

Le courrier du CNRS 57

Auteur(s) : CNRS

Les folios

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

56 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 57, 1984-09

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

Consulté le 03/02/2026 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/150>

Copier

Présentation

Date(s)1984-09

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 pages56

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

LE COURRIER DU CNRS

57



Bimestriel - Août-Septembre 1984 - 18 F



CNRS
Département du Siège
Téléphonique
Département du Siège - Bâtiment 19
Téléphonique
Tél. 01 69 82 39 17

LE COURRIER DU 57 CNRS Bimestriel - Août-Septembre 1984

" CNRS 84 IMAGES DE LA RECHERCHE : LA COMMUNICATION "

ALLOCUTION DE MONSIEUR LAURENT FABIUS
MINISTRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
PRONONCEE A L'OCCASION DE LA JOURNEE
NATIONALE DU CNRS LE 7 JUIN 1984

Monsieur le Président,
Monsieur le Directeur général,
Mesdames, Messieurs,

C'est une initiative particulièrement heureuse qu'a prise le CNRS de présenter ainsi à la collectivité nationale ses activités. Il est bon qu'un grand organisme réfléchisse sur lui-même pour faire le point. Vous venez de montrer, Monsieur le Directeur général, que cette réflexion savait être objective.

Cette journée nationale a un but précis : elle est destinée à faire mieux connaître ce que représente l'effort de recherche à l'ensemble des personnes qu'il concerne, dans la sphère politique, dans les mondes économique, social et culturel, dans l'opinion publique en général. Vous avez choisi de conjuguer d'une triple façon le verbe "communiquer" : en communiquant avec le grand public, en le faisant avec l'aide de spécialistes de la communication, en retenant précisément comme thème d'échange celui de la communication. Je souhaite que l'exemple soit largement suivi, et que de telles présentations publiques deviennent désormais une habitude, non seulement pour les organismes de recherche, mais aussi pour les programmes de développement technologique et pour les programmes mobilisateurs.

Mesdames et Messieurs, trois ans après le changement de majorité, deux ans après la publication de la Loi d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France, un an après que j'ai moi-même pris mes fonctions succédant à un ami auquel je tiens à rendre hommage, je souhaite tracer ici, brièvement, un bilan de ce qui a commencé d'être réalisé dans le domaine de la recherche et dégager pour le futur des orientations.

, à
la
le
ont
de

lut
les
qui
f :
la

ous
urs
la
ans
tte
ue.
us,
ays
Ce
evé
ce,
la
ays
rs,
ous
mez
uté
la

Le temps de la recherche est un temps long. Et cependant, en trois ans, trois séries d'avancées importantes ont été enregistrées qui traduisent ce choix fondamental : la recherche scientifique est prioritaire pour la nation. La première avancée est quantitative. Pour développer la recherche, l'argent n'est pas tout, et de loin. Mais sans moyens financiers suffisants, l'effort tourne court ; surtout dans un domaine où l'évolution des techniques renchérit en permanence les coûts. Indiscutablement, l'effort consacré à la recherche par notre pays a progressé. La dépense intérieure pour la recherche et le développement (DIRD) représentait 1,8 % de notre produit intérieur brut (PIB) en 1980. Fin 1983, le pourcentage était déjà de 2,15 %. Il doit dépasser 2,20 % en 1984. Sans doute ce pourcentage est-il inférieur à l'objectif fixé pour 1985 dans la Loi d'orientation et de programmation (LOP), 2,5 %. Et il faut la reconnaître honnêtement. Les scientifiques demandent avec raison vérité et transparence des chiffres. Sans doute, dans le même temps, certains de nos grands concurrents ont-ils accentué leur propre action : la République Fédérale Allemande et le Japon ