales pour la réparation de l'ADN lésé (4). Depuis lors, on dispose de lignées cellulaires humaines dérivées d'une douzaine de maladies qui entraînent une sensibilité aux agents génotoxiques ou « réparatoses ». L'étude comparative des cellules normales et sensibles a montré que ces dernières avaient perdu la capacité d'éliminer les lésions de leur ADN.

L'une des lésions qui a fait l'objet des études les plus poussées, est constituée par les dimères de pyrimidine formés par l'absorption des UV de 254 nm ; cette lésion sera prise en exemple. Il faut toutefois noter que la sensibilité, présentée par de nombreux mutants, à

la fois aux UV et à divers agents chimiques indique qu'un même système de réparation agit très probablement selon le même mécanisme sur une variété de lésions du moment que celles-ci produisent dans l'ADN des modifications structurales de nature analogue. On connaît à l'heure actuelle quatre grands mécanismes de réparation.

La photoréactivation

C'est le mécanisme le plus anciennement connu, découvert par hasard : des bactéries traitées aux UV, oubliées sur une pailleuse lors d'un week-end ensoleillé, avaient survécu beaucoup mieux que les mêmes bactéries traitées aux UV et incubées à l'obscurité. L'amélioration notable de la survie, due à la lumière visible, résulte, comme il a été montré par la suite, de la dissociation *in situ* des dimères de pyrimidine par une enzyme fixée à cette lésion, la photolyase, activée par la lumière. Présente dans la plupart des organismes

étudiés, il a été suggéré que cette enzyme - ou une photoréaction simple de ce type - a pu jouer un rôle évolutif important d'autant que l'atmosphère primitive devait être moins filtrante en UV toxiques qu'elle ne l'est actuellement.

Très spécifique des dimères de pyrimidine, cette photoréaction constitue un bon moyen pour éliminer expérimentalement les lésions, dues aux UV. On a ainsi montré que la disparition des dimères par photoréactivation s'accompagne d'une diminution de la fréquence d'événements comme la mutagenèse et la transformation maligne.

A l'aide d'un mutant de levure qui ne répond pas à la photoréactivation, nous avons pu montrer que la photoréactivation de lésions nucléaires et mitochondriales était gouvernée par un seul et même gène, ce qui n'est pas toujours le cas pour d'autres processus de réparation ou pour d'autres fonctions métaboliques.

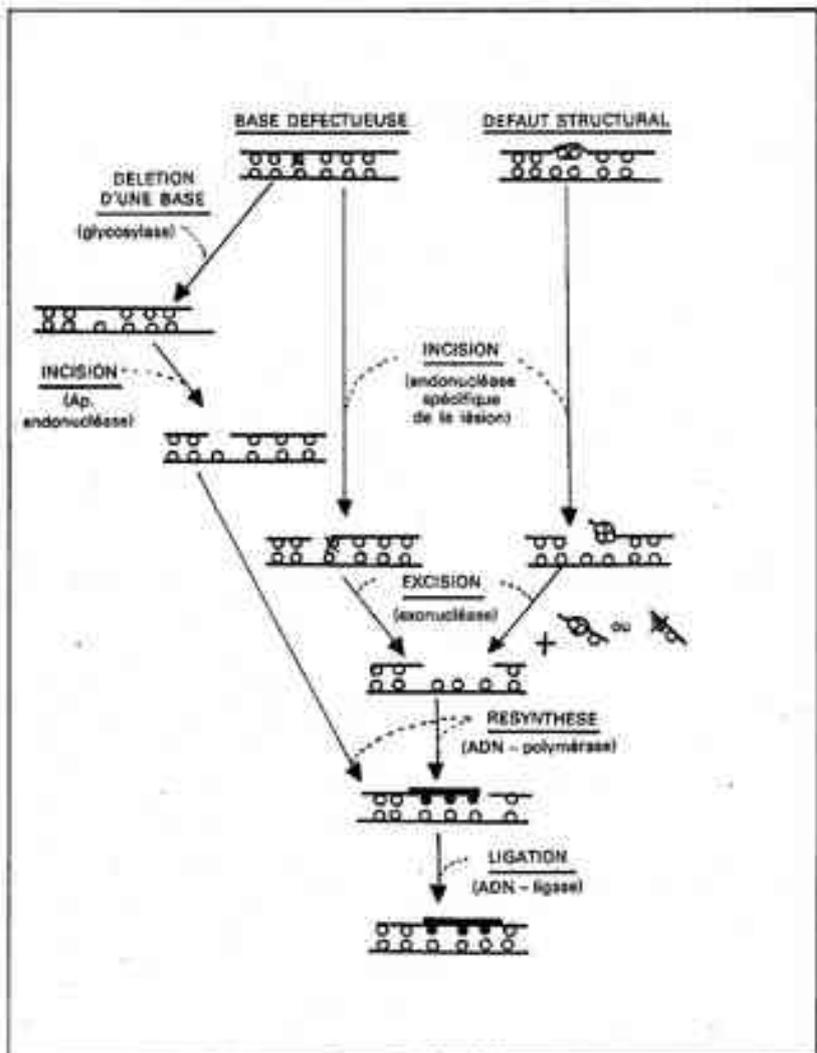


Fig. 2 - Les étapes moléculaires des principales voies de réparation de l'ADN lésé : différentes variantes de l'excision-resynthèse. O : base ; X : base lésée ; — : deux bases pontées.

L'excision-resynthèse

C'est le mécanisme enzymatique majeur de réparation des lésions de l'ADN nucléaire (fig. 2). La première étape consiste dans la reconnaissance de la lésion (un dimère de pyrimidine par exemple) sur l'ADN par une endonucléase, suivie d'une coupure (ou incision) du brin d'ADN portant la lésion. Une variante en deux étapes fait intervenir une glycosylase qui coupe la liaison entre le sucre et une base lésée créant un site apurique ou apyrimidique (Ap). Une Ap-endo-nucléase scinde ensuite la liaison sucre-phosphate.

L'étape d'incision est gouvernée chez *E.coli* par trois gènes (*uvrA*, *B* et *C*) dont les produits agissent de manière coordonnée sous forme d'un complexe protéique. Le clonage récent de ces gènes dans un plasmide a facilité l'analyse fine de ce mécanisme. Chez les eucaryotes, on peut s'attendre à ce que la régulation de cette fonction soit encore plus complexe : chez la levure au moins six gènes sont impliqués dans cette étape, et chez l'Homme, des expé-

riences utilisant des techniques d'hybridation *in vitro* montrent qu'au moins sept gènes sont en cause. Plusieurs laboratoires cherchent actuellement à cloner ces gènes afin d'en étudier le mode d'expression.

L'étape d'incision est suivie de l'élimination du segment d'ADN qui porte le dimère par une enzyme d'excision, l'exonucléase. La taille du morceau excisé est d'une manière générale limitée chez les eucaryotes à quelques nucléotides à la suite de la lésion (10 à 50). La brèche formée par l'excision est alors comblée par une ADN-polymérase, enzyme qui se sert du brin d'ADN opposé et intact comme matrice pour la copie. Enfin, l'ADN ainsi synthétisé hors du programme normal de la réplication, est réuni au brin d'ADN adjacent par une autre enzyme, l'ADN-ligase.

Il a été montré que les composés d'addition formés sur les bases de l'ADN par une variété de cancérogènes chimiques sont éliminés selon le même processus. Les enzymes qui reconnais-

sent les lésions dans la première étape sont cependant différentes et spécifiques : chaque type de base anormale est détecté par une Ap-endo-nucléase qui incise le brin d'ADN, la suite de la réparation s'effectuant avec les mêmes enzymes que celles décrites pour la réparation des dimères de pyrimidine.

Les mutants d'*E.coli*, de levure ou de fibroblastes de malades atteints de *Xeroderma pigmentosum*, qui ne possèdent pas de mécanisme d'excision-resynthèse sont non seulement plus sensibles à l'effet létal de tous ces agents, mais présentent aussi une mutagenèse induite plus élevée que les souches normales (fig. 3). Il apparaît donc que le fonctionnement de ce système de réparation dans les cellules de type sauvage est essentiellement fidèle puisqu'à dose égale d'agent mutagène, on y observe moins de mutants induits que dans les mutants excision-défectifs. Chez l'Homme, un défaut héréditaire dans le processus d'excision tel qu'il est observé chez les patients atteints de *Xeroderma pigmentosum* ou d'*Ataxie*

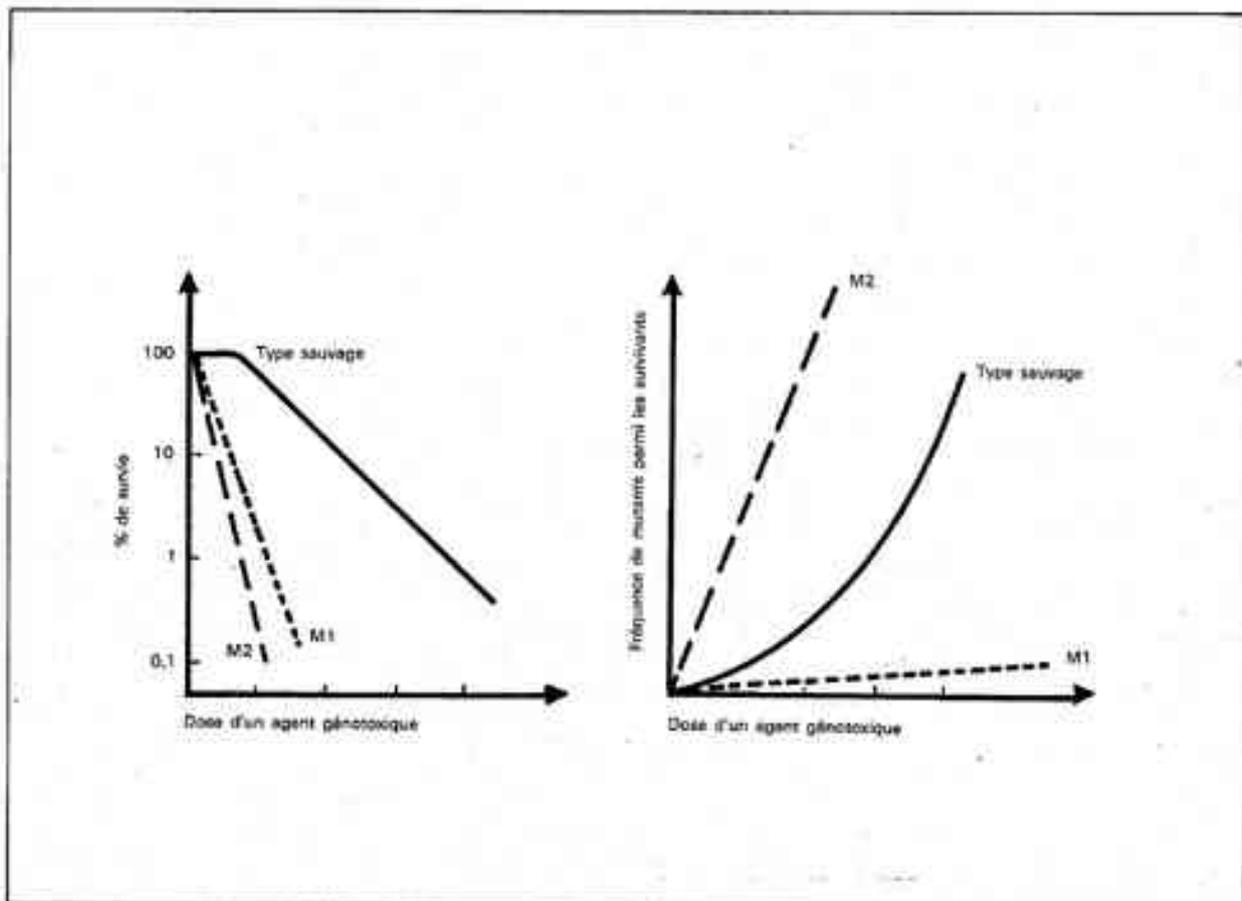


Fig. 4 - Relations typiques entre la dose d'un agent génotoxique et des effets biologiques (létalité et mutagenèse par exemple) après traitement de lignées cellulaires normales (ou sauvages) et de mutants M1 et M2 déficients dans l'une des étapes d'une voie de réparation. Les mutants du type M1, pratiquement non mutables et sensibles à l'effet létal, sont très généralement bloqués dans la réparation post-répllicative et/ou dans la réparation SOS (exemple : mutant *recA* d'*Escherichia coli* ou *rad6* chez la levure). Les mutants du type M2, plus mutables à dose égale que le type sauvage et sensibles à l'effet létal, sont bloqués dans la réparation par excision-resynthèse (exemple : mutant *uvrA* d'*Escherichia coli*, ou *rad3* chez la levure ou *Xeroderma pigmentosum* chez l'Homme).

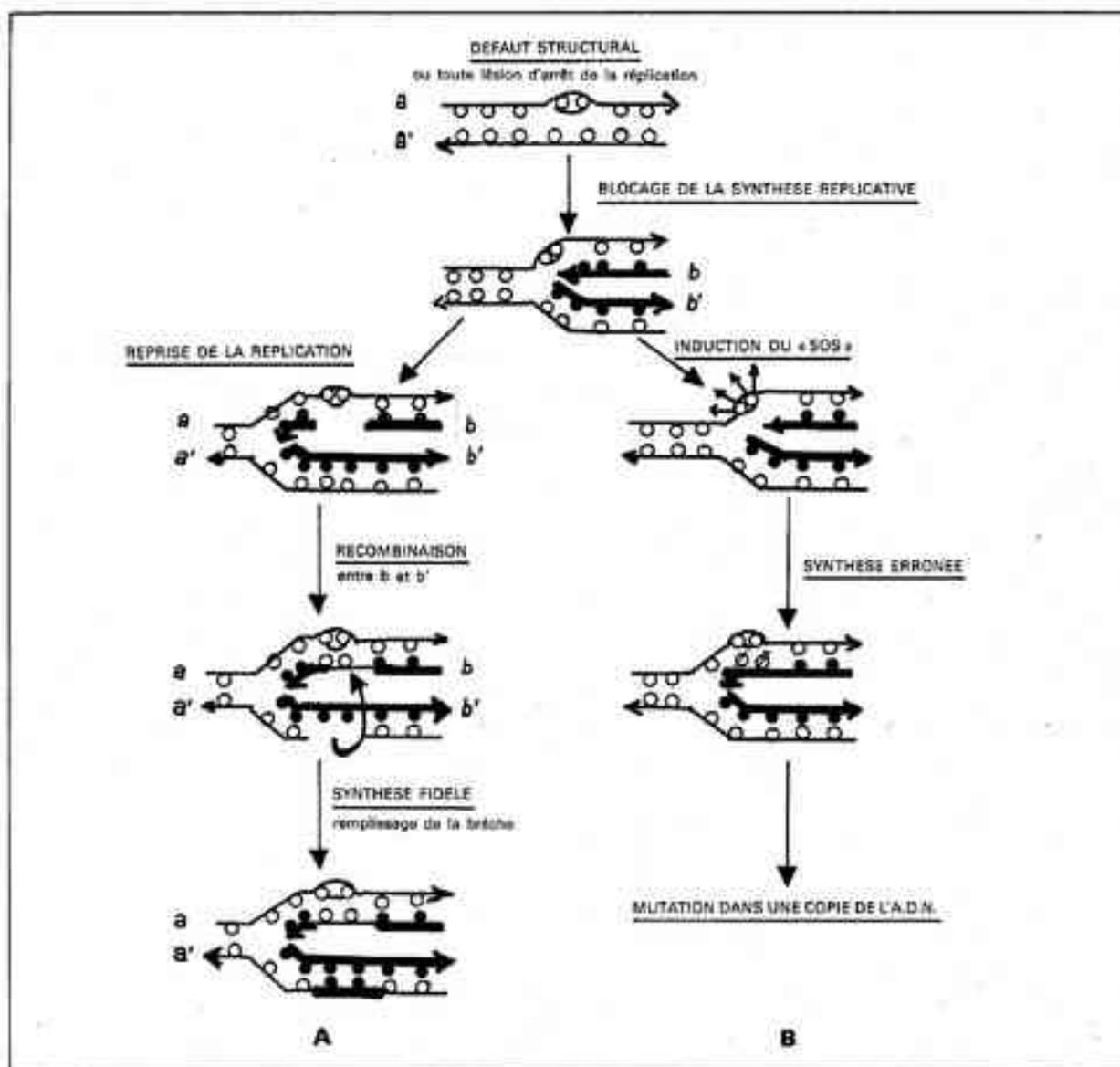


Fig. 3 - A : la réparation par recombinaison post-réplivative.
B : la réparation mutagène « SOS » (qui introduit une mauvaise séquence).

telangectasie s'accompagne d'une fréquence anormalement élevée d'apparition de cancer.

Curieusement dans l'ADN des chloroplastes des Végétaux ou des mitochondries, aussi bien de levure que de cellules humaines, les lésions ne sont pas éliminées par l'excision-resynthèse. Nous avons par exemple montré que les dimères de pyrimidine ou des pontages interbrin de l'ADN mitochondrial persistent dans des conditions où ces lésions disparaissent de l'ADN nucléaire par ce processus (3-4). Comme l'ADN mitochondrial existe en plusieurs copies (jusqu'à 50 copies chez la levure), il est probable que, ou cet ADN n'a pas besoin d'être réparé, un nombre restreint de copies intactes suffirait au repeuplement en organelles contenant de l'ADN normal, ou la re-

combinaison entre fragments intacts de molécules d'ADN reconstituerait quelques copies normales.

La réparation post-réplivative (dite aussi par recombinaison)

Lorsque la réplication a été initiée sur une molécule d'ADN, l'ADN polymérase qui a pour fonction d'effectuer la copie, se trouve bloquée si une lésion est présente (fig. 3A). Cet arrêt de la synthèse d'ADN peut entraîner la mort de la cellule. L'ADN polymérase a ce pendant la possibilité de « sauter » la lésion et de rechercher plus loin, parfois à une distance allant jusqu'à mille bases, un nouveau site d'initiation. En face de la lésion se trouve alors une brèche qui est réparée par un échange entre le brin parental complémentaire intact et le brin fils porteur de la brèche.

La nouvelle discontinuité ainsi créée ne se trouve pas en face d'une lésion et pourra donc être comblée par l'activité d'une ADN polymérase puis de l'ADN ligase. L'une des cellules filles recevra un ADN réparé et l'autre aura un ADN encore porteur de la lésion initiale ; celle-ci pourra être éliminée sur l'ADN en non-division par le processus d'excision-resynthèse. Bien documenté chez les bactéries, et plus récemment établi chez la levure, l'existence de ce processus chez les Vertébrés n'est pas encore prouvée. Notons que chez la levure le blocage de ce processus (mutant du type *rad6*) s'accompagne d'une mutagenèse réduite non seulement au niveau nucléaire mais également mitochondrial, ce qui suggère une étape commune de contrôle génétique (4).

La réparation SOS

Chez les bactéries, le blocage de la réplication par la présence d'une lésion peut donner lieu à un signal qui induit un nouveau système de réparation (fig. 3B). Celui-ci permet la poursuite de la réplication par incorporation, malgré la présence de lésion, de bases nucléiques dans l'ADN-fils. Cette incorporation associée à une diminution de l'exigence de l'ADN polymérase est forcément erronée et tout en assurant la survie cellulaire, elle entraîne une mutation ponctuelle. Cette réparation dite « SOS » (5) est l'une des expressions d'un ensemble de fonctions cellulaires induites quand la réplication est bloquée. Gouvernée chez *E. coli* par deux gènes (*RECA* et *LEXA*), l'induction de la réponse « SOS » est accompagnée de l'augmentation massive d'une protéine, la protéine RecA, dont la synthèse est régulée par le gène *LEXA*. Cette protéine a pour propriété d'inactiver en les détruisant une variété de répresseurs incluant la protéine *LexA* et d'autres répresseurs qui contrôlent de manière coordonnée les fonctions SOS (division cellulaire, induction de mutagenèse et de recombinaison, induction du prophage dans les bactéries lysogènes, etc.). L'augmentation en protéine RecA entraîne donc la dépression de sa propre synthèse, et celle d'une variété de protéines. Notons qu'en présence d'ATP, la protéine RecA augmente le taux de renaturation de l'ADN, fonction attendue d'une protéine impliquée dans la recombinaison. Les intermédiaires de recombinaison formés *in vitro* en présence de cette protéine purifiée, ont été récemment visualisés au microscope électronique.

En résumé, les cellules d'*E. coli* ont deux manières de traiter une lésion non excisée, l'une est la réparation par recombinaison, l'autre est la tolérance des lésions par une synthèse « trans-lésion ». La contribution relative de chacun de ces deux mécanismes dans la restauration de la survie et la mutagenèse n'est pas encore claire.

La réparation de type SOS a été souvent évoquée ces dernières années pour expliquer les événements mutationnels à l'origine de la transformation maligne. Cependant, à l'exception de systèmes virus animaux - cellule de mammifère hôte, qui montrent des analogies avec les réponses SOS enregistrées dans le système bactériophage-bactéries, l'existence de processus de réparation inductibles dans les cellules de mammifères n'est pas encore définitivement prouvée.

Il est vraisemblable que l'étude de l'expression de gènes eucaryotes clonés impliqués dans la réparation mutagène ainsi que la recherche directe de nouvelles protéines éventuellement induites par les traitements génotoxiques apporteront bientôt une réponse à cette question.

Les conséquences pratiques de la connaissance des phénomènes de réparation

Elles sont à la fois d'ordre préventif et thérapeutique. Comme on l'a vu, les agents génotoxiques physiques et chimiques font partie du biotope. L'estimation des risques d'exposition chronique ou accidentelle est donc importante et le développement de tests de génotoxicité rapides, sensibles et peu coûteux à l'aide de mutants déficients dans la réparation de l'ADN, des bactéries ou de levure, répond à ce souci. L'extrapolation à l'Homme des résultats obtenus sur ces microorganismes pose des problèmes en partie résolus par l'utilisation complémentaire de culture de cellules humaines *in vitro*, d'examen de lymphocytes humains provenant de populations de travailleurs exposés, d'études épidémiologiques, ... Une prise de conscience récente et un effort international considérable sont à enregistrer et permettent d'espérer que les réglementations suivront, à l'exemple de celle appliquée depuis plusieurs années pour les radiations ionisantes.

De même, le diagnostic et le traitement des « réparatoses » (1), maladies heureusement relativement rares mais d'une extrême gravité, ont tout à gagner d'une connaissance approfondie de ces mécanismes. La détection d'individus hétérozygotes pour les gènes de réparation serait en particulier très utile pour les conseils génétiques aux familles.

Enfin, la chimio- et la radio-thérapie antitumorales qui ont pour but d'éliminer sélectivement les cellules cancéreuses, utilisent souvent des agents qui sont mutagènes et cancérogènes à long terme. Certaines récurrences sont imputées à la thérapie. La synthèse et le choix de nouveaux agents antitumoraux devraient être guidés par une meilleure appréciation à la fois de leur mode d'action sur l'ADN nucléaire et mitochondrial et des processus de réparation fidèles ou fautifs qu'ils sont susceptibles de déclencher.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) P.C. Hanawalt, P.K. Cooper, A.K. Ganessan and C.A. Smith - « DNA repair in bacteria and mammalian cells ». *Ann. Rev. Biochem.*, 48, 783-836 (1979).
- (2) R.H. Haynes and R.A. Kurz - « DNA repair and mutagenesis in yeast ». In « The Molecular Biology of the Yeast Saccharomyces, Life Cycle and Inheritance ». Cold Spring Harbor Monograph series ISSN 0270-1847 ; 11A, New York, 371-414 (1981).
- (3) N. Magana Schwamke, J.A.P. Henriques, R. Chenet and E. Mustacchi - « The fate of 8-Methoxypsoralen photoinduced cross-links in nuclear and mitochondrial yeast DNA : Comparison of wild type and repair deficient strain ». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 79, 1722-1726 (1982).
- (4) E. Mustacchi and M. Heude - « Mutagenesis and repair in yeast mitochondrial DNA ». In *Molecular and Cellular Mechanisms of Mutagenesis*, ed. J.F. Lemont and W.M. Gerson, Plenum Press, New York, 273-301 (1982).
- (5) M. Redman - « Phenomenology of an inducible mutagenic DNA repair pathway in *Escherichia coli* : SOS repair hypothesis ». In *Molecular and Environmental Aspects of Mutagenesis*, ed. L. Prakash, F. Sherman, M. Miller, C. Lawrence and H.W. Tabor, C.C. Thomas Publisher, Springfield, Ill., 128-142 (1974).

Les moteurs à combustion interne

Si les principes de base des moteurs à combustion sont maintenant bien connus, la recherche de meilleures performances économiques ou techniques demande encore des études très spécifiques pour les exploiter de façon optimale. Le laboratoire Henri Beghin fait le point sur ces études.

Rotislav VICHNIEVSKY

Il peut paraître surprenant qu'une équipe de recherche universitaire, associée au CNRS, poursuive des études sur le fonctionnement des moteurs à combustion interne dont on sait la grande diffusion dans la vie quotidienne : l'automobile, la traction ferroviaire, la propulsion navale ont engendré des productions de grande série de ces dispositifs.

En fait, si les principes de base comme les cycles thermodynamiques utilisés, les organisations générales sont bien connus, il apparaît que la recherche des meilleures performances économiques ou techniques appelle à des études très spécifiques pour rendre possible l'exploitation optimale d'un système complet. C'est ainsi que le moteur rotatif, dont l'idée était très originale, n'a pas eu de développement industriel faute d'une fiabilité suffisante. En revanche, le moteur à air de Stirling dont l'idée remonte à un siècle, semble devenir intéressant maintenant que l'on sait lui faire atteindre des rendements supérieurs à celui des moteurs Diesel (40 %).

Dans cet article, prenant surtout comme exemples des travaux menés au sein de notre laboratoire, nous allons examiner quelques thèmes ponctuels dont on peut penser qu'ils puissent être à l'origine d'améliorations sensibles des machines existantes ou ayant existé. Mais auparavant, présentons sommairement les moteurs thermiques, en les comparant entre eux.

□ Rotislav Vichnievsky, professeur à l'université de Paris VI, est directeur du Groupe de thermodynamique appliquée (laboratoire Henri Beghin) de Saint-Cyr-l'École (ERA 369).

Moteurs à allumage commandé *Moteurs à allumage par compression*

Les moteurs à combustion interne se divisent en deux catégories essentielles : les moteurs à allumage commandé - dont le type classique est le moteur à essence - comportent un dispositif (bougie) qui crée l'explosion du mélange détonant. Les moteurs à allumage par compression (moteurs Diesel) présentent la particularité d'avoir, en régime normal, l'explosion obtenue par la simple compression adiabatique du mélange carburant-comburant.

L'avantage des moteurs à allumage commandé sont les vitesses de rotation jusqu'à 12 000 tr/mn et une grande puissance volumique obtenue grâce aux mélanges homogènes utilisant pratiquement tout l'oxygène de l'air aspiré. Par contre, la régulation de puissance qui se fait en agissant sur l'admission des gaz entraîne des consommations spécifiques aux faibles charges de 1,5 à 2 fois plus importantes que celles des moteurs à allumage par compression. Un remède possible est la stratification du mélange avec un enrichissement local dans le cylindre. Mais de telles réalisations qui ont vu le jour d'abord en France, puis au Japon, ne semblent pas avoir eu de lendemain.

La préparation du mélange homogène en dehors du cylindre ou dans le cylindre même, grâce à l'injection directe pendant l'aspiration ou au début de la compression, favorise la détonation. Mais le préallumage qui limite le rapport volumique de compression dans le cas des carburants convention-

nels diminue le rendement du moteur. Les alcools évitent cet inconvénient, alors que le méthanol peut conduire au préallumage.

Les avantages essentiels du moteur à allumage par compression sont un rendement plus important grâce aux rapports volumiques de compression élevés et à l'excès d'air notable par rapport au mélange stœchiométrique - et la faible probabilité de la détonation précoce en raison de l'introduction du combustible en fin de la course de compression. Par contre, les moteurs à allumage par compression sont caractérisés par leur faible puissance massique. Leurs pressions moyennes effectives sont peu élevées, dans le cas de l'aspiration à la pression atmosphérique (7 kg/cm² moteur Diesel et 12 kg/cm² moteur à allumage commandé). Enfin, leur vitesse de rotation dépasse rarement 5 000 tr/mn, contre 12 000 tr/mn pour les moteurs à allumage commandé. Ce fait résulte du retard de la fin de la combustion par rapport au moment où la pression passe par son maximum.

Etudes sur les chambres de combustion.

Il est évident que le rendement d'une machine thermique repose essentiellement sur une bonne connaissance des phénomènes très complexes qui se passent au cœur du moteur : vitesses de propagation des flammes laminaires et turbulentes ; formation du mélange du combustible dans l'ensemble du volume, y compris près des parois chaudes. Nous allons examiner sommairement quelques points concrets en considérant d'abord

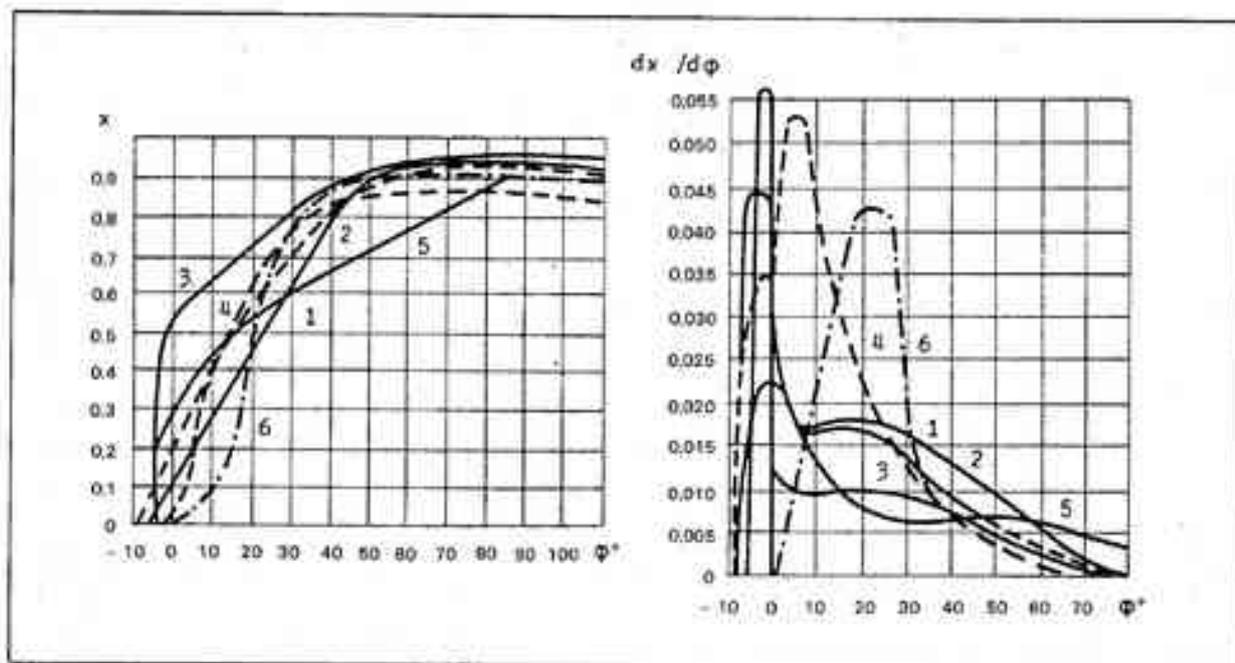


Fig. 1 - Courbes de dégagement de chaleur et de sa vitesse. - 1) quatre temps 720 tr/mn, 2) deux temps 720 tr/mn, 3) moteur expérimental, 4) moteur junkers deux temps 1 700 tr/mn, 5) moteur expérimental, 6) moteur suralimenté. (x : fraction brûlée ; φ° : angle de rotation du vilebrequin du moteur ; $dx/d\varphi$: taux de dégagement de chaleur).

les aspects géométriques (forme) puis thermiques (température des parois et des gaz).

La forme de la chambre de combustion et le réglage de l'avance à l'allumage conditionnent le rendement du moteur à allumage commandé. Pour un moteur à allumage par compression, il y a outre la forme de la chambre et l'avance à l'injection, le mode d'injection. La chambre de combustion est le point primordial dans l'élaboration du projet du moteur pour une application déterminée. Dans les moteurs à allumage commandé, la détonation et la tendance à la formation des dépôts conditionnent la forme de la chambre dont la propriété principale est la réduction des parcours de la flamme, à partir de la bougie d'allumage.

Les types de chambres de combustion des moteurs à allumage par compression se sont considérablement normalisés depuis quelques années, car on maîtrise mieux les phénomènes de combustion. Il y en a en fait de trois types : à une seule enceinte (chambre ouverte) ; à deux enceintes dont l'une se trouve dans le piston (chambre semi-ouverte) ; à deux enceintes dont l'une se trouve dans la culasse (chambre à turbulence). Il est très difficile d'aborder l'aérodynamique interne de ces types de chambres, car divers mouvements du fluide dans un volume variable se superposent. De nombreuses études ont été entreprises pour évaluer les vitesses et les directions des écoulements en différents points de la cham-

bre en utilisant des anémomètres à fil chaud (en l'absence de flammes) ou l'anémomètre laser. Evidemment, la combustion d'un moteur de série sera un peu différente, en raison des fenêtres nécessaires à l'expérimentation et qui perturbent les équilibres thermiques.

Depuis Neuman (1936), de très nombreuses études se sont intéressées à l'échauffement du fluide moteur (fig. 1). Il fait faire la différence entre la chaleur acquise par le fluide moteur et la chaleur dégagée par la combustion qui en diffère par le rendement de la combustion et par la chaleur cédée aux parois. On note toutefois que la dynamique d'acquisition de chaleur n'a pas d'influence sensible sur le rendement du cycle dans les limites imposées aux réglages de l'avance à l'injection $\pm 2,5$ degrés de rotation du moteur. Cependant, elle peut avoir une certaine influence sur le rendement mécanique. La loi d'acquisition de chaleur proposée par V.V. Vibe ou déduite de l'analyse harmonique des diagrammes de pression permet de modéliser la phase de combustion dans des conditions variées de fonctionnement.

Les transferts instantanés de chaleur aux parois par convection et par rayonnement dans une enceinte de volume variable sont assez mal connus et cependant l'emploi de céramique pour réduire les pertes de chaleur incite à faire un effort dans ce sens. L'utilisation de l'une des formules des coefficients d'échange de chaleur proposées depuis 1923 (Nusselt) tout en donnant

des résultats assez acceptables pour l'ensemble du cycle, conduit dans les phases de combustion et de détente à des incohérences.

Variation en marche du rapport volumique de compression

Pour un cycle thermodynamique donné, il est relativement aisé d'obtenir des performances élevées pour une vitesse de rotation et à une charge donnée. Mais l'extension de ces performances à tout le domaine d'exploitation du moteur présente quelques difficultés. Cependant, on peut agir par des moyens mécaniques. La limitation du rapport volumique de compression des moteurs à allumage commandé pour éviter la détonation n'implique pas le maintien du même rapport lors du fonctionnement à des charges différentes.

Il a été proposé de faire varier de façon continue le rapport volumique de compression en marche (P. Dumanois). Dans le cas d'un moteur en ligne, ceci est très difficile et l'idée est abandonnée. Par contre, la disposition des cylindres en barillet permet de résoudre cette difficulté par le déplacement de l'ensemble des attelages du piston par rapport au bâti du moteur (fig. 2). Un premier prototype tournant à 2 500 tr/mn a donné satisfaction en diminuant la consommation aux charges partielles.

Cycles complexes et suralimentation

L'augmentation du rendement du cycle thermodynamique peut être obtenue par la prolongation de la détente. Ceci peut se faire dans le cylindre même grâce à un mécanisme convenable en réalisant une course de détente par exemple double de la course de compression. Depuis Atkinson, de nombreuses tentatives ont été faites dans la conception de la cinématique du moteur à détente prolongée, mais aucune de ces solutions n'est arrivée au stade industriel.

Le prolongement de la détente des gaz se fait d'une manière plus simple grâce à l'alimentation d'une turbine par les gaz d'échappement. En principe, en liant mécaniquement l'arbre de la turbine à l'arbre du moteur par une série d'engrenages, on pourrait obtenir un travail du cycle supérieur à celui du moteur non pourvu de la turbine. Malheureusement, le faible rendement mécanique des engrenages exclut une telle solution. La liaison entre le moteur et la turbine doit se faire par un couplage aérodynamique, l'arbre de la turbine entraînant un compresseur qui alimente le moteur à des pressions supé-

rieures à la pression atmosphérique. Ainsi, on réalise la suralimentation des moteurs. La puissance est prélevée sur l'arbre du moteur, ce dernier assurant en même temps le rôle de chambre de combustion du cycle turbine à gaz du système turbo-compresseur.

Les performances des turbines d'aviation et des turbines à gaz industrielles ont incité à croire que les transports terrestres et maritimes pouvaient en bénéficier. De nombreux prototypes ont été expérimentés tant en France qu'à l'étranger fonctionnant suivant des cycles à régénération, c'est-à-dire en utilisant la chaleur des gaz sortant de la turbine pour réchauffer, à l'entrée de la chambre de combustion, l'air fourni par le compresseur. Malgré l'emploi de régénérateurs de haut rendement, les consommations spécifiques n'ont jamais pu descendre au niveau des consommations des moteurs Diesel routiers.

Les turbines de puissance supérieure à 1 000 CV pouvaient peut-être concurrencer les moteurs à allumage par compression. La chambre de combustion conventionnelle, dans ce type d'installation, était remplacée par une chambre de combustion à volume variable, en fait, par une machine dérivée

du moteur Diesel deux temps dépourvu du système bielle manivelle. La puissance utile était prise sur l'arbre de la turbine à gaz alimentée par ce générateur à piston libre. Cette technique a eu une période de succès, avec production en série de tels générateurs (SIGMA) — pour la propulsion marine et surtout pour les centrales thermiques. Malgré ses bonnes performances, un prototype de 2 000 CV (SNMAREP) n'a pas été développé. En effet, les moteurs conventionnels à allumage par compression ont progressé plus rapidement. Malgré l'abandon de la production en série des générateurs à piston libre, des études ont été poursuivies en France pour des unités de puissance notablement plus élevées, comportant plus de deux pistons libres. Les connaissances acquises sur ces machines n'étaient pas perdues pour les moteurs à allumage par compression.

Par ailleurs, les études poussées sur les machines tournantes de dimensions importantes, turbines et compresseurs, pouvaient être transférées à des unités plus petites, telles que les turbo-compresseurs de suralimentation. A l'heure actuelle, les pressions moyennes effectives du moteur à quatre temps suralimenté dépassent largement 20 bars contre 7-8 bars pour les moteurs

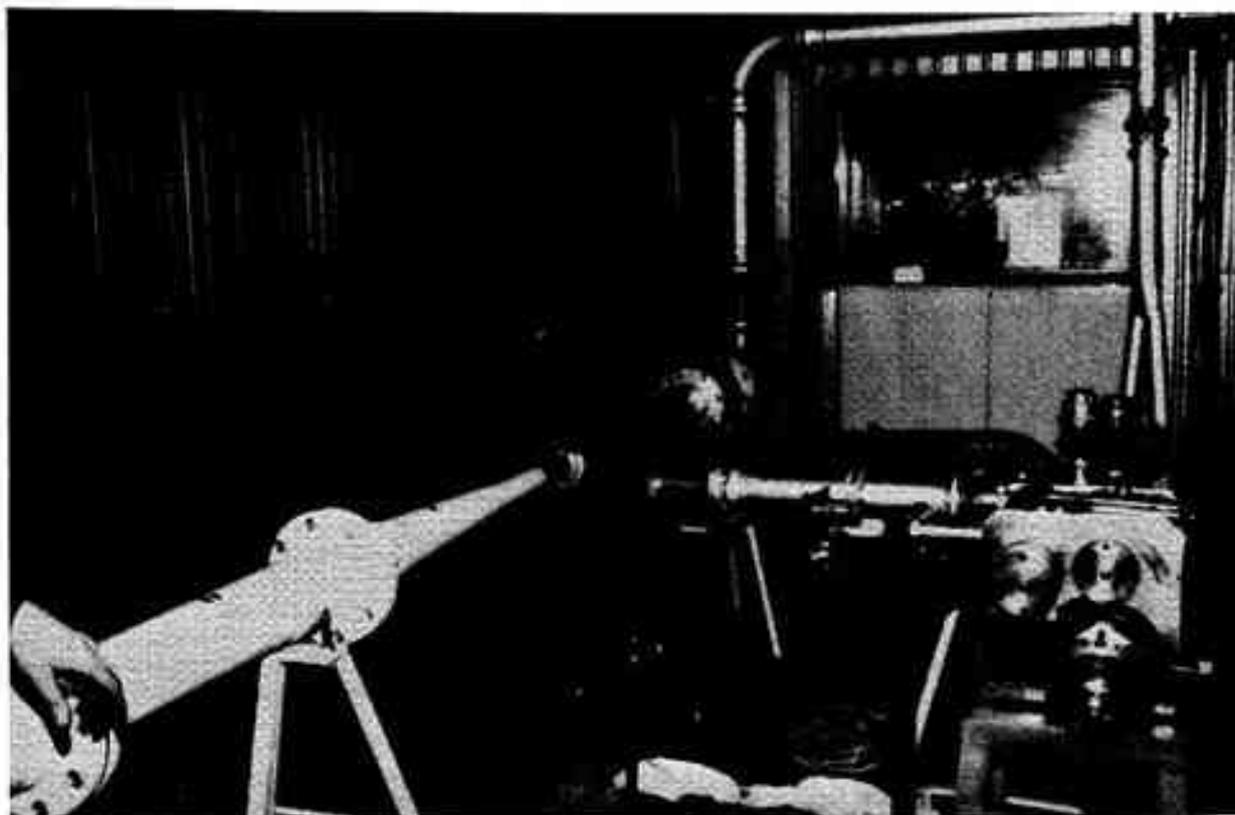


Fig. 4 - Banc d'essai de turbo-compresseur.

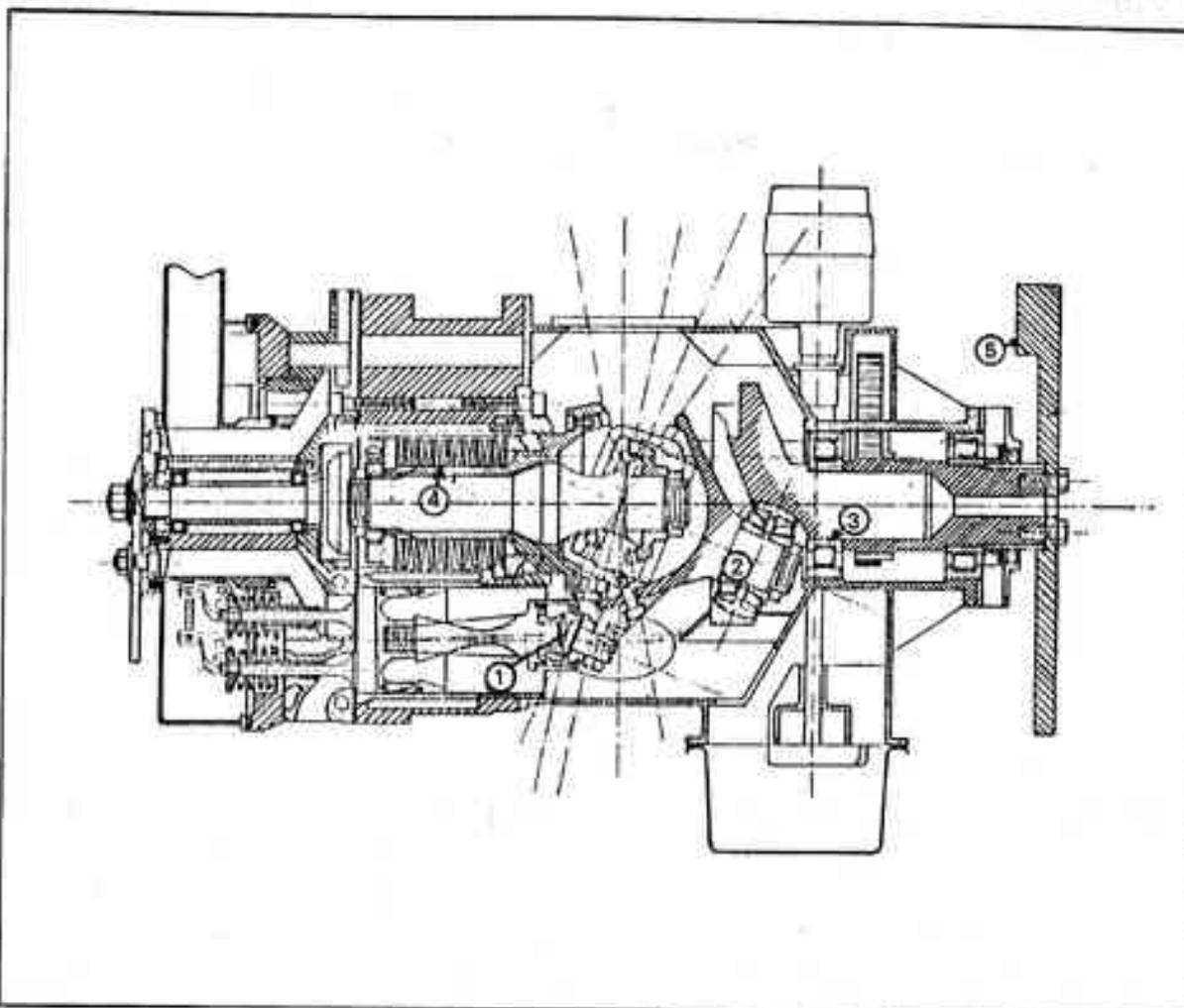


Fig. 2 - Moteur à barillet (Brille). 1 - Linison bielle ; 2 - Manivelle ; 3 - Arbre ; 4 - Ressort de variation du rapport de compression ; 5 - Equilibrage de la manivelle.

non suralimentés de même alésage. Une idée originale brevetée par la Défense nationale concerne l'introduction d'une chambre de post-combustion à l'entrée de la turbine alimentée par les gaz d'échappement du moteur dont la teneur en oxygène est suffisante pour le fonctionnement de la chambre de post-combustion. En outre, ce système désigné sous le nom d'Hyperbar assure l'alimentation du moteur en parallèle contrairement au montage en série des moteurs suralimentés conventionnels (fig. 3). La mise au point menée en parallèle à l'établissement de Satory et dans notre laboratoire a abouti à la production en série de moteurs tournant à une vitesse de 2 500 tr/mn, avec une pression moyenne effective de plus de 33 bars. Ainsi, on obtient des moteurs légers et peu encombrants, particulièrement adaptés à certaines applications dans la traction ferroviaire et dans la propulsion marine.

Transfert des gaz au niveau des organes de distribution

Disposant de l'air sous pression à l'entrée du moteur, il est nécessaire de l'utiliser d'une manière efficace, tant pour l'évacuation des gaz brûlés que pour le remplissage du cylindre, assurant ainsi le maximum de puissance. Des tentatives d'évaluation de l'efficacité du balayage du flux d'air, par des procédés chimiques et par des mesures des pressions, ont permis d'avoir des informations sur la caractéristique de cette phase qui est particulièrement importante dans le moteur à deux temps pour lequel on a fait appel à l'analogie hydraulique. On aborde ainsi l'aérodynamique interne et externe du moteur. Cette dernière correspond à des écoulements du fluide en régime établi pulsatoire tant dans les conduits d'aspiration

que d'échappement. Le traitement mathématique de ces problèmes, malgré les ordinateurs, reste encore, en général, sous sa forme unidimensionnelle. L'effet pulsatoire des écoulements ne se limite pas au moteur dans le cas de la suralimentation, car il se répercute sur le fonctionnement du turbo-compresseur et ses fonctions.

Il est donc nécessaire de connaître les caractéristiques exactes tant du compresseur que de la turbine. Leur détermination est délicate et d'autant plus que, lorsque les dimensions du turbo-compresseur sont petites et que sa vitesse de rotation est grande, les couches limites et les effets des surfaces chaudes prennent de l'importance. On a été conduit à concevoir un banc d'essai répondant à ces exigences et susceptible de faire fonctionner le turbo-compresseur en régime pulsatoire. La forme de pulsation est parfaitement déterminée, contrairement à ce

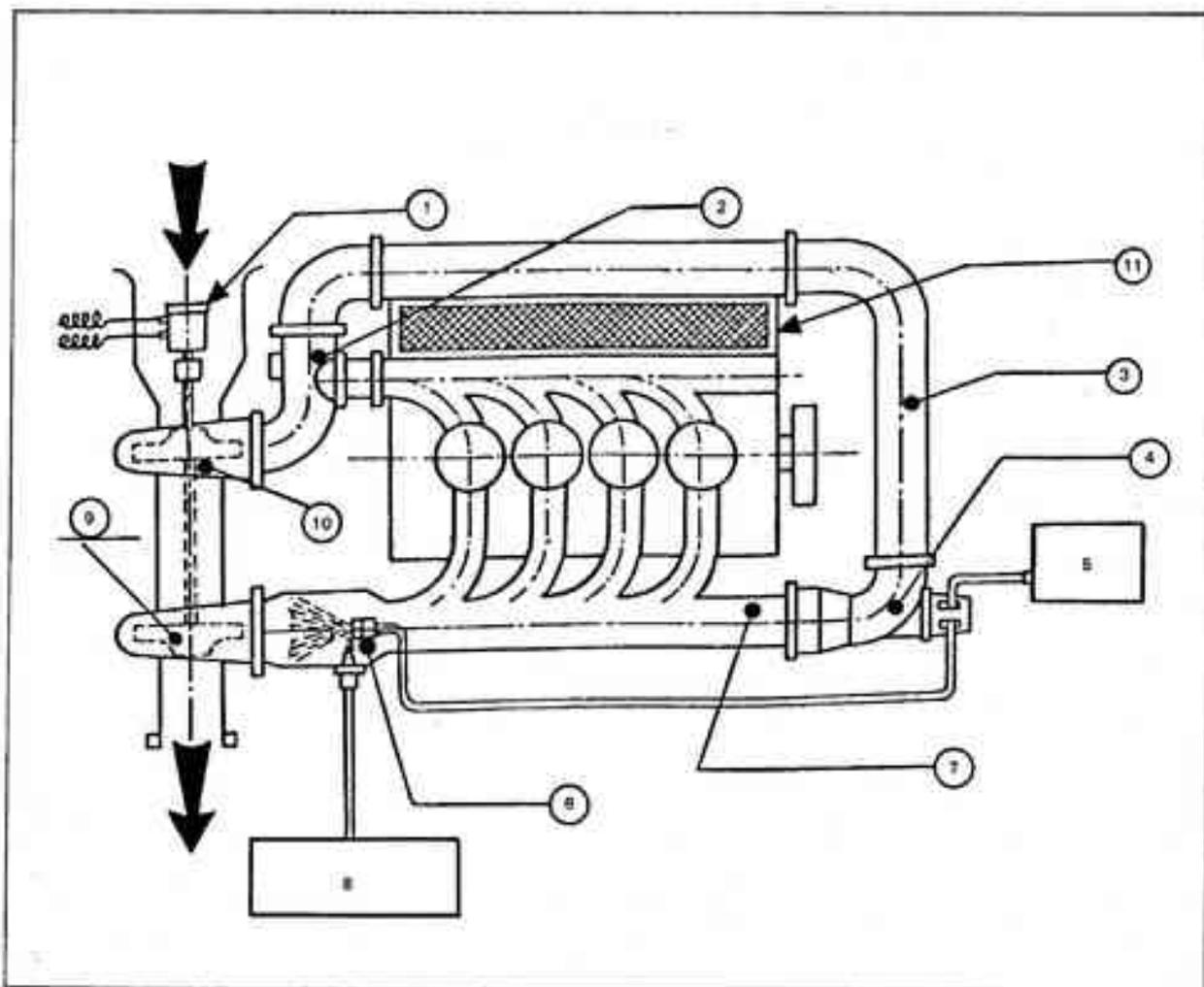


Fig. 3 - Procédé HYPERBAR. - 1) Démarreur du turbo-compresseur ; 2 - Préchauffage ; 3 - By-pass ; 4 - Régulateur ; 5 - Pompe à combustible ; 6 - Chambre de combustion ; 7 - Collecteur d'échappement ; 8 - Allumage ; 9 - Turbine ; 10 - Compresseur ; 11 - Réfrigérant d'air.

qui se passe avec les bouffées de gaz sortant des cylindres du moteur (fig. 4). Procédant aux essais en parallèle du même turbo-compresseur sur le moteur, il est en principe possible de prévoir l'effet de la canalisation de jonction du turbo-compresseur avec les différents cylindres du moteur.

Régimes transitoires

Les régimes transitoires sont caractérisés par la variation de charge et de vitesse du moteur. Le problème se pose pour les groupes électrogènes qui peuvent être soumis aux variations de charges, alors que la vitesse de rotation doit demeurer aussi fixe que possible, car elle détermine la fréquence de l'alternateur. La situation est plus complexe pour les moteurs destinés à la traction où peuvent avoir lieu des variations brusques de charge et également de vitesse. Les

régimes transitoires des moteurs suralimentés font intervenir des inerties thermiques, mécaniques (y compris des inerties du système de régulation d'introduction du combustible ou du mélange dans le cylindre), de même que les inerties du fluide moteur. L'importance de ces dernières est toute relative par rapport à celles qui interviennent dans les moteurs suralimentés. L'inertie mécanique des roues de turbine et de compresseur sans aucune liaison mécanique avec l'arbre du moteur réagit sur la caractéristique d'évolution des fluides alimentant le compresseur et la turbine.

L'analyse du phénomène doit se pratiquer d'abord au banc dont le fonctionnement est programmé de manière à modéliser les conditions d'utilisation du moteur en exploitation. Le fonctionnement cyclique comporte des accélérations brusques, des paliers à régime constant de vitesse ou de charge, de dé-

célération. — Le nombre important de paramètres intervenant au cours de l'essai exige une acquisition automatique des données et leur traitement. De tels bancs d'essais constituent des compléments indispensables aux recherches effectuées sur le banc d'essai de compresseurs - et cela dans le domaine des faibles puissances, des moteurs routiers ou des moteurs de puissances moyennes prévus pour la traction.

Combustibles

Le rôle du combustible reste primordial dans la réalisation des hautes performances du moteur et en principe ses caractéristiques évoluent en tenant compte des progrès dans la construction des moteurs. Un laboratoire de moteurs ne peut pas exclure de son activité certai-

nes de ces recherches parfois en mettant à disposition des moyens qui permettent de confronter les résultats obtenus *in vitro*, par exemple dans le cas des additifs antidétonants.

L'utilisation dans les moteurs à allumage par compression des combustibles à large fraction de distillation, en raison de l'extension de ce type de moteur dans la traction automobile, risque de faire renaître les recherches effectuées jadis sur les moteurs polycarburants à finalité militaire. Enfin, les émulsions de combustibles lourds ou des huiles végétales avec les alcools et les émulsions fuel eau ont montré l'effet favorable de ces derniers sur les performances du moteur et sur la diminution des émissions nocives, y compris celles de fumée. Ces études méritent d'être reprises en s'intéressant aux échanges thermiques et à la cinétique de la combustion.

Chauffage thermodynamique

La conjoncture économique actuelle d'économie d'énergie dans tous les domaines, y compris celui du chauffage, a remis à l'honneur la pompe à chaleur. Il est évident que l'entraînement d'une pompe à chaleur par un moteur électrique constitue déjà une économie notable d'énergie par rapport au chauffage électrique direct par l'effet Joule. Dans le cas des centrales thermiques alimentées en combustible pétrolier, la production du courant pour l'entraînement d'une pompe à chaleur constitue un

gaspillage de l'énergie primaire. L'installation expérimentale à énergie totale réalisée au Laboratoire de mécanique physique consiste en une pompe à chaleur entraînée par un moteur à allumage par compression dont la chaleur des gaz d'échappement et celle de l'eau de refroidissement du moteur apportent un complément d'énergie thermique à celle produite par la pompe à chaleur. L'expérience a confirmé les prévisions théoriques de la multiplication par deux de la chaleur utilisable à partir de la même quantité de combustible brûlé dans une chaudière conventionnelle. Il faut passer maintenant aux études énergético-économiques qui font ressortir, compte tenu des prix d'investissement, d'exploitation et d'amortissement, ce que nous avons fait avec beaucoup d'intérêt, en nous référant aux rendements des moteurs à allumage par compression actuels. La réalisation récente de moteur consommant 122 g/ch.h, c'est-à-dire ayant un rendement supérieur à 50 %, pourrait éventuellement présager un nouveau domaine d'utilisation de la machine thermique.

Dans cet exposé sur les recherches dans le domaine des moteurs à combustion interne, tout en se référant à nos travaux, on a cherché à mettre en évidence les rapports entre la recherche fondamentale et l'application, en particulier dans les phénomènes de combustion, dans les phénomènes de transfert de chaleur, dans l'aérodyna-

mique interne et externe en régimes établis permanents ou pulsatoires - ou en régimes transitoires. L'apport de l'informatique est considérable dans ce type de recherche. Par ailleurs, on a tenté de montrer la richesse que constitue le transfert de modèles physiques en modèles mathématiques.

Il reste encore un vaste champ d'investigations à exploiter tant par les chercheurs de l'université, les chercheurs de centres techniques, que par les ingénieurs constructeurs, dans une franche coopération.

Le groupe de thermodynamique appliquée tient à la disposition des lecteurs intéressés, la liste de ses publications et de ses rapports où ils trouveront la mise au point bibliographique de chacune des questions, à la date de la rédaction du texte correspondant (Université de Paris VI, Laboratoire de mécanique physique, 2 place de la Gare de Clamart - 75210 Saint-Cyr l'École).

Les premiers résultats scientifiques obtenus au télescope Canada-France-Hawaii

Mis au service de la communauté scientifique au mois de mars 1980, le télescope Canada-France-Hawaii livre ses premières observations astronomiques.

Roger CAYREL

Le télescope Canada-France-Hawaii (fig. 1), fruit d'une collaboration entre trois organismes - le Centre national de la recherche scientifique, le Conseil national de recherche du Canada et l'Université d'Hawaii (cf. Courrier du CNRS, n° 8-25-34) - a été mis au service de la communauté scientifique,

à temps partiel, en mars 1980. Bien que l'équipement instrumental du télescope ait été encore limité pendant ses deux premières années de fonctionnement, et que seul deux des quatre foyers de l'instrument étaient en service pendant cette période, on peut déjà dresser un premier bilan de ce qui a été fait avec l'instrument et tâcher d'expliquer les

résultats les plus significatifs obtenus à ce jour. Il faut bien sûr tenir compte, dans ce bilan de ce que le dépouillement et l'interprétation des observations prennent du temps et que les observations dont on peut parler en termes scientifiques aujourd'hui sont plutôt celles de 1980 et de 1981 que celles de 1982.



Fig. 1 - Photographie récente du télescope Canada-France-Hawaii, dans sa configuration - foyer primaire (photo CFHT).

Résultats obtenus grâce à la résolution angulaire élevée du télescope

Dès les premiers mois de fonctionnement du télescope, les clichés pris au foyer primaire mirent en évidence un pouvoir de résolution exceptionnel. Dès la seconde mission, Sydney van den Bergh (Dominion Astrophysical Observatory) et W.E. Harris (McMaster University) obtinrent un cliché d'une galaxie compacte (Markarian 190), dont la structure spirale n'avait jamais été soupçonnée (elle était classée antérieurement comme elliptique ou S0) et résolvaient une magnifique structure spirale. L'intérêt de cette observation est que cet objet semble être la plus petite galaxie spirale identifiée à ce jour. Les mêmes astronomes canadiens parvinrent également à résoudre les amas globulaires autour des grandes galaxies jusqu'à

□ Roger Cayrel, astronome titulaire à l'Observatoire de Paris, a été directeur de projet du télescope Canada-France-Hawaii pendant toute la période de conception et de construction du télescope. Il a été le premier directeur de la Société du télescope Canada-France-Hawaii jusqu'au mois d'août 1980.

une distance de soixante millions d'années-lumière, ce qui constitue une performance remarquable. Dans le même ordre d'idées, alors que la morphologie des galaxies lointaines est brouillée par la turbulence atmosphérique, Laird Thomson (Université d'Hawaï) obtenait un cliché (fig. 2) de l'amas Abell 2670, situé à environ un milliard d'années-lumière, où l'on peut encore distinguer, malgré l'énormité de la distance, les galaxies elliptiques des galaxies spirales.

Deux astronomes français (1) ont réussi à résoudre le jet du noyau actif de la galaxie Messier 87 en un nombre record de composantes (fig. 3). Cette observation est intéressante car le mécanisme physique d'éjection de ces jets, fréquents dans les noyaux de galaxies actifs comme dans les quasars, n'est pas connu et le fait que l'émission de matière soit aussi intermittente que le montre la figure 3 a des implications importantes sur la cause physique du jet.

Mais le résultat le plus spectaculaire obtenu est sans nul doute la résolution d'une planète du système solaire et de son compagnon : le couple Pluton-Charon par D. Bonneau et R. Foy (Observatoire de Paris, CERGA*). On savait déjà que l'image de Pluton n'était pas ronde et l'hypothèse selon laquelle Pluton avait un compagnon non résolu, Charon, avait déjà été avancée (2). C'est grâce à la technique d'interférométrie des tavelures** imaginée par A. Labeyrie (3) que ce système a pu être résolu en deux disques de diamètres angulaires respectivement de $0",18 \pm 0,02$ (Pluton) et $0",09 \pm 0,01$ (Charon) (4). La séparation des objets était de $0",7$ à $0",8$ au moment de l'observation, en juin 1980. Les diamètres linéaires correspondant à ces diamètres angulaires, à la distance de quatre mille cinq cents millions de kilomètres, sont respectivement de quatre mille et de deux mille kilomètres. Les éléments de l'orbite permettent d'obtenir la somme des masses des deux corps (2×10^{22} kg). On constate par un calcul élémentaire que, s'ils ont la même densité, celle-ci est seulement de $0,5 \text{ g/cm}^3$. L'une des nuits (le 23/6/1980), la turbulence atmosphérique était suffisamment faible pour résoudre le système sans même utiliser la technique d'interférométrie de tavelures. La différence de magnitude entre les deux objets au moment de l'observation était de 1,6 mag, ce qui correspond à un rapport de flux lumineux de 4,4, sensiblement égal au rapport des surfaces apparentes des deux corps. Ces derniers ont donc le même albé-

do*** ($\approx 0,2$) et on pense que Pluton et Charon sont les deux morceaux d'un corps qui s'est brisé. Leur taille étant beaucoup plus semblable à celle d'un satellite qu'à celle d'une grosse planète, on conjecture qu'il s'agit peut-être d'un satellite de Neptune qui aurait été éjecté lors d'une forte interaction de Neptune avec un autre corps du sys-

tème solaire, et qui se serait brisé par effet de marée.

* CERGA : Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques.

** On appelle tavelures les structures instantanées qui apparaissent dans l'image et qui fluctuent rapidement. Leur taille moyenne est de l'ordre de la figure de diffraction du miroir primaire.

*** L'albédo d'une surface est le rapport entre le flux lumineux qu'elle reçoit et le flux diffusé.

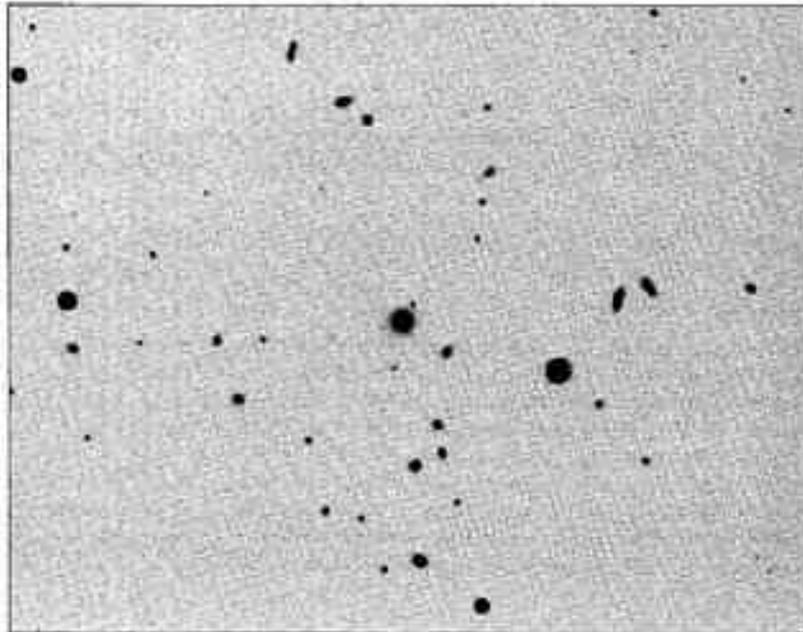


Fig. 2 - Centre de l'amas de Galaxie Abell 2670. Cet amas a un décalage vers le rouge correspondant à environ 10 % de la vitesse de la lumière. Si l'on admet une constante de Hubble de $80 \text{ km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, ce décalage correspond à une distance de près d'un milliard d'années-lumière. Le cliché a été pris par L. Thomson au foyer primaire du télescope.

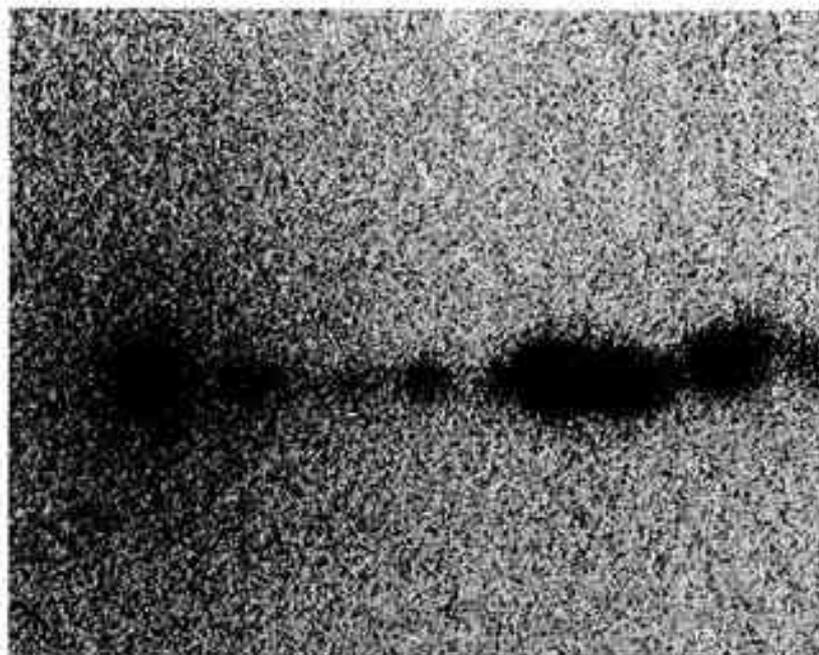


Fig. 3 - Photographie du noyau et du jet de la galaxie active Messier 87, obtenue au foyer primaire par J.L. Nieto et G. Lelièvre avec correcteur UV. La pose est de 30 minutes.

Des observations d'intérêt cosmologique ont également été effectuées avec une caméra électronique construite à l'Observatoire de Paris-Meudon, sous la direction de P. Felenbok. Le quasar double 0957 + 561 (mirage gravitationnel) a été surveillé et la variation d'une des composante a été détectée. On sait que le décalage temporel entre les variations des deux images permet de déterminer la décélération de l'expansion de l'Univers si la masse de la galaxie défectrice est connue (5). Les images obtenues avec cette même caméra ont permis d'établir que la magnitude limite au foyer primaire du télescope Canada-France-Hawaii est d'environ 26,5.

Enfin avec un appareil appelé « grens » qui permet de prendre le spectre à faible résolution de tous les objets présents dans le champ au foyer primaire, un astronome américain découvrait le troisième mirage gravitationnel (6).

Observations spectrographiques faites sur foyer coudé

Le foyer coudé du télescope Canada-France-Hawaii est équipé d'un spectrographe à haute résolution (0,02 nm) pourvu d'un excel-

lent détecteur de type « réticon ». Le principe de ce détecteur est de recevoir la lumière sur une barrette de diodes au silicium initialement chargées sous une tension de référence. Les photons créent des paires ions-trous positifs qui déchargent progressivement la diode. On mesure la charge nécessaire pour remettre la diode dans son état initial et cette charge est proportionnelle à la quantité de lumière reçue pendant la pose. Cette technique permet d'obtenir des spectres avec un rapport signal/bruit très supérieur à celui de la plaque photographique et d'importants résultats ont déjà été obtenus à ce foyer dont le rendement élevé tient aussi à l'excellente qualité d'image donnée par l'ensemble ciel-télescope.

L'étoile AB Aurigae a été observée à haut rapport signal/bruit par F. Praderie, A. Talavera et d'autres chercheurs de l'Observatoire de Paris-Meudon.

Cet objet est une étoile de type spectral A à raies d'émission, identifiée comme une étoile extrêmement jeune, présentant des raies d'émission variables et une nébulosité associée. Bien que cette étoile ne soit pas très brillante (magnitude 7 à 8), d'excellents spectres ont été obtenus au foyer coudé du télescope Canada-France-Hawaii montrant de nouvelles raies en émission dans le

rouge et l'infrarouge avec une intensité hautement exceptionnelle. Citons parmi ces raies : les raies D du sodium, la raie H α et la série de Paschen de l'hydrogène, une raie de l'hélium et le triplet infrarouge du calcium ionisé. Les intensités observées sont telles qu'elles sont dignes d'une étoile supergéante alors qu'il ne s'agit pourtant que de la chromosphère et du vent stellaire d'une étoile naine (fig. 4).

L'auteur et G. Cayrel de Strobel (Observatoire de Paris-Meudon) ont réussi à mesurer le déclin de l'abondance de lithium le long de la série principale de l'amas des Hyades jusqu'à une abondance dix fois plus faible que ce qui avait pu être fait jusqu'alors. Cette observation est révélatrice de ce qui se passe au fond de la première zone convective de l'étoile, c'est-à-dire à mi-chemin entre le centre et la surface.

Mais le résultat scientifique le plus marquant - en raison de sa portée cosmologique - obtenu au télescope Canada-France-Hawaii est la découverte du lithium dans les étoiles de populations II par F. et M. Spite (7) (Observatoire de Paris-Meudon) (fig. 5). Ce résultat apporte un nouvel appui à la cosmologie du « big bang ». Pour comprendre la relation entre les deux cho-

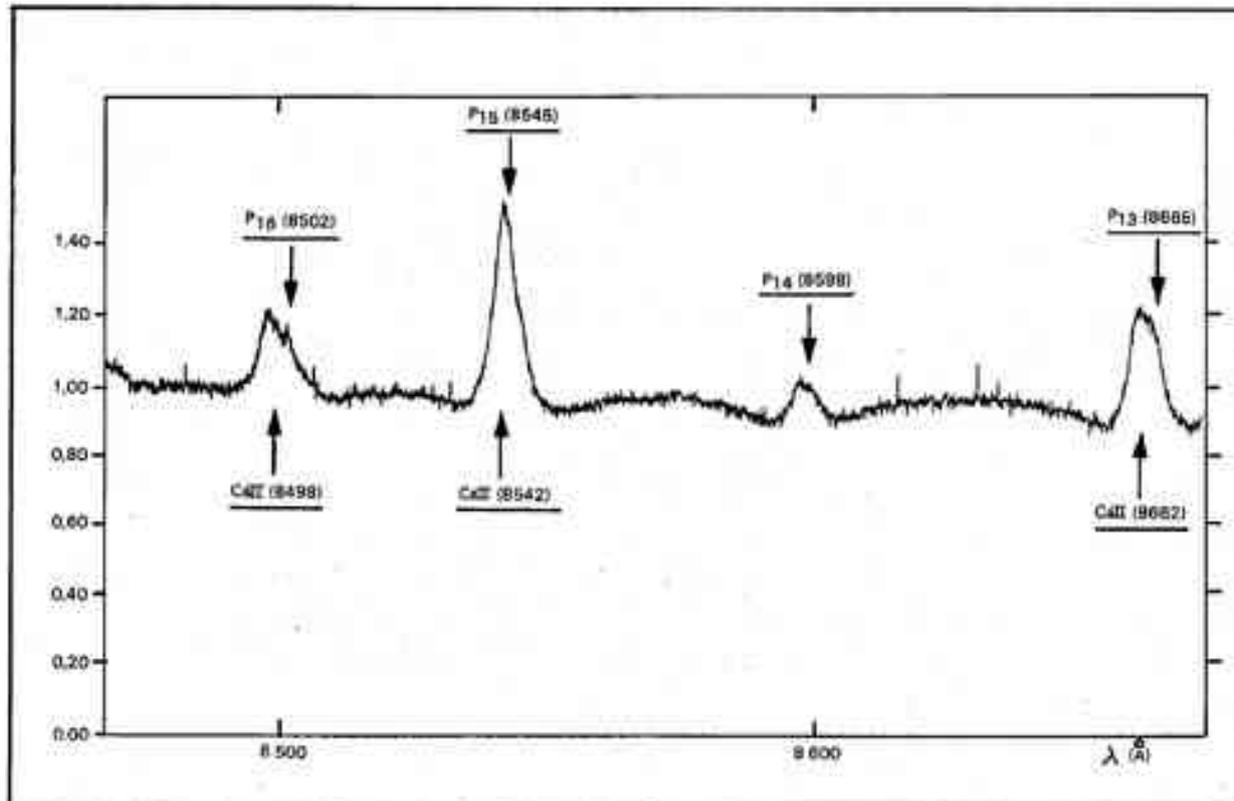


Fig. 4 - Spectre de l'étoile AB Aurigae ($m_v = 7,2$) dans la région $\lambda \lambda$ 8500-8600 Å, obtenu le 11 décembre 1981 au spectrographe coudé du télescope. Le détecteur est un réticon refroidi à -100° . Temps d'intégration 50 minutes. On remarque que le triplet infrarouge du calcium ionisé est en émission ainsi que les noyaux des raies de la série Paschen P₁₃ à P₁₆.

ses, il est nécessaire de faire maintenant un rappel sommaire de la théorie du « big bang ». Cette théorie affirme que la matière de l'Univers était initialement très dense et très chaude, si dense et si chaude que toutes les réactions nucléaires pouvaient s'y produire librement jusqu'à ce que l'expansion « gèle » cet équilibre par le double jeu de la décroissance de la densité et de la température. Le calcul des abondances des différents noyaux produits par un mélange initial ne comprenant que des particules élémentaires a été fait en détail (8) et repris récemment en se servant des derniers progrès de la théorie de la grande unification. Le résultat ne dépend que de deux paramètres : le rapport de la densité de matière à la densité de rayonnement d'une part et le taux d'expansion de l'Univers d'autre part. Le taux d'expansion est déterminé par la théorie de la gravitation et si l'on admet que la théorie pertinente est la relativité générale avec une constante cosmologique nulle, il ne reste plus qu'un paramètre « libre » qui est le rapport du nombre de baryons au nombre de photons cosmologiques. Ce rapport est en principe connu par l'observation puisque l'on connaît la densité du rayonnement cosmologique à $2,7^{\circ}\text{K}$ ($400\text{ photon cm}^{-3}$) et la densité baryonique que l'on obtient en divisant la masse moyenne d'un centimètre cube d'Univers par la masse du proton.

La théorie du « big bang » prédit ainsi en principe complètement la composition chimique de la matière primordiale à partir de laquelle se sont formées les étoiles et les galaxies. Une petite réserve cependant : le densité baryonique de l'Univers n'est pas connue avec beaucoup de précision, une partie de la matière présente dans l'Univers n'étant pas nécessairement visible mais seulement détectable par ses effets dynamiques et la constante de Hubble qui intervient dans l'expression de la densité moyenne de l'Univers étant connue à un facteur deux près seulement. A cette réserve près, le « big bang » prédit complètement la composition chimique de la matière primordiale, le résultat étant que cette dernière est constituée d'hydrogène et d'hélium avec une petite quantité de deutérium, d'hélium 3, de lithium, de bore, et de béryllium. Cela présenterait un intérêt majeur d'observer la composition chimique de la matière primordiale pour voir si elle répond bien aux prévisions de la théorie du « big bang ». La difficulté pour observer la composition chimique en question est de trouver un « fossile » où elle a pu subsister. On appelle par définition étoile de population III une étoile qui se serait formée à partir de cette matière primordiale. Malheureusement, en dépit de recherches intensives, aucune étoile de population III sans oxygène, ni azote, ni métaux n'a

encore été trouvée. Mais il existe une bonne approximation à cette population III hypothétique, ce sont les étoiles de population II extrême qui ont les trois caractéristiques suivantes :

- l'abondance par rapport à l'hydrogène des éléments de poids atomique supérieur ou égal à celui du carbone y est de vingt à mille fois plus faible que dans les étoiles communes ;
- l'âge de ces étoiles est pratiquement le même que l'âge de l'Univers ;
- les orbites de ces étoiles dans la galaxie s'écartent beaucoup des orbites quasi circulaires des étoiles communes.

Ces étoiles formées avant que la Galaxie n'ait pris sa forme en disque actuelle, sont jusqu'à présent la meilleure approximation disponible de la population III. L'abondance de l'hélium ne peut être déterminé directement car la température de ces étoiles est trop faible pour que l'hélium y apparaisse ; cependant, par une méthode indirecte, on peut obtenir une estimation de l'abondance de l'hélium dans les étoiles naines de population II : on trouve une valeur qui se situe aux alentours de la valeur prédite par le « big bang » mais cet accord à lui tout seul ne constitue pas une preuve et n'est pas très sensible à la densité de matière dans l'Univers. Le deutérium, l'hélium 3, le béryllium et le bore n'y sont pas observables aux abondances prédites par le « big bang »

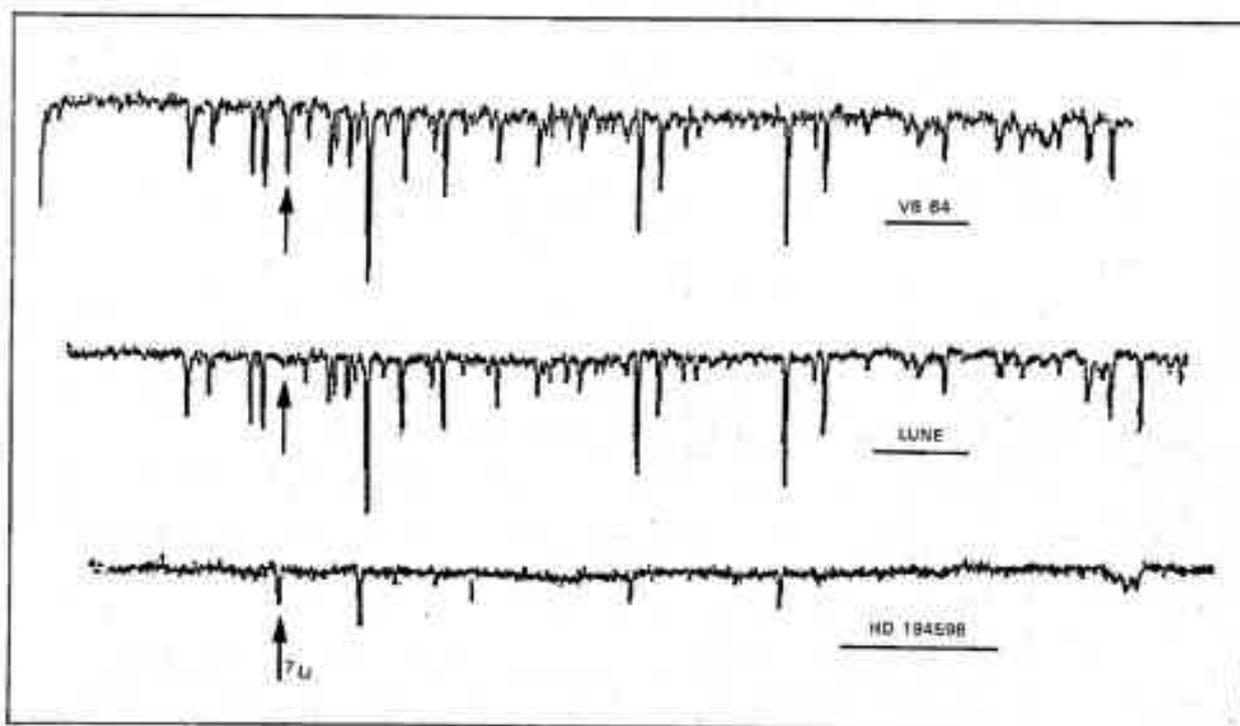


Fig. 5 - Spectres de la lumière solaire (diffusée par la lune), de l'étoile des Hyades Van Bueren 64 et d'une étoile du halo (HD 194598) pris dans le domaine 6700-6800 Å. On remarque l'absence de la raie du lithium dans la lune. La raie est au contraire forte dans l'étoile des Hyades et bien visible dans l'étoile du halo. On note aussi la grande différence d'intensité des autres raies (la plupart du fer) entre l'étoile du halo et les Hyades ou le soleil.

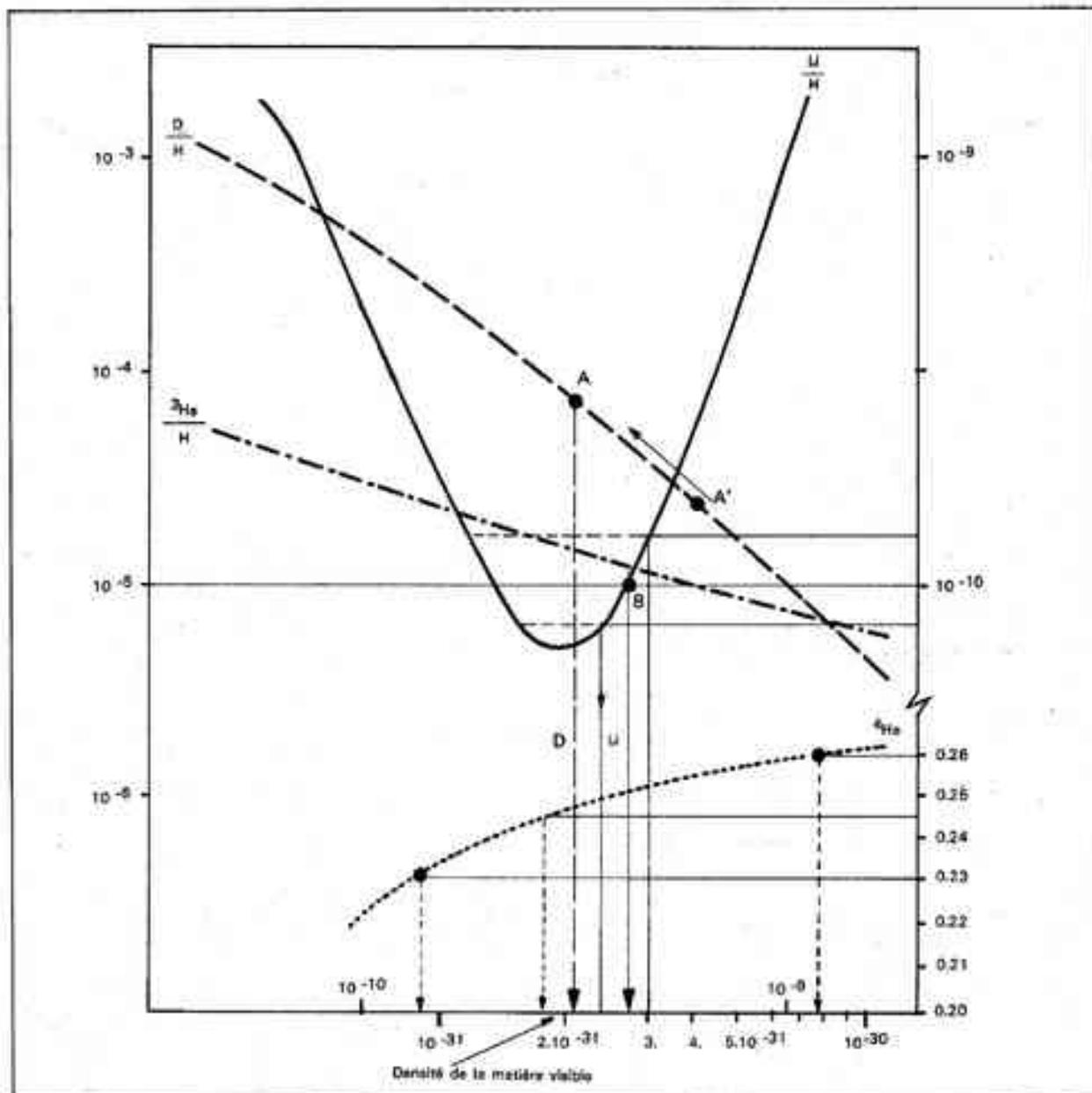


Fig. 6 - Ce diagramme montre les prédictions de la théorie du « Big bang » concernant la composition chimique de l'Univers primordial en fonction du rapport du nombre de baryons au nombre de photons, ou de la densité actuelle de l'Univers (d'après Schramm, 1982 (9)).

- En trait continu l'abondance du lithium (lire les ordonnées sur l'échelle de droite supérieure) ;
- En tirets, l'abondance du deutérium (ordonnées sur l'échelle de gauche) ;
- En tirets-points, l'abondance de l'hélium 3 (ordonnées sur l'échelle de gauche) ;
- En pointillé, l'abondance de l'hélium 4 (ordonnées sur l'échelle de droite inférieure).

Toutes les échelles sont logarithmiques et en nombre d'atomes à l'exception de celle de l'hélium 4 qui est linéaire et en fraction de masse d'hélium par rapport à la masse totale.

Il y a une double graduation pour l'échelle des abscisses (logarithmique elle aussi). La supérieure donne le rapport du nombre de baryons au nombre de photons, l'inférieure la densité actuelle moyenne de l'Univers.

La densité de la matière visible est marquée sur l'échelle des abscisses. Toute densité inférieure à cette valeur n'est pas admissible.

On peut considérer que l'intervalle 0,23-0,26 est acceptable pour l'hélium 4, ce qui ne contraint pas la densité baryonique de l'Univers à mieux qu'un facteur 10 près.

La contrainte apportée par le deutérium laisse place à beaucoup d'interprétation. La valeur observée dans la matière interstellaire actuelle n'est sans doute qu'une valeur maximale (point A'). De la valeur du rapport D/H déterminée dans Jupiter, Kunde (10) a déduit la valeur du point A, avec une correction à rebours pour tenir compte de l'astration entre l'Univers primordial et la formation du système solaire.

La contrainte la plus directe vient de l'abondance de lithium trouvée dans les étoiles du halo. Elle conduit à une densité baryonique de $(2,7 \pm 0,5) \times 10^{-31}$, en éliminant la détermination sur l'autre branche de la courbe qui est en dessous de la limite imposée par la densité de la matière visible.

dans l'état actuel de nos techniques. Reste le lithium qui, difficile à observer (une seule raie très faible), n'avait pas encore été détecté ; or, il vient d'être découvert dans sept étoiles de population II (7). C'est là le recoupement le plus direct entre la théorie du « big bang » et l'observation. Le principal argument permettant d'affirmer que ce lithium est cosmologique, est la stabilité de son abondance dans les sept étoiles de population II suffisamment chaude pour que le lithium ait été préservé, alors que l'abondance des autres éléments, comme le fer, dont on s'accorde à penser qu'ils ont été produits dans les premières explosions de supernovae, varie dans de larges limites. Aucune trace de corrélation entre l'abondance du lithium et celle du fer, du titane ou de n'importe quel autre élément non produit dans le « big bang » (fig. 7). Ceci est un argument très fort en faveur de l'origine cosmologique du lithium. On constate que l'abondance trouvée (10^{10} atomes de lithium par atome d'hydrogène ou une fraction de 5×10^{-10} par unité de masse) correspond à un rapport du nombre de baryons au nombre de photons d'environ $4,3 \times 10^{-10}$ ou à une densité baryonique de :

$$4,3 \times 10^{-10} \times 400 = 1,72 \times 10^{-7} \text{ baryons/cm}^3 \text{ ou encore de :}$$

$$1,72 \times 10^{-7} \times 1,6 \times 10^{-24} = 2,8 \times 10^{-31} \text{ g cm}^{-3}$$

Cette densité est en remarquable accord avec, d'une part celle que l'on peut déduire par une méthode semblable mais moins sûre, de l'abondance du deutérium et de l'hélium 3 dans des milieux où elle n'a pas été fossilisée et où l'on doit donc faire des corrections importantes, et d'autre part de la densité observée de la matière visible dans l'Univers (fig. 6). L'écart entre la densité de $2 \times 10^{-31} \text{ g cm}^{-3}$ et celle de $1 \times 10^{-29} \text{ g cm}^{-3}$ nécessaire pour « fermer » l'Univers est suffisamment importante que l'on puisse conclure que l'Univers, s'il est fermé, n'est pas fermé par des baryons mais par des neutrinos « massifs », s'il s'avère toutefois que le neutrino a une masse.

Pour finir, citons un programme de recherche qui n'a pas encore porté ses fruits car c'est un programme de longue haleine. Il s'agit de la détection des planètes qui pourraient orbiter autour d'autres étoiles que le Soleil, au moyen de la mesure extrêmement précise (quelques m/s) de la vitesse radiale d'étoiles proches. La variation périodique de cette vitesse due à la planète est égale à la vitesse orbitale de la planète divisée par le rapport des masses étoile/planète, ce qui dans le cas du Soleil et de Jupiter, par exemple, donne une vitesse de $\pm 13 \text{ m/s}$. Ce programme est mené par B. Campbell (astronome canadien résident à Hawaii) et la méthode de mesure très précise et donc

très délicate, a été suggérée par le Professeur Herzberg. Il semble bien fonctionner mais la période orbitale d'une planète comme Jupiter étant de 12 ans, il faut attendre.

Au moment où nous écrivons ces lignes, le télescope Canada-France-Hawaii est déjà doté d'une instrumentation beaucoup plus complète que celle qui a produit les résultats dont nous avons parlé. Son foyer Cassegrain infrarouge, à miroir vibrant, est désormais en service. Nul doute que ces nouvelles possibilités vont diversifier les résultats à venir.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) J.L. Nébo et G. Laléve, 1982, *Astron. Astrophys.* 109, 95.
- (2) J.W. Christy, R.S. Harrington, 1978, *Astron. J.* 83, 1005.
- (3) A. Labeyrie, 1970, *Astron. Astrophys.* 6, 85.
- (4) D. Bousseau, R. Foy, 1980, *Astron. Astrophys.* 92, L. 1.
- (5) C. Vandieriet, 1982, *Universalia* 1982, p. 176.
- (6) D.W. Woodman, R.J. Weyman, R.F. Green and T.M. Heckmann, 1982, *Astrophys. J.* 255, L. 3.
- (7) P. Spite et M. Spite, 1982, *Nature* 297, 483.
- (8) R.V. Wagoner, 1973, *Astrophys. J.* 179, 343.
- (9) D. Schramm, 1982, *Phil. Trans. Roy. Soc. A* (sous presse).
- (10) V. Kandh, R. Hanf, W. Maguire, D. Gautier, J.P. Baluteau, A. Martin, A. Cebolin, N. Husson, N. Szecc, 1982, *Astrophys. J.* 262, n° 1.

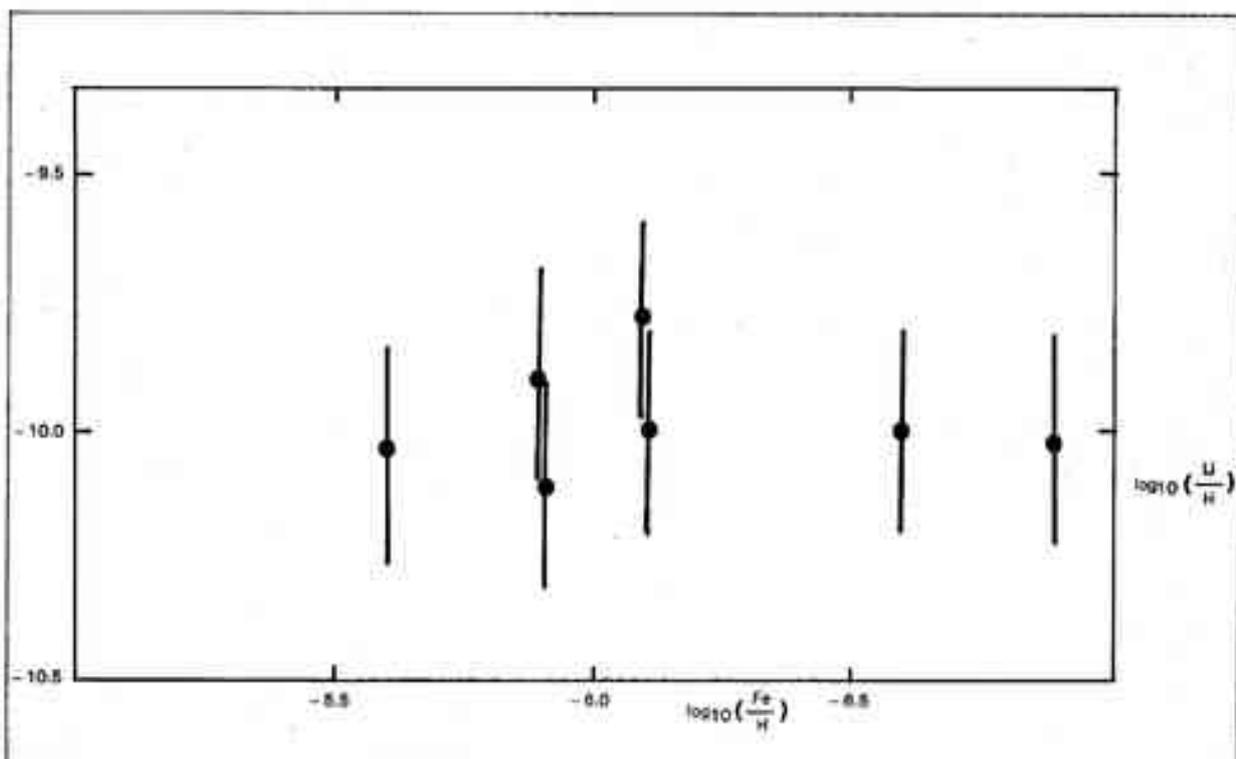


Fig. 7 - Cette figure montre les abondances respectives du lithium et du fer dans sept étoiles de population II. En abscisse l'abondance logarithmique du fer par rapport à l'hydrogène ; en ordonnée l'abondance logarithmique du lithium par rapport à l'hydrogène. On notera l'absence de corrélation entre l'abondance du lithium, pratiquement constante, et celle du fer qui varie par plus d'un facteur dix.

Les microémulsions

L'injection de microémulsions dans les gisements de pétrole pourrait améliorer fortement le rendement d'extraction (de 30 % actuellement en moyenne, à 45 %). Mais ces microémulsions sont des mélanges complexes et les ingénieurs pétroliers ont fait appel depuis 1974 aux chercheurs fondamentalistes pour en faire l'étude. Cet article fait le point sur les recherches actuelles.

Pierre BOTHOREL

L'intérêt porté en France aux microémulsions date du premier choc pétrolier. C'est en 1962 que la Maharaton oil company prit un brevet sur la récupération améliorée du pétrole par injection de microémulsion dans le gisement. Mais ces systèmes chimiques sont des mélanges de composés tensioactifs, d'eau, d'hydrocarbures et souvent d'alcools ; il coûtent cher et chacun sait que jusqu'en 1973 le pétrole extrait par les techniques classiques était abondant et bon marché. L'augmentation brutale de son prix provoqua un fort intérêt pour les microémulsions aux États-Unis et dans les autres pays dotés d'une industrie pétrolière.

Mais si le pétrole devenait plus cher, le procédé de récupération par microé-

mulsion ne devenait pas automatiquement rentable. Il fallait trouver les systèmes chimiques les plus efficaces et les moins coûteux. Comme il n'était pas possible d'étudier tous les mélanges possibles, les ingénieurs pétroliers ont souhaité l'aide des chercheurs fondamentalistes pour mieux comprendre ce qu'est une microémulsion. Une première réunion mixte eut lieu en France au moment du premier choc pétrolier. Simultanément la Délégation générale à la recherche scientifique et technique lançait une action coordonnée concertée sur la récupération assistée du pétrole et les microémulsions allaient en devenir un thème majeur. Depuis cette époque des réunions nombreuses et régulières ont rassemblé des ingénieurs pétroliers et des chercheurs du CNRS

ou de l'Université. Une quinzaine de laboratoires étudient actuellement les microémulsions en France et six d'entre eux ont été associés par le CNRS en un groupement coordonné. La contribution française aux résultats récents est importante, tant en recherche fondamentale qu'appliquée, compte tenu de la taille de notre pays.

Où en sommes-nous en 1982 ?

Dans le domaine des applications pétrolières les essais sur champs se multiplient. Les expériences pilotes, longuement préparées en laboratoire, confirment l'efficacité des microémulsions avec des rendements variables. L'essai tenté en France, à Châteaurenard, par la Société Elf-Aquitaine en 1978-1979 fut un succès technique : 70 % du pétrole initialement en place ont été récupérés au lieu de 40 % par les procédés usuels. Mais le prix du pétrole obtenu ainsi est encore trop élevé, bien qu'un gisement soit en cours de traitement aux États-Unis depuis 1977.

Quant aux recherches fondamentales, elles restent encore fortement liées aux applications pétrolières. Elles portent principalement sur les deux pro-



Emulsion préparée à l'aide d'une microémulsion en équilibre avec de l'eau.

□ Pierre Bothorel est professeur à l'université de Bordeaux I, directeur-adjoint du Centre Paul Pascal, vice-président du Comité scientifique de l'action coordonnée concertée « Récupération assistée du pétrole », responsable scientifique du GRECO « Microémulsions » et Conseiller scientifique de la Société Elf-Aquitaine.

priétés des microémulsions qui intéressent en premier lieu les ingénieurs : une capacité extraordinaire à dissoudre simultanément de l'eau et un hydrocarbure en donnant un liquide homogène et l'existence de tensions interfaciales anormalement basses entre la microémulsion et de l'eau ou un hydrocarbure. Il est possible d'obtenir un liquide stable, homogène, contenant par exemple 40 % d'eau, 40 % d'hydrocarbure, le reste étant constitué par le mélange actif : un tensioactif et de l'alcool, si nécessaire (fig. 1). La capacité de la microémulsion de dissoudre le pétrole dans le gisement est donc très grande. La tension interfaciale entre l'eau et un hydrocarbure, encore appelée huile selon la tradition pétrolière, est de 30 millinewtons par mètre environ. Elle diminue jusqu'à quelques mN/m quand on dissout un tensioactif. Mais la tension interfaciale entre une microémulsion et une phase en excès, eau ou huile, peut être inférieure à 10^{-4} mN/m. Or un calcul très simple, fondé sur la loi de Laplace, montre que les globules piégés dans la roche réservoir ne peuvent en être chassés que si la tension interfaciale entre le pétrole et le liquide injecté est inférieure à 10^{-2} mN/m. Les microémulsions sont les seuls systèmes chimiques remplissant ces conditions.

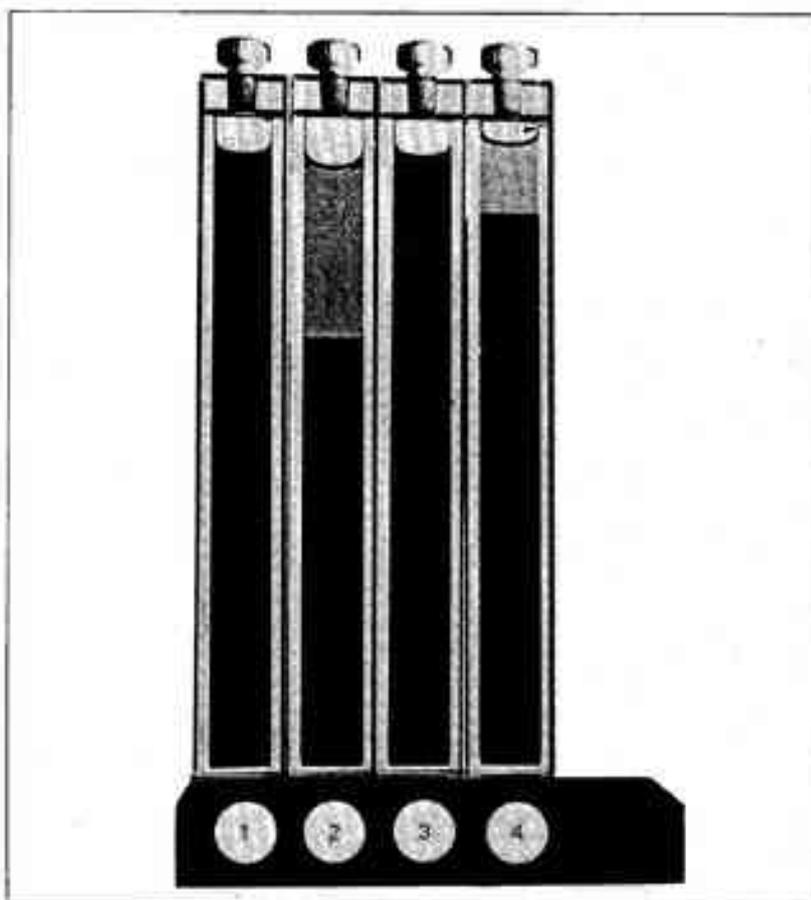


Fig. 1 - Une microémulsion (M) se trouve dans le tube 1 ; elle est en équilibre avec de l'huile (H) en excès dans le tube 2 (H/M), avec de l'eau (E) en excès dans le tube 3 (M/E) et avec de l'eau et de l'huile en excès (H/M/E) dans le tube 4. L'eau est colorée (elle paraît noire) ; la teinte intermédiaire de la microémulsion montre qu'elle contient des quantités comparables d'eau et d'huile. Le tensioactif est anionique ; le passage 2 → 4 → 3 peut être obtenu par simple augmentation de la salinité.

Réalisation d'un liquide homogène

Suivant la concentration des quatre constituants de base, eau, huile, tensioactif, alcool, le mélange peut être mono, di ou triphasique (fig. 1). Il est nécessaire de construire un diagramme de phase pour savoir quel cas correspond à une composition donnée. Ce diagramme est à trois dimensions si le système contient quatre constituants (fig. 2). Pour plus de commodité, les chercheurs utilisent souvent des diagrammes pseudo-ternaires en assimilant le mélange actif à un seul constituant. Les zones mono, di ou triphasiques qui apparaissent sur ces diagrammes évoluent beaucoup selon la composition du mélange actif, la nature de l'alcool, la salinité de l'eau si le tensioactif est ionique (fig. 3), la température s'il est non ionique. Des études ont été entreprises aux Etats-Unis et en Suède dès le début des années 70 sur ces diagrammes si variés et l'influence des paramètres. Une analyse fondée sur la variance chimique a été proposée récemment en France ; elle permet une bonne interprétation thermodynamique des différents cas.

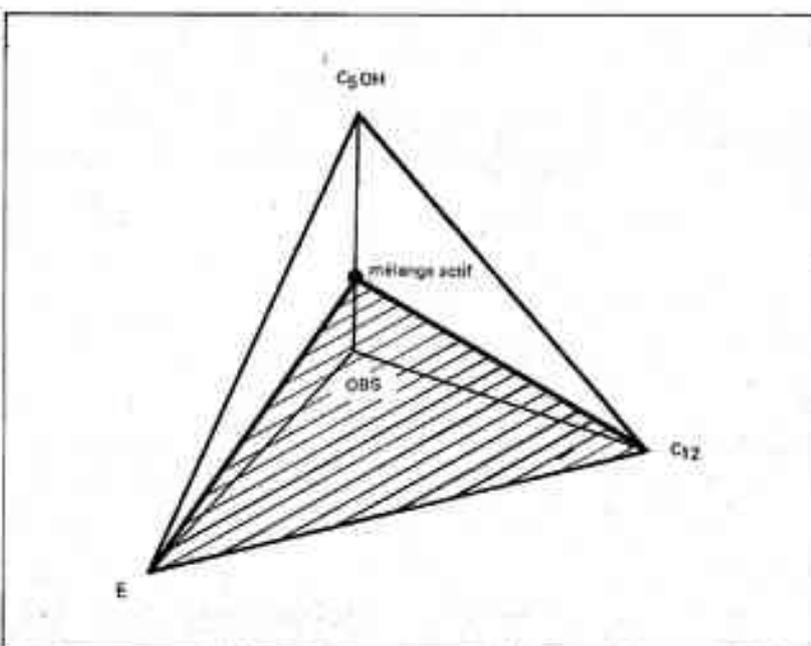


Fig. 2 - Diagramme quaternaire tridimensionnel. Les constituants sont l'eau (E), l'huile : le dodécane normal (C_{12}), le tensioactif : l'octylbenzène sulfonate de sodium (OBS) et le pentanol désigné par $C_5 OH$. Un pseudo-diagramme ternaire est hachuré ; il correspond à une composition fixe du mélange tensio-actif - alcool (mélange actif).

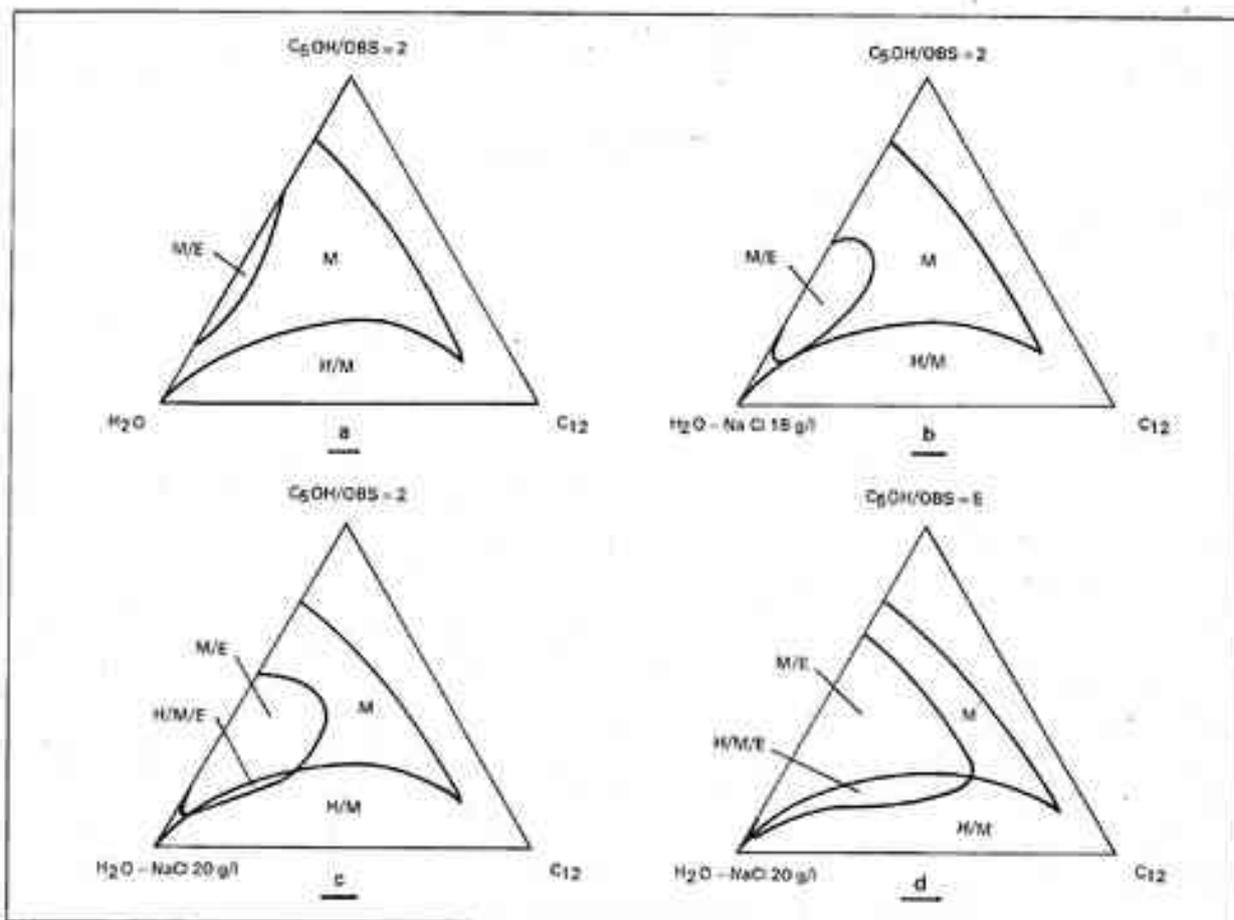


Fig. 3 - Diagrammes pseudo-ternaires. La salinité nulle en a, augmente de b en c ($H_2O - NaCl$ 15 g/l ; $H_2O - NaCl$ 20 g/l). Le mélange actif est plus riche en alcool en d qu'en c ($C_5 OH/OBS = 2$, $C_5 OH/OBS = 5$).

Il est évident que toutes les régions d'un tel diagramme ne présentent pas le même intérêt industriel. Ce sont seulement les microémulsions pauvres en mélange actif coûteux qui intéressent les ingénieurs (celles qui se trouvent par exemple près de la ligne du bas des diagrammes de la figure 3). Une question fondamentale se pose : comment une petite quantité de mélange tensioactif peut-elle disperser en un mélange homogène des quantités très importantes d'eau et d'huile ?

Pour répondre à cette question les chercheurs ont étudié la structure de ces microémulsions à l'aide de techniques variées : diffusion de la lumière ou des neutrons (techniques très développées en France), ultra-sédimentation, fluorescence de marqueurs moléculaires. Des vésicules sphériques de quelques nanomètres de rayons ont été trouvées dans les microémulsions riches en huile ou en eau, et contenant un tensioactif anionique. Ces vésicules renferment des gouttelettes d'eau ou d'huile bordées d'un film interfacial contenant le tensioactif et de l'alcool (fig. 4). Par contre la structure des microémulsions à la fois riches en

eau et en huile est encore mal connue.

Des domaines microscopiques, les uns remplis d'huile, les autres d'eau, pourraient évoluer rapidement et d'une manière aléatoire en forme et en taille. Mais il est possible que des vésicules sphériques persistent encore, en passant par une zone d'inversion des gouttelettes « huile dans l'eau » à « eau dans l'huile ». Une solution concentrée de ces vésicules peut contenir simultanément de fortes proportions d'eau et d'huile.

A ce point de l'étude, il faut se demander pourquoi l'utilisation d'un tensioactif pur ne permet généralement pas le même résultat. Par exemple le dodécylsulfate de sodium n'est que partiellement soluble dans l'eau et les quantités d'huile dissoutes dans ces solutions sont extrêmement faibles. Il est assez facile de le comprendre à la lumière des résultats récents. Pour que le mélange homogène, eau, huile, tensioactif ou mélange actif, ne se dissocie pas, il faut qu'il soit plus stable que les phases séparées. Cette stabilité est liée à son énergie libre et celle-ci dépend de trois termes. Le premier est l'énergie

qu'il faut fournir pour réaliser les films interfaciaux autour des gouttelettes ; ce terme est égal au produit de la tension interfaciale γ par la surface de ces films. Le second est un terme entropique dû à la dispersion des gouttelettes. Le troisième est lié aux interactions entre gouttelettes ; il est responsable de la séparation dans certaines zones intéressantes du diagramme, mais il reste secondaire. L'existence d'une microémulsion va donc dépendre principalement du conflit entre une énergie superficielle qu'il faut fournir pour disperser les gouttelettes et un terme entropique favorable à cette dispersion. Cette entropie est beaucoup plus petite que les entropies de mélange moléculaire car le nombre de particules par unité de volume est plus faible dans le cas des vésicules. Pour avoir une solution homogène, il faut que le terme énergétique soit petit et donc que la tension γ soit proche de zéro. Or cette tension est égale à la différence de deux termes :

$$\gamma = \gamma_{E/H} - \Pi$$

où $\gamma_{E/H}$ est la tension interfaciale entre l'eau et l'huile, de l'ordre de

30 mN/m comme nous l'avons vu ; Π est la pression du film interfacial. Pour que γ tende vers zéro, il faut donc que Π soit proche de 30 mN/m. C'est une forte pression de film bidimensionnel qui n'est observée qu'au maximum de compression, lorsque les molécules tensioactives adoptent une structure très dense, quasi-cristalline. Le volume occupé par ces molécules doit se rapprocher de celui qu'elles ont dans le cristal pour que la microémulsion existe. Mais deux autres paramètres moléculaires interviennent également : la surface σ occupée par chaque molécule tensioactive à l'interface et sa longueur l (fig. 4). σ est liée aux interactions entre têtes polaires ou ioniques et peut être considérée comme constante, en première approximation. La longueur l n'est pas très bien définie car les molécules tensioactives sont flexibles. Cependant l ne peut pas être très inférieure à la longueur de la molécule étirée. Un calcul simple montre que le rayon R des vésicules est totalement défini en chaque point du diagramme. A chaque rayon R correspond un volume moléculaire imposé au tensioactif et ce volume est très inférieur à celui du composé cristallisé pour la plupart des tensioactifs usuels. La pression Π n'est pas suffisante pour réduire suffisamment γ , la solution homogène n'est pas stable. L'introduction de l'alcool dans la microémulsion peut être considérée comme un moyen de rendre le film interfacial plus compact, sans trop écarter les molécules de tensioactif. Il devenant suffisamment grand, la microémulsion est stable. L'alcool étant partiellement soluble dans l'eau ou l'huile, son partage entre ces domaines de la microémulsion et le film interfacial joue un rôle très important sur la structure et probablement la stabilité de la microémulsion.

De telles considérations devraient fournir dans un proche avenir une mé-

thode de tri des formules des tensioactifs ou des mélanges actifs les plus efficaces pour avoir une microémulsion.

Des tensions interfaciales très basses

Revenons à la deuxième propriété caractéristique. Les tensions interfaciales entre microémulsion, eau ou huile, peuvent être si faibles que des techniques particulières de mesure ont dû être mises au point. Celle de la goutte tournante, venant du Texas, s'est largement répandue ; une autre, conçue en France, repose sur la diffusion de la lumière de l'interface. Des études faites récemment aux États-Unis et en France ont fait découvrir deux origines possibles aux tensions interfaciales très basses. L'une est liée au comportement critique des microémulsions dans les systèmes triphasiques. Chacun sait que le liquide et la vapeur d'un corps pur peuvent coexister jusqu'au point critique mais qu'au-delà de ce point il n'y a plus de transition, les deux phases devenant identiques. Des lois d'échelle, maintenant bien connues, relient les paramètres de la transition et caractérisent ce comportement critique. Des résultats analogues ont été obtenus avec les systèmes triphasiques contenant une microémulsion et deux phases en excès, eau et huile. Quand la concentration en mélange actif devient très faible, la composition de la microémulsion se rapproche de celle d'une phase en excès qui contient toujours de petites quantités de tensioactif et d'alcool dissous. Il est facile de comprendre pourquoi la tension interfaciale tend vers zéro quand ces deux compositions tendent à être identiques. Des mesures de diffusion de la lumière confirment ce comportement en montrant l'opalescence critique de ces microémulsions.

Un autre mécanisme existerait dans les systèmes diphasiques ; il serait dû à une composition et une structure particulières du film interfacial qui sépare la microémulsion de l'huile ou de l'eau. La pression de film Π doit être particulièrement élevée et on retrouve là les exigences déjà formulées pour obtenir une grande capacité de dispersion d'eau et d'huile avec une quantité minimale de mélange actif. Ceci explique que les deux propriétés remarquables des microémulsions sont observées simultanément.

Mais si quelques mécanismes sont maintenant connus, les chercheurs ne savent pas encore réaliser une microémulsion performante à coup sûr, même si certaines règles empiriques sont assez efficaces, comme celle proposée par les chercheurs du Texas. Bien des points demeurent encore obscurs ; des structures complexes ont été observées en France, en particulier avec des tensioactifs non ioniques. Des gels apparaissent, incompatibles avec certaines applications, comme la récupération assistée du pétrole. Beaucoup de travail doit être encore fait avant d'atteindre une maîtrise totale de ces systèmes chimiques passionnants par leurs propriétés et leurs structures. Mais l'acquis de la recherche fondamentale et appliquée est déjà impressionnant, particulièrement en France depuis quelques années. De nouvelles applications naissent dans les laboratoires ; elles concernent la cosmétologie, la peinture, le nettoyage, les carburants, la synthèse chimique, la médecine et bien d'autres domaines. Des brevets sont pris. Il reste à espérer que l'industrie française saura faire fructifier ce capital de recherche.

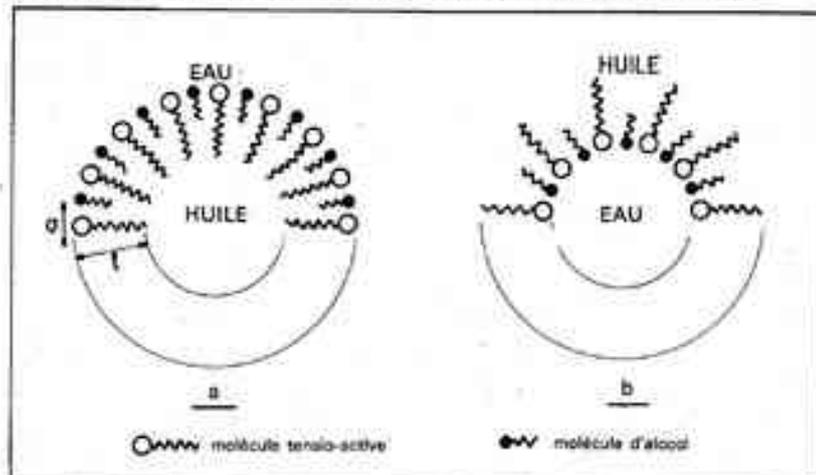


Fig. 4 - Les vésicules « huile dans l'eau » (a) apparaissent dans les mélanges pauvres en tensio-actif et riches en eau, les vésicules « eau dans l'huile » (b), dans les mélanges riches en huile.

L'épigraphie grecque et latine

« Il n'y a pas des inscriptions historiques et des inscriptions non historiques. Simplement certaines d'entre elles nous donnent des renseignements sur l'histoire politique, sur les rois, sur les Etats, les batailles et les autres nous instruisent de l'histoire sociale, de l'histoire de la civilisation ; il n'en est pas qui ne suintent de l'histoire si nous savons les regarder ».

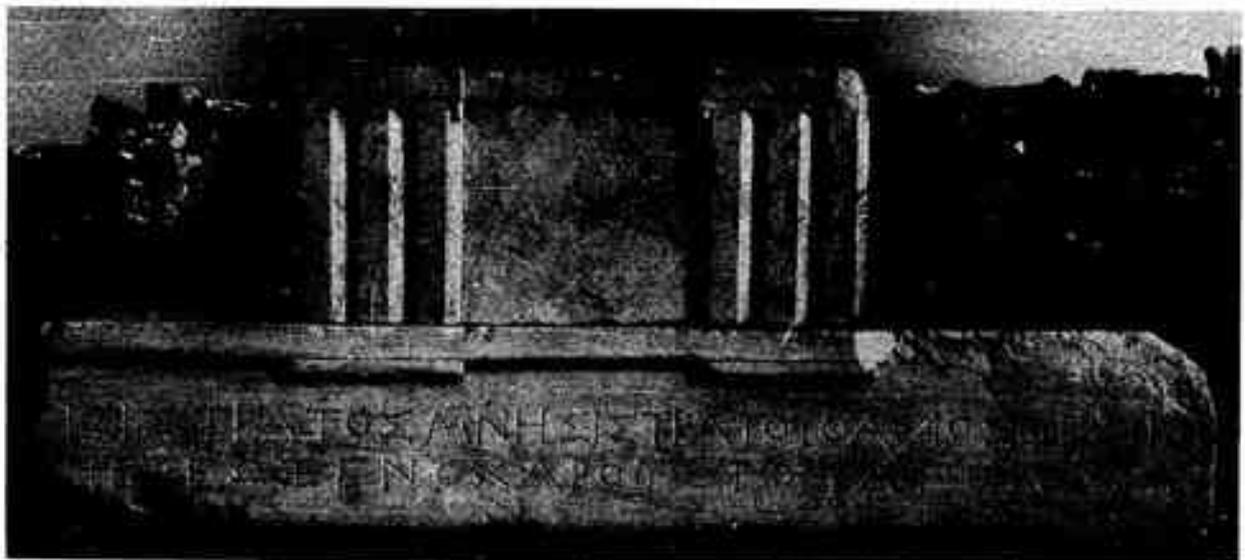
Jean POUILLOUX

Il est une idée aussi répandue que fautive : l'histoire de l'Antiquité serait désormais finie, définie, champ clos des faiseurs de manuels et théoriciens doctrinaires en mal d'explications inédites, mieux accordées à l'air du temps et aux modes de l'instant. Les passionnés du document, les amateurs du tessou que l'on nomme céramologues, les déchiffreurs de pierres inscrites que l'on appelle, non sans condescendance parfois, épigraphistes, les artisans qui s'emploient inlassablement à ajouter au capital du savoir les découvertes de l'archéologie, fortuites

ou produits de fouilles systématiques, savent qu'il n'en est rien. Ils savent que dans le domaine de l'histoire antique, même celle que l'on croit mieux connaître, celle de la Grèce et de Rome, si grand a été le naufrage, si partiel et souvent tendancieux le rapport des auteurs anciens, qu'un seul document découvre parfois des pans entiers d'histoire inconnue. Ils ont conscience, sans paradoxe ni suffisance, que dans leur champ d'étude historique, les renouvellements sont de plus grande portée qu'ailleurs, tant le savoir est étroit ; et ce renouveau ne tient pas aux théories qui passent, mais à la connaissance plus complète, plus globale, et toujours insuffisante, d'une documentation sans cesse accrue et qui demeure ; ils ont appris, avant que le mot fût à la mode, que, sous peine d'être vaine, leur recherche serait « interdisciplinaire » ;

mais, humilité ou audace, ils l'appellent œuvre d'érudition. On les nomma longtemps des « antiquaires ». Le Romantisme, la science allemande, et, dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, l'ouverture des grands chantiers de fouilles leur donnèrent le sentiment de leur communauté, famille fort diverse et parfois désunie, mais qui, d'un assemblage de collectionneurs, allait former une communauté de savants, avec leurs méthodes critiques et leurs exigences, leurs querelles aussi, mais le même projet : mieux connaître la trame de l'histoire antique, et surtout les sociétés et les hommes de ce passé, leurs manières de vivre, leurs techniques, leurs échanges et, si possible, leurs modes de pensée, leurs religions. Ils sont devenus les historiens du monde antique, « les connaisseurs de l'Antiquité », comme disent les Allemands en un seul

□ Jean Pouilloux, membre de l'Institut, a été directeur scientifique pour le secteur des Humanités de 1976 à 1982.



Dédicace d'un temple construit à Istros (Histria, sur la côte de la Mer Noire en Roumanie) par un commerçant thasien (île de Thasos en mer Egée du Nord) au III^{ème} siècle avant J.C.

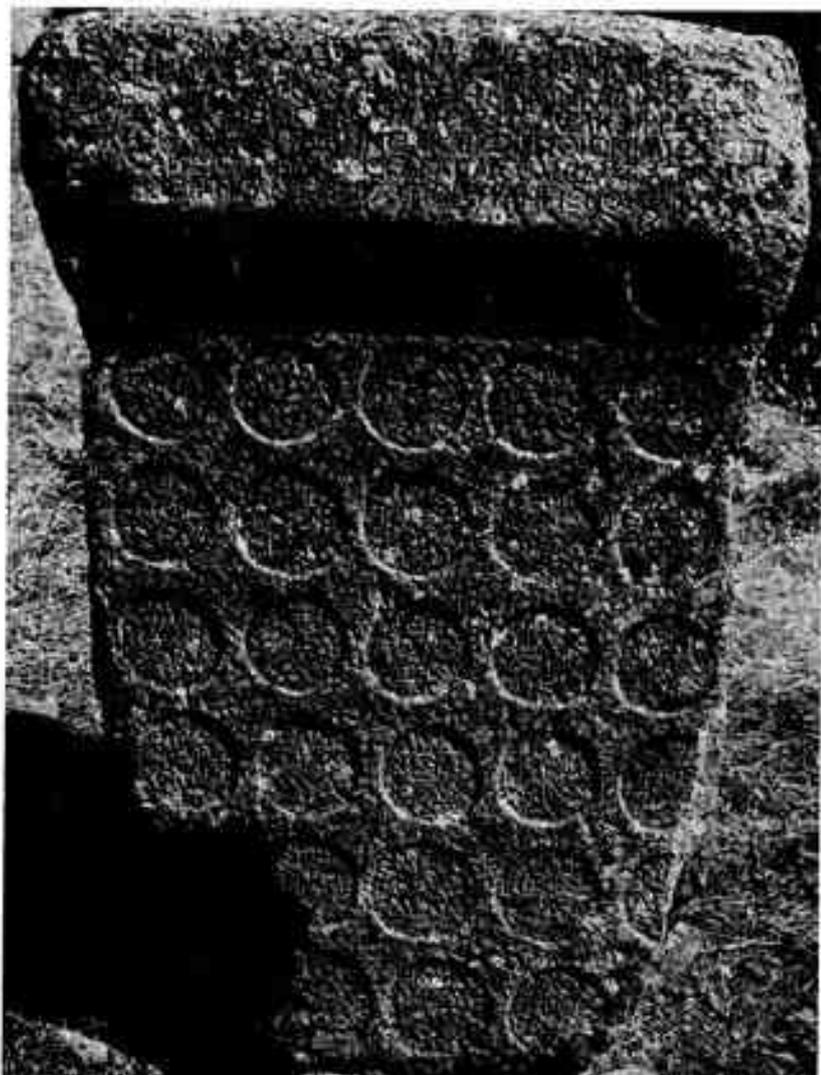
mot. Ils se sont répartis en de multiples sous-disciplines, selon les époques, selon le matériel de leur recherche. Parmi eux les adeptes de l'épigraphie grecque et latine ne sont qu'une petite sous-famille. Ils étaient cependant près de sept cents, réunis à Athènes en ce début d'octobre, pour leur 8ème congrès international, venus du monde entier s'informer du progrès de leurs études, de leur situation dans l'ensemble de la recherche.

La recherche épigraphique

Ils étaient venus de l'Ancien Monde et du Nouveau, des jeunes Etats africains, non pas seulement des pays maghrébins, nos frères en Méditerranée, mais de l'Afrique profonde, de l'Australie écartée et du lointain Japon, signe peut-être de l'universalité que porte en elle la civilisation

formée sur les rives de la Méditerranée, puisqu'il n'était question que du monde hellénique, hellénistique et romain, où plongent si profondément les racines de notre Occident d'aujourd'hui. Satisfaction en outre sans chauvinisme : à l'heure où les lamentations n'ont de cesse sur le désarroi de la langue française et son affaiblissement, des cinq séances plénières, quatre furent totalement ou majoritairement tenues en français, aux côtés de l'allemand, de l'anglais, de l'italien et du grec moderne. Les désespérés professionnels, qui s'apitoient chez nous sur ces études pour les mieux ensevelir afin sans doute de les faire mieux renaître à leur manière, devraient y trouver matière à réfléchir sur notre prétendue décadence. Que venaient-ils donc dire ou entendre ces sept cents épigraphistes, représentants de la recherche historique sur le monde gréco-romain ? S'agissait-il de découvrir des progrès techniques, pour

eux que l'on qualifie parfois sommairement de techniciens auxiliaires de l'histoire ? Sur les cinq jours il n'y eut qu'une demi-heure consacrée aux progrès de la technique épigraphique : ce fut le moment où le directeur du Centre de recherches archéologiques du CNRS vint exposer comment en recourant à des photographies diversement filtrées, en combinant la multiplicité des traces aux multiples combinaisons mises en mémoire sur un ordinateur, on pouvait désormais espérer lire ce que le temps ou les hommes ont parfois effacé sur des pierres inscrites (1). Une demi-heure sur cinq journées consacrée à la technique ; ce fut peu, assurément, mais assurément suffisant. Car ce n'est pas de technique qu'il s'agissait. La technique épigraphique est simple. Elle a sans nul doute profité des progrès que la photographie a faits depuis un siècle, mais comme le disait, il y a trente ans, le maître incontesté de l'épigraphie en ouvrant à Paris le deuxième congrès international, comme il a, en 1982, prononcé la conférence inaugurale de ce 8ème congrès : « Nous ne sommes pas des chevaliers de la brosse à estampage (2) ; l'épigraphie n'est pas un sport où de distingués touristes font la chasse aux inscriptions inédites, les estampent ou les photographient, les publient même et sont dès lors devenus « épigraphistes », comme on est chasseur quand on a abattu quelques pauvres bêtes. On pourra analyser un marbre avec les procédés les plus modernes de la pétrographie, mesurer avec la plus minutieuse exactitude les dimensions des lettres, des interlignes, des lacunes, prétendre calculer s'il y a place pour deux lettres 1/2 ou deux lettres 2/3 et non pas trois lettres, inventer des instruments pour mesurer la profondeur

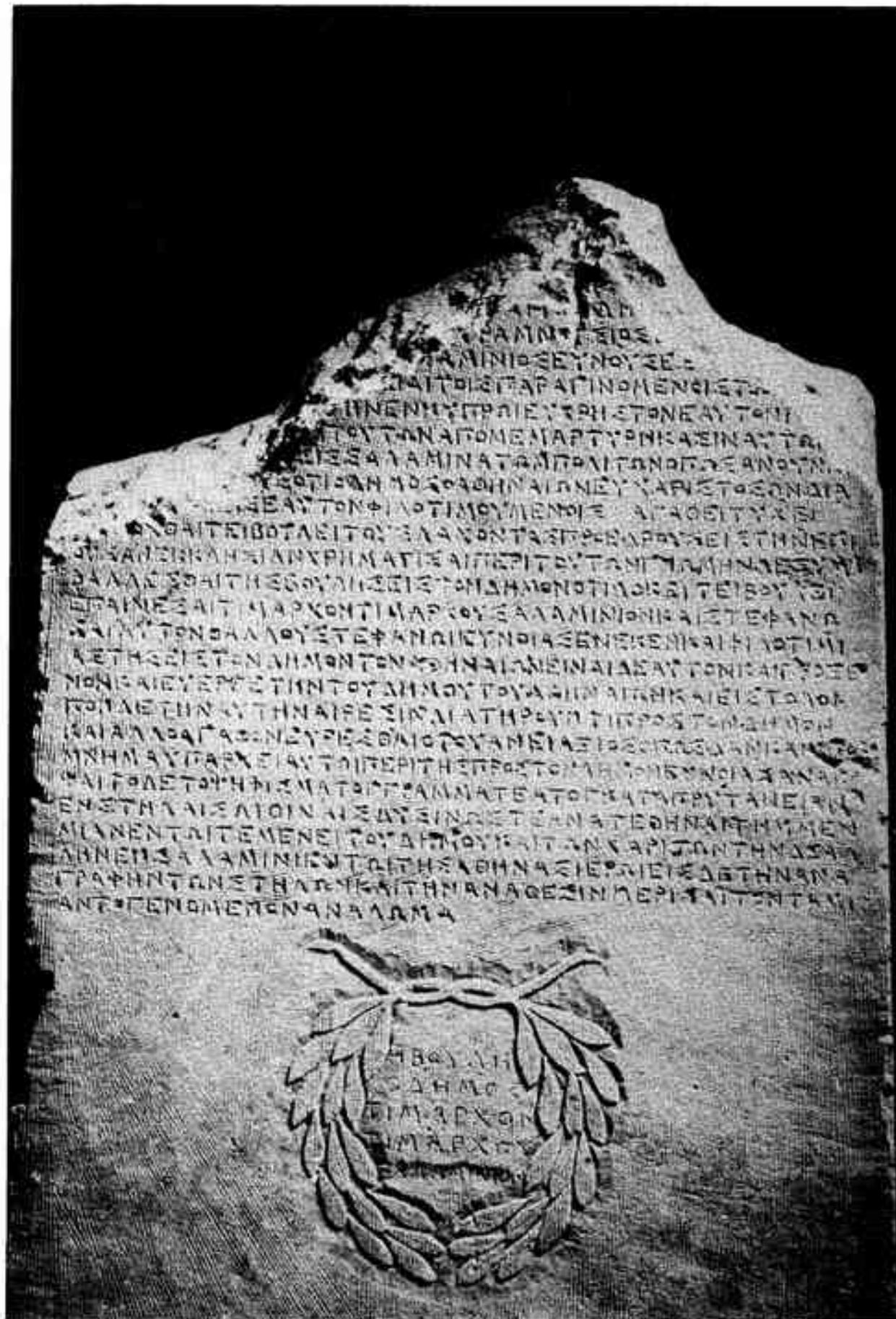


Base de statue pour un athlète originaire d'Ancyre (Ankara) et vainqueur dans de multiples concours du monde gréco-romain (fin du IIème au début du IIIème siècle après J.C.). Statue érigée dans le sanctuaire d'Apollon à Delphes.

(1) Cf. Dabigne, Duvernois, Turris, « Epigraphie et optique : recherche de lisibilité sur un inédit à Besançon », *Dialogues d'histoire Ancienne*, 7, p. 407-428 (J.A. 338).

(2) Un estampage est l'impression d'une inscription que l'on fixe sur un papier spécial, sans colle ; humidifié, soigneusement appliqué sur la surface inscrite à l'aide d'une brosse à manche, séché ensuite, ce papier garde en relief les lettres gravées en creux sur la pierre. L'épigraphiste reporte ainsi avec lui l'image fidèle du monument inscrit. Un autre mode d'estampage est obtenu avec du latex, qu'il suffit d'étendre sur la surface inscrite et de laisser le temps suffisant pour que l'impression soit fidèlement reproduite.

Décret d'Athènes (partie inférieure) en l'honneur de Timarchos, fils de Timarchos de Salamine de Chypre, au IIème siècle avant J.C. (Ce décret était exposé à Athènes dans le sanctuaire du Peuple et des Grâces, à Salamine de Chypre dans le sanctuaire d'Athéna). ▶



des lettres et chiffrer le volume de leurs creux, on ne sera pas pour cela un épigraphiste. On aura fait un travail préparatoire, parfois inutile d'ailleurs... Le travail essentiel de l'épigraphiste consistera toujours à comprendre une inscription, à l'interpréter de façon complète » (3). Et le même savant ajoutait : « Je dirai que nous sommes des historiens qui ont reconnu la valeur éminente des inscriptions dans leur documentation et qui se sont mis en état de les interpréter de façon critique et sûre, cela en les lisant dans les éditions originales et les recueils critiques, et non pas seulement dans les abrégés et les choix – sur la pierre s'il en est besoin – et en les comparant d'une part entre elles, d'autre part avec les autres documents. Et nous avons appris qu'il n'y a pas des « inscriptions historiques », comme on dit bizarrement, et des inscriptions non historiques. Simplement, certaines d'entre elles, le plus petit nombre, nous donnent des renseignements sur l'histoire politique, sur les rois, sur les Etats, sur les batailles et les révolutions ; et les autres, qui n'ont rien à nous apprendre sur la date des batailles... nous instruisent toutes, peu ou beaucoup, d'une histoire aussi digne des sources de l'histoire, de l'histoire sociale, de l'histoire de la civilisation ; il n'en est pas qui ne suintent de l'histoire, si nous savons les regarder » (4). Trente ans après, ces paroles restent vérité. Les méthodes et les buts demeurent les mêmes. Le savoir seulement s'est accru.

Les inscriptions au service de l'histoire antique

C'est d'abord pour mesurer ces accroissements que les épigraphistes se sont retrouvés, accroissement des documents, accroissement des publications. Ils n'ont pas été déçus, même si l'on a pu regretter que l'exposition des publications n'ait pas été plus complète (5). Comme toujours des documents inespérés ont fait sensation : ainsi l'inscription fixant la localisation de divers sanctuaires autour de l'Acropole d'Athènes ; ainsi la lettre d'officiers d'Alexandre adressée à la ville de Philippes en Macédoine Orientale pour définir le territoire de la cité nouvellement fondée, ou le traité d'alliance entre les Romains et la ville de Maronée, sur la côte thrace. Mais encore, et sur ce point les épigraphistes latins firent particulièrement porter leur effort, les études d'histoire religieuse, les observations sur les institutions, la vie économique, l'évolution sociale ont surtout retenu l'attention. Un exposé magistral sut faire justice, preuves à l'appui, de l'idée trop généralement reçue et enseignée, que la cité grecque, cette forme d'Etat caractéristique de l'hellénisme, prenait fin avec les conquêtes d'Alexandre et la grande chevauchée du Macédonien à travers l'Asie. De même, la conférence inaugurale traça un tableau complet et nuancé de l'institution si purement hellénique que furent les concours d'Olympie, de

Delphes, de Némée, de l'Isthme (près de Corinthe) ; concours répétés et imités avec d'innombrables variantes à travers le monde grec et jusqu'à la fin du monde antique, témoignages d'un état d'esprit et d'une manière d'être qui ne cessèrent de traduire un idéal de l'hellénisme. De telles études nous conduisent beaucoup plus sûrement à l'intelligence du monde antique, auquel nous sommes si fortement rattachés et dont, consciemment ou inconsciemment, nos modes de pensée sont intimement dépendants.

Telles furent ces assises de l'épigraphie grecque et latine. L'action conjointe des universitaires et des chercheurs du Centre national de la recherche scientifique valut à notre pays d'y figurer avec honneur. L'effort de coordination doit certainement être maintenu et amplifié, tout particulièrement avec les grands établissements à l'étranger que représentent les écoles françaises d'Athènes et de Rome. Mais, en ce domaine au moins, et pour une fois en sciences humaines, la province avec les centres d'Aix, Besançon, Bordeaux, Lyon, Nancy, Naples et Strasbourg équilibre heureusement les centres parisiens. Il n'est que d'assurer à tous la maintenance des bibliothèques déjà constituées, de les fournir en crédits de mission adéquats aux régions explorées, de veiller toujours davantage à la qualité de leurs publications pour en rendre l'édition nécessaire et indiscutable, d'en garantir alors le financement, et les épigraphistes de notre pays seront en mesure de jouer convenablement leur rôle dans la communauté des historiens de l'Antiquité grecque et romaine. Les méthodes sont définies, les instruments de travail, en place ; les hommes, en nombre et en qualité suffisants. Il suffit dès lors de leur faire confiance. Ils sauront œuvrer pour une meilleure connaissance d'un passé, d'une civilisation passée, sans quoi notre présent, notre civilisation présente, notre culture présente resteraient inexplicables et souvent incompréhensibles, tant il est vrai que, dans les sciences de l'Homme comme dans les sciences de la Vie, les générations ne se peuvent disjoindre, indissolublement solidaires.



Base d'une statue de l'empereur Hadrien élevée à Athènes dans le sanctuaire de Zeus Olympien par la communauté des Chypriotes au II^e siècle après J.C.

(3) L. Robert, *Actes du deuxième congrès international d'épigraphie grecque et latine, Paris 1952*, (Paris 1953), p. 9.

(4) L. Robert, *Ibid.*, p. 10.

(5) Les publications du Centre national de la recherche scientifique y figuraient en bonne place, même les plus récentes comme les *Inscriptions latines du Maroc*.

Les éditions du CNRS

Ces ouvrages sont disponibles chez votre libraire habituel ou au CNRS,
295, rue Saint Jacques - 75005 Paris - Tél. : 326.56.11 et peuvent être consultés
à la librairie des Editions du CNRS tous les jours,
sauf samedis et dimanches,
de 9 h à 12 h et de 13 h 30 à 17 h 30.

Sciences de la terre, de l'océan de l'atmosphère et de l'espace

Le télescope spatial : perspectives de programme 1981 - Françoise Praderie - Le télescope spatial est un grand collecteur, de 2,40 m de diamètre, dont la construction a été décidée en commun par la NASA (National aeronautics and space administration) et l'ESA (European space agency), et qui doit être lancé par la navette spatiale pour être placé en orbite autour de la terre au début de 1985. Ce télescope permettra d'observer des objets ponctuels cinquante fois plus faibles (donc sept fois plus lointains, à brillance donnée) que les plus faibles observables du sol. La fenêtre spectrale disponible s'étendra de 1 200 Å à 1 µ. C'est dire qu'il sera l'instrument qui bouleversera la recherche en astrophysique pour la fin du vingtième siècle.

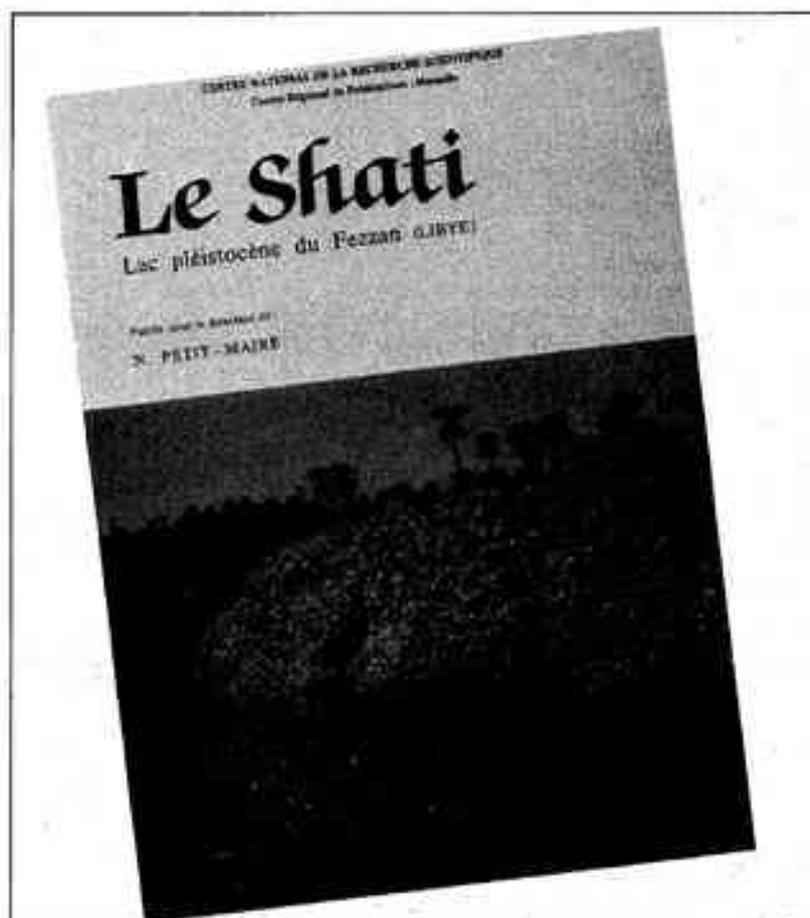
Il était donc particulièrement important que les astronomes français aient une très bonne connaissance des performances du télescope spatial et qu'ils rassemblent sans tarder leurs idées, leurs expériences, afin d'être prêts à répondre au premier appel de propositions d'observations. C'est pourquoi, « Portée par l'espoir d'accéder à l'instrument qui fera faire un bond en avant considérable dans l'exploration en profondeur de l'univers, la communauté astronomique française s'est peu à peu mise à la tâche ».

Ce volume rassemble les premiers projets élaborés par quelque cent vingt astronomes, notamment dans le cadre de la recherche coopérative sur programme pour la préparation de programmes d'observation avec le télescope spatial. (18 x 27/108 p./broché - Prix : 45 F).

Le Shati : lac pléistocène du Fezzan (Libye) - Mme Petit-Maire - Centre régional de publication : Marseille. Après avoir prospecté le territoire de la Libye sud-occidentale afin d'y recenser les possibilités de recherches sur les paléo-environnements quaternaires, Madame Petit-Maire et une équipe de chercheurs : biologistes, archéologues, décident de concentrer leurs efforts sur la vallée du Wadi Ash-Shak afin d'y

étudier la zone où s'étendait un lac à l'époque géologique du Pléistocène : un lac saumâtre de 200 000 hectares, profond d'une cinquantaine de mètres.

Voici donc le rapport de leurs travaux commencés sur le terrain en avril 1978, largement illustré de photographies et de planches, enrichi d'une abondante bibliographie. (21 x 29,7/128 p./9 tableaux/26 fig./20 pl./broché - Prix : 98 F).



Molécules diatomiques - bibliographie critique de données spectroscopiques - Tables internationales de constantes. Actualisation de la table des données spectroscopiques relatives aux molécules diatomiques (constantes sélectionnées n° 17 par B. Rosen). 264 molécules dont 70 nouvelles ; report des données numériques nouvelles ou corrigées ; citations des travaux théoriques. 21 x 29,7/224 p./broché - Prix : 180 F.

Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement

Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux. Etude d'un hydrosystème fluvial : le Haut-Rhône français. L'hydrosystème ; transformation de l'hydrosystème dans le cas du Rhône ; gestion écologique ; les communautés vivantes ; l'influence de l'homme dans la dynamique du système ; présentation cartographique des résultats. (21 x 29,7/116 p. /broché/fig./tabl. /2 cartes dépl. coul. H.T. - Prix : 100 F).

Sciences Sociales

Le corps des ponts et chaussées (histoire de l'administration française). A. Brunot et R. Coquand.

Routes et chemins étaient en bien pitoyable état, rapportent les chroniques, quand Henri IV accéda enfin au trône de cette France tant convoitée. Soucieux de se ménager les voies délicates de la compréhension entre son nouveau peuple et lui, il se montre désireux de mettre et maintenir en état routes et chemins de France : son premier geste à ce sujet est de les placer, par édit, sous l'autorité de Sully. Quelque temps plus tard, devenu Contrôleur général des finances, Colbert donnera à son tour au développement et à l'amélioration des voies publiques tous les soins que réclame ce qui n'est encore qu'un « service » : on confie toujours les tâches à de simples maçons ou charpentiers, ou même parfois à des gens « se mêlant de bâtiment ». Mais, le 3 octobre 1682, un arrêt est publié où il est fait mention des « ingénieurs ordinaires de Sa Majesté ». Désormais, la route est ouverte à l'Administration des

ponts et chaussées ; on va alors étudier toutes les modalités de recrutement, affectation, rémunération pour ses membres.

MM. Brunot et Coquand, deux anciens ingénieurs des Ponts et Chaussées, racontent l'histoire de ce corps de métier, de l'âge du cheval à celui du pétrole en passant par l'âge de la vapeur.

Cet ouvrage fait partie d'une série consacrée aux grands corps de l'Administration française dont le premier s'intitulait : « Le Conseil d'Etat », (16 x 25/956 p./relié/16 pl. phot./5 phot. - Prix : 390 F)

Paroisses et Communes de France. Dictionnaire d'histoire administrative et démographique : le Loiret - Christian Poitou. Un tableau présente l'évolution de chaque commune actuelle depuis l'Ancien régime (organisation politique, juridique, ecclésiastique, démographique, administrative) ; cartes historiques, cartes statistiques de la population ; texte introductif, archives diverses, sources et bibliographie. (16 x 24/536 p./relié/cartes/tableaux. Prix : 155 F).

Paroisses et communes de France - Dictionnaire d'histoire administrative et démographique : la Drôme - Mari-Elisabeth Martin - Instrument de travail étudiant l'évolution des communes de l'Ancien régime à nos jours (politique, juridique, ecclésiastique, administrative, démographique). Cent pages d'introduction (histoire, archives, sources diverses, cartes historiques et cartes statistiques démographiques). (16 x 24/560 p./relié/cartes/tableaux - Prix : 158 F).

Hygiène et technologie de la viande fraîche - Rédigé à la suite d'un colloque (200 participants) étudiant des rapports de la commission : viandes et produits carnés, du CNERNA, cet ouvrage donne l'intégralité des rapports étudiés par la commission ; mise au point détaillée du sujet ; recommandations de la commission ; actions à entreprendre sur les hommes (indispensable mise en pratique de l'hygiène) et sur les structures. (21 x 29,7/356 p./broché 44 fig./35 tabl./2 phot. - Prix : 180 F).

Cahiers du séminaire d'économétrie/ N°24 - dir. Edmond Malinvaud. Trois évaluations de l'impact social d'un changement de prix ; contrainte extérieure, aléas macroéconomiques et prix fictifs pour le calcul économique ; second rang et déséquilibre ; les taches solaires ont-elles de l'importance ? Disparité des revenus et différenciation des produits ; test de spécification -

(16 x 24/176 p./broché - Prix : 128 F).

Rappel : Cahiers du séminaire d'économétrie n° 21 : 90 F - Cahiers du séminaire d'économétrie n° 22 : 75 F - Cahiers du séminaire d'économétrie n° 23 : 110 F.

Cahiers de l'observation du changement social - volume V (Grand-ouest). La Flèche/Malicorne/Sablé : rapport villes campagnes (1955-1979) : démographie/agriculteurs, identités rurales et urbaines ? extension du modèle urbain ? Rennes : grands ensembles et familles populaires ; rapports entre ces familles, les équipements collectifs (centres sociaux), l'institution scolaire. Nantes : usine des Batignolles - coopération productive : répartition des postes, les métiers, sociabilité - coopération de résistance : informelle, syndicale - écrits syndicaux. (16 x 24/248 p./broché/2 cart./25 tableaux - Prix : 40 F).

Cahiers de l'observation du changement social - Volume VI - (équipe de Paris). Vic ménagère des concubins (XIV^e arrondissement de Paris) : répartition des tâches et évolution des conceptions. Echanges et inter-pénétrations des réseaux de sociabilité dans la ville nouvelle. Les associations de locataire, sociabilité et participation. Images de la localité : action collective et identité sociale, changements dans la population. (15,5 x 24/324 p./broché/32 tabl./10 fig. - Prix : 40 F).

Cahiers de l'observation du changement social - volume VII (équipe de Paris). St. Jean Brevlay (B. Fradetel, H. Lamarches, G. Augustin) : rapports sociaux de production (XI^eème siècle - 1980) ; le football dans l'idéologie locale (1920-1980) ; les représentations culturelles dominantes ; organisation sociale : composition et migration ; les parenthèses - Grans-Failly (Cl. Legrain) : échanges de biens et de services (1968-1980) ; la crise économique - rôle des parentés, de la hiérarchie sociale. (16 x 24/226 p./broché/3 cart./5 fig./6 tabl. - Prix : 45 F).

Cahiers de l'observation du changement social - volume VIII (équipe de Paris). Limoux (Robert Cabanes) : vie associative : (hors travail : sport, culture, cycle de vie) - (dans le travail : production locale, enseignement, salaires, syndicalistes). Rôle de l'identité locale, collective. Kervenane (Guy Barbichon, Patrick Prado) : réalité de l'entité sociologique d'un quartier nouveau (grand ensemble résidentiel) ? Vie collective réseaux de sociabilité - iden-

LA GRÈVE GÉNÉRALE



« La Grève générale », chanson de Debock (1901)

tification individuelle et collective à cet espace. (16 x 24/484 p./broché/1 cart./20 tabl. - Prix : 80 F).

Cahiers de l'observation du changement social - Volume IX - (équipe de Provence - Côte d'Azur). Les collectifs de coopération et d'échanges ; réseau de délocalisation et de localisation ; évolution de l'économie localisée, du politique et de leurs domaines à Martigues. Fractionnement des groupes sociaux. L'histoire de Manosque et son urbanisation. Le parc naturel régional de Camargue et le quartier du Panier (Marseille) : protection de la nature. (15,5 x 24/364 p./broché/10 tabl./3 schém./1 phot. - Prix : 55 F)

Cahiers de l'observation du changement social - volume X (Provence-Côte d'Azur) - (méthodologie), Martigues et sa région (Jean-Paul Cheylan, Françoise Desbordes-Cheylan) : formation des espaces péri-urbains ; système de traitement de données : méthode, organisation, manipulation des informations administratives. Gard, Hérault (A. Berger, Y. Le Bot, M. Noël, J. Rouzier) : système d'observation et d'analyse pour saisir les mutations du fonctionnement réel de l'économie dans sa dimension spatiale ; base : communes dans leur vie propre et leur interrelations. (16 x 24/232 p./broché/15 fig./9 cart./2 tabl. - Prix : 40 F).

Les Pavillonneurs. La production de la maison individuelle dans la région toulousaine - Marie-Christine Jaillet - Intérêt français pour la maison individuelle, rôle de l'Etat, appareil de production, enjeu financier. Le marché toulousain (1965-1980), lutte entre producteurs nationaux et régionaux. Intervention des banques et démarche des producteurs nationaux : modèles proposés. Réactions des producteurs régionaux (matériaux en terre cuite), leur évolution, la production normalisée. (16 x 24/320 p./broché/29 fig./38 tabl./h.t. : 1 tabl. et 1 fig. coul. - Prix : 98 F)

Les Grèves Imaginaires Emilien Carassus - (Centre de publication de Toulouse).

A travers les textes de certains écrivains du XIX^{ème} et XX^{ème} siècles (Zola, Vailland, Aragon, Malraux) l'auteur livre un imaginaire de ce phénomène socio-politique que représente une grève, significatif du fait réel et des mutations socio-professionnelles du monde ouvrier. Il n'y avait certes pas que des grèves sinistres au XIX^{ème}

siècle, époque où la revendication ouvrière s'organisait ; il pouvait se faire qu'on aille aussi à la « manif » en chantant d'un pas coiffant, comme en témoigne cette chanson composée par un gréviste de l'usine Crane, « à chanter sur l'air des Gars de la Marine » :

« C'est pourquoi nous faisons grève
Pour défendre notre pain
En reajustant nos gains
Nous voulons combattre sans trêve
Pour revenir tout joyeux
Victorieux »

(24 x 15,5/272 p./broché - Prix : 110 F).

L'influence de l'entraînement sur l'acquisition de la communication chez l'enfant - J.H. Porter - (Monographies françaises de psychologie/n° 57). Apprentissage de la communication ; effets de l'entraînement sur cette acquisition ; éléments de réponses : les effets relatifs de divers apprentissages expérimentaux. La problématique de l'évolution de la communication selon la perspective piagétienne de l'égo-centrisme,

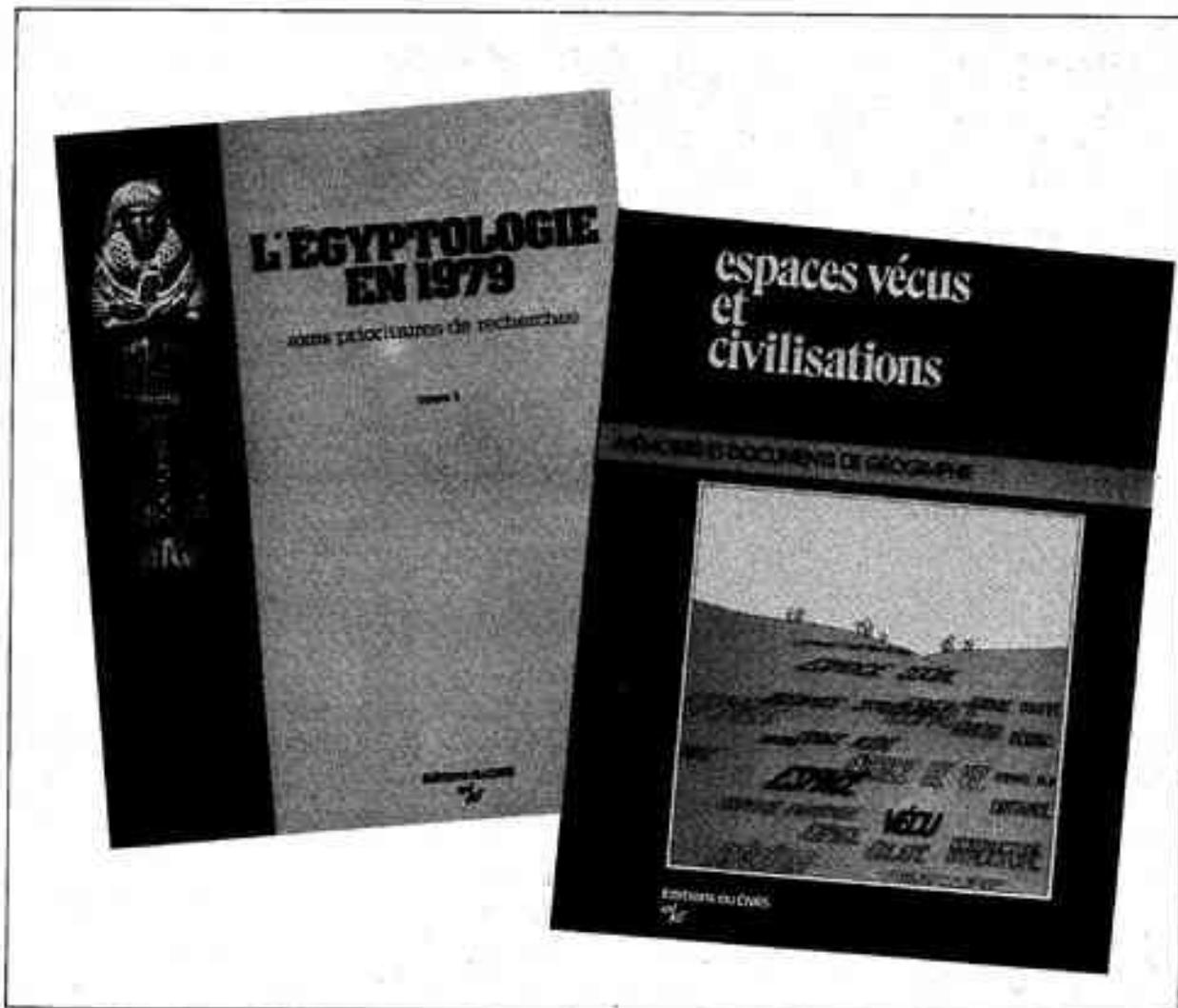
la théorie de l'apprentissage social et celle du traitement de l'information. (16 x 24/114 p./broché/9 fig./16 tabl. - Prix : 65 F).

L'égyptologie en 1979 - axes prioritaires de recherche - (Colloque international du CNRS n° 595, organisé par l'association internationale des égyptologues) - Grenoble 10-15 septembre 1979 - Le 2ème Congrès international des égyptologues a étudié principalement : diachronie et synchronie dans la langue égyptienne, études démotiques, philosophie religieuse du temple égyptien, prospection archéologique et géographique historique du Delta et de la Moyenne Egypte, textes des pyramides et textes des sarcophages, système graphique ptolémaïque, administration dans l'Egypte pharaonique, expérience amarnienne. (95 communications dont 40 en anglais, 13 en allemand, 1 en italien). (21 x 29,7/2 volumes brochés/308 p./24 fig./29 phot./6 cart./2 dépl. hors texte/328 p./25 fig./41 phot./2 tabl./1

dépl. hors texte/1 cart. - Prix : 620 F).

Espace vécus et civilisations - Ouvrage collectif (mémoires et documents de géographie) - Espace vécu : ensemble de lieux réexaminés comme nœuds des fréquentations sociales et comme signes des idéologies, voire des mythologies. Nouvelle analyse différentielle des pays, régions, agglomérations selon les civilisations. Recherche comparative : tropiques (Delta intérieur du Niger), bocages (Basse-Normandie), grandes agglomérations (région parisienne). (21 x 27/108 p./broché/13 cart./3 fig./1 tabl. - Prix : 75 F).

Prix relatifs des produits primaires et développement - responsable : Patrick Guillaumont - Causes ou conséquences de l'évolution des prix pour les pays en développement (Afrique) : méthodologie ; tendances (concentration des exportations, termes d'échange). Instabilité (éléments constitutifs, exportation, comportements des prix).



Détérioration échange - inflation, exportation - épargne. Politiques suivies (face à l'inflation, marchés à terme réglementés). (16 x 24/192 p./dos colé/27 tabl./10 fig. - Prix : 60 F).

L'influence de la dépréciation monétaire sur les droits des obligations - République fédérale d'Allemagne - Heinrich Reinecker - Institut de recherches juridiques comparatives. Conséquences de la dépréciation monétaire sur le droit privé (testament, responsabilité civile). Nominalisme corrigé par la technique de la dette de valeur et la réglementation de l'indexation (obligations). (16 x 24/123 p./broché - Prix : 52 F).

Rappel : Le droit des obligations et des contrats et l'inflation monétaire (Chili et droit hispano-américain) (16 x 24/132 p./broché - Prix : 65 F).

Annuaire européen d'administration publique - volume IV - 1981 - (Centre de recherches administratives/Aix-Marseille) Science administrative comparée en plein développement ; nécessité de développer et de coordonner les recherches théoriques et l'expérience des praticiens ; outil scientifique indispensable pour une meilleure connaissance des réalités administratives à l'échelle européenne. (16 x 25/824 p./relié/24 tabl./6 fig. - Prix : 340 F).

Humanités

Emile Zola Correspondance - Tome III (13 juin 1877 - 31 mai 1880) dir. B.H. Bakker. « Pour la période qui va du 13 juin 1877 au 31 mai 1880, soit trois années, l'édition Bernouard des œuvres complètes (1929) comptait 63 lettres, et l'édition du Cercle du livre précieux (1970) en comptait 22. Nous en publions, dans ce volume, 392. La seule comparaison de ces chiffres donne une idée du travail accompli par les équipes de Toronto et de Paris ». Dans sa préface, H. Mitterand du Centre d'histoire et d'analyse des manuscrits modernes de CNRS (CAM) définit ainsi l'importance du tome III de cette coédition franco-canadienne. Ce travail est, en effet, le fruit d'une coopération entre l'université de Toronto (Programme de recherche sur Zola et le naturalisme) et le CNRS qui crée en 1973 à son tour une équipe de recherche sur la correspondance de Zola, rattachée deux ans plus tard au CAM.

Dans les années couvertes par ce livre, Zola est installé au cœur de la vie littéraire où il a conquis une position de pouvoir. Son activité rayonne sur la

presse, l'édition, le théâtre, la politique. On illustre ses livres, on les traduit à l'étranger. Il dialogue désormais avec les meilleurs esprits de l'époque. « Il était temps que le succès arrivât » écrivait-il à sa femme en septembre 1877. C'est l'histoire de cette conquête - la conquête de Paris par Son Excellence Emile Zola - que nous donnons à lire les lettres ici publiées. (16 x 24/552 p./relié - Prix : 225 F)

Archaeonautica 3

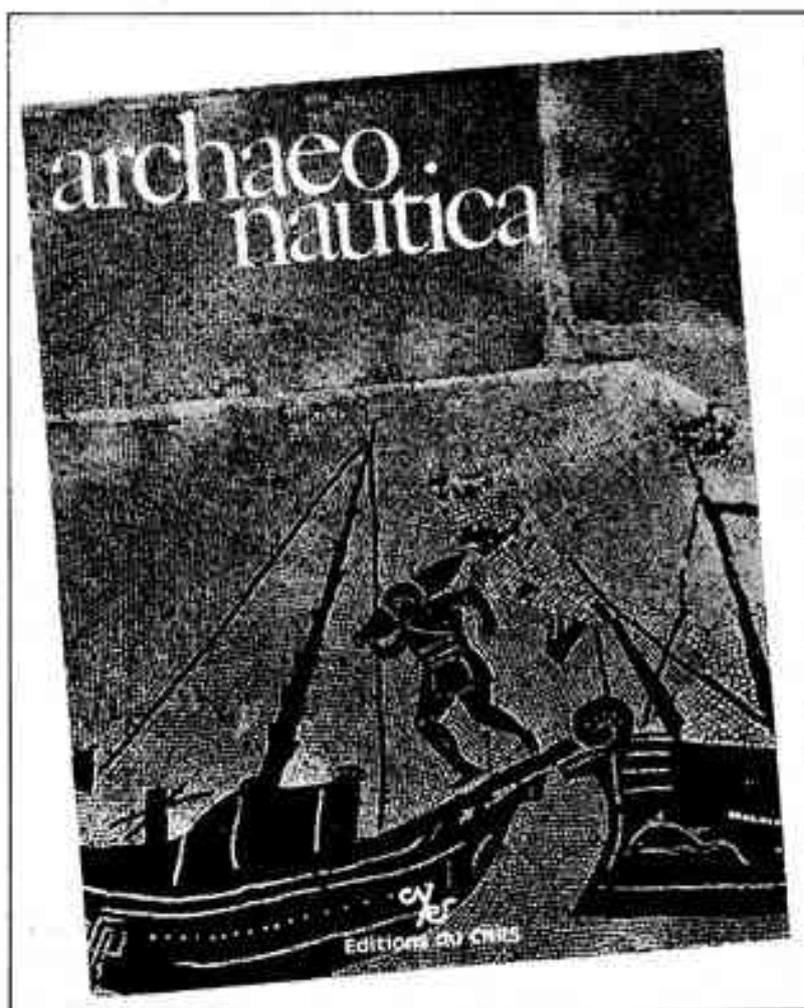
1 - Les épaves de Gruissan - resp. : Yves Solier. De 1969 à 1974 des travaux de désenclavage provoquent la mise à jour de mobiliers souvent endommagés et mélangés ; carte des vestiges ; recensement des gisements terrestres voisins des épaves ; deux très importants habitats.

2 - Le trésor de l'Anse Saint-Roch à Antibes - resp. : Georges B. Rogers. L'empire romain de 284 à 317 ; la découverte du trésor en 1970 ; étude des monnaies ; liste détaillée. (21 x 29,7/436 p./broché - cart., phot., fig., tabl., pl.-phot. des monnaies - Prix : 300 F).

Gallia - Tome 39, fascicule 2/1981 - Fouilles et monuments archéologiques en France métropolitaine de la préhistoire à l'an 800 - Les monnaies galloises du musée Carnavalet. Notes : les dodécaédres gallo-romains ; une catapulte romaine trouvée à Lyon ; une statuette de Mercure ; des bagues d'époque romaine ; deux chenets de pierre à tête de bélier. Information des circonscriptions (Antiquités historiques). (21 x 27/380 p./broché - abondante iconographie - Prix : 340 F).

Atlas historique des villes de France - sous la direction de Ch. Higounet, J.B. Marquette, Ph. Wolff - Cet Atlas propose le plan historique et monumental de types de villes en essayant de retenir le maximum de villes importantes. La recherche s'arrête avec le début du XIXème siècle, c'est-à-dire avant les transformations de la période industrielle et contemporaine.

Le plan de base, en accord avec les autres entreprises européennes, est réalisé uniformément à l'échelle de 1/2 500^e. Ce plan est établi sur le fond topographique et parcellaire du plus ancien



plan cadastral conservé (1800-1830). Une notice est strictement consacrée à l'histoire du développement topographique de la ville ; elle est accompagnée d'une liste des sources et d'une bibliographie sommaire relative à ce développement.

La publication est assurée par fascicules séparés de petits groupes régionaux et sans numérotation de manière à permettre tout système de classement. Pour des raisons de commodité, les premiers fascicules sont consacrés aux villes du Sud-Ouest de la France : Bazas, La Réole, Mont-de-Marsan, Saint-Sever. L'objectif est la publication d'environ 200 fascicules qui s'échelonnent sur une dizaine d'années. (42 x 32/notice, cartes, légendes sous

dossier - Bazas : Prix 38 F - La Réole : Prix 38 F - Mont-de-Marsan : Prix 38 F - Saint-Sever : Prix 38 F).

Manuscrits classiques latins de la bibliothèque vaticane - tome II - 2ème partie - responsable : Elisabeth Pellegrin - Documents, études et répertoires de l'IRHT publiés avec le concours de la bibliothèque vaticane - Collections des fonds : Palatin, Rossi, Ste-Marie Majeure et Urbinat ; pour chaque manuscrit : description, contenu, origine, possesseurs, bibliographie. (21 x 27/718 p. + 24 p. index encarté/relié/24 pl. - Prix : 570 F).

Rappel : T. I - 21 x 27/850 p./relié - Prix : 390 F - T. II - 1ère partie - 21 x 27/532 p./relié - Prix : 490 F.

Les origines du Tiento - Louis Jambou - Maison des pays ibériques/n° 10 - (Tiento : épreuve, expérience, examen, essai, étude). Trois orientations musicales du terme par les compositions et les écrits théoriques (textes hispaniques 1535-1555) : exercice technique pour la Vihuela (Milan 1536) ; démonstration d'une nouvelle tablature (Mudarra 1546) ; étude pratique et instrumentale de la modalité (Mudarra 1546-Fuenllana 1554) ; passage à l'orgue (Bermudo 1555). (21 x 29,7/236 p./broché/1 phot. h.t./22 tabl./9 fig./dont 4 h.t./13 partitions - Prix : 100 F).



Rambu solo - la fumée descend - Le culte des morts chez les Toradja du sud - Jeannine Koubi - Centre de documentation et recherches sur l'Asie du sud-est et le monde insulindien. Ethnologie religieuse illustrant le phénomène social total (août 71-janvier 72, août 73-septembre 75). Rites funéraires, mythes et croyances ; textes inédits de littérature orale ; premiers travaux en français sur ce groupe ethnique. (16 x 24/576 p./broché/73 phot. hors texte/3 cart. hors texte/4 tabl. - Prix : 150 F).

INDEX PAR MATIÈRES

COMPLÉMENT 1982

Mathématiques – Physique de base

45 A la découverte :
la théorie des martingales –
Paul-André Meyer.

45 Dossier : le CNRS
et les composites –
Le PIRMAT –
Claire Dupas.

Physique nucléaire et physique des particules

45 Le point : les collisions
proton-antiproton –
Bernard Aubert.

47 La coopération
internationale :
préparation des
expériences pour
le LEP –
Paul Falk-Vairant.

Sciences physiques pour l'ingénieur

45 Réflexion sur :
la reconnaissance
automatique de la parole –
Jean-Sylvain Liénard,
Joseph-Jean Mariani.

47 Le point : la robotique :
vers une nouvelle
révolution industrielle –
Philippe Colffat.

47 Réflexion sur :
les moyens informatiques,
outils de recherche –
Jacques Boulesteix,
Michel Combarous,
Janine Connes,
Jacques d'Olier,
Paul Falk-Vairant,
Georges Monsonogo,
Jean-Claude Ribes,
Yves-André Rocher,
Gérard Roucairol,
Philippe Salzedo.

48 Le point :
Les moteurs
à combustion interne –
Rotislav Vichnievsky.

Chimie

44 Le point : synthèse
de l'UDMH, carburant
de la fusée Ariane –
Henri Delalu,
Alain Marchand,
Roger Cohen-Adad.

45 A propos : le charbon :
matière première
de substitution au pétrole
et au gaz naturel –
Henri Charcosset.

47 A la recherche :
Clusters et catalyse –
Robert Mutin,
Jean-Marie Basset.

48 A la découverte :
les microémulsions –
Pierre Bothorel.

Sciences de la terre, océan, atmosphère, espace

44 A la découverte :
l'aquifère karstique :
un domaine perméable
original –
Claude Droque.

44 A propos : molécules
interstellaires :
le développement en France
de l'astronomie en ondes
millimétriques –
Alain Baudry.

46 L'océanographie de
demain –
Roger Chesselet.

46 Entretien avec
Lucien Laubier :
l'océan, un domaine d'une
prodigieuse richesse
pour les scientifiques.

46 Le programme
international de forages
profonds (IPOD) –
Jean Aubouin.

46 Des nodules
polymétalliques à
l'hydrothermalisme
sous-marin –
Claude Lalou.

46 La découverte
et l'étude des grands fonds :
de l'accrétion à la
subduction –
Xavier Le Pichon.

46 Les interactions océan-
atmosphère à grande
échelle et le climat –
Jacques Merle.

46 L'évolution paléo-
climatique de l'océan
mondial –
Jean-Claude Duplessy.

46 Les tourbillons
océaniques –
Jean-Claude Gascard.

46 Les récifs coralliens –
Bernard A. Thomassin.

46 La zone côtière –
Jean-Marie Martin.

46 Les stations marines
françaises –
Guy Jacques.

• • •

48 La coopération internationale : les premiers résultats scientifiques obtenus au télescope Canada-France-Hawaï - Roger Cayrol.

Sciences de la vie

45 A la recherche : comment les oiseaux parviennent-ils à coloniser les îles et à y survivre ? - Jacques Blondel.

46 Les réseaux trophiques en milieu abyssal - Claude Monniot.

47 A propos : l'analyse anthracologique, une méthode d'études des flores préhistoriques - Jean-Louis Vernet.

48 La médaille d'or du CNRS : Pierre Joliot.

48 Réflexion sur : les lésions génétiques et leur réparation - Ethel Moustacchi.

Sciences sociales

44 Réflexion sur : le travail, l'emploi et les qualifications - Jean-Jacques Silvestre.

44 A la recherche : une civilisation du palmier à sucre en Asie - Guy Lubelgt.

46 Les ressources de l'océan - Robert Letaconnoux.

46 Les compagnies interocéaniques au temps de Colbert - Etienne Taillemite.

46 Le droit de la mer - Jean-Pierre Queneudec.

Humanités

48 A propos : l'épigraphie grecque et latine - Jean Poulloux.

Programmes interdisciplinaires

44 Dossier : le programme interdisciplinaire de recherche sur les sciences pour l'énergie et les matières premières (PIRSEM) - Le groupe de direction du PIRSEM.

47 Dossier : le programme interdisciplinaire de recherche sur les bases scientifiques des médicaments (PIRMED) - Le groupe de direction du PIRMED.

Divers

Politique de la science

48 Entretien : l'homme et la science, dialogue entre un astrophysicien et un sociologue - Hubert Reeves, Edgar Morin.

Administration de la recherche

44 Editorial : après le colloque - Claude Fréjacques.

48 Editorial : Pierre Papon.

Relations internationales

47 Au delà des frontières : les relations scientifiques

du CNRS avec les pays en développement - Gilbert Gallo.

Relations Industrielles

45 Les relations du CNRS avec l'industrie - François Magné, Georges Chevallier, Guy Pieuchard, Anne de Garidel.

Congrès - Expositions

44 Rencontre : une journée « portes ouvertes » - Janine Rondet.

LA GAZETTE DU C.R.I.N

LETTRE D'INFORMATION DU CNRS AUX INDUSTRIELS



OBJECTIFS

- Informer les industriels sur les travaux des laboratoires du CNRS
- Inviter le lecteur à prendre un contact direct avec le chercheur du CNRS

RESULTATS

- Les flashes sont repris par la presse spécialisée
- Après chaque parution 50 Industriels entrent en contact avec les chercheurs cités

CARACTERISTIQUES

- Parution tous les deux mois
- 6000 abonnés dont 3500 industriels
- Un éditorial sur le CNRS
- 25 flashes sur les recherches qu'il finance

FAITES CONNAITRE VOS TRAVAUX

La gazette du CRIN (Comité des Relations Industrielles du CNRS) est à la disposition de tous les chercheurs du CNRS pour diffuser les résultats de recherche susceptibles d'application dans l'industrie.

Chaque information est synthétisée par la rédaction qui la publie avec mention du nom du chercheur, de son laboratoire, et de son numéro de téléphone.



Je souhaite recevoir la Gazette du CRIN et me tenir informé des relations avec l'industrie.

Nom :

Laboratoire :

Adresse :

A retourner à : **Nelly CRÉTÉ**

Banque des connaissances et des techniques - 43, rue Caumartin, 75436 Paris Cedex 09 - Tél. : 266.93.10

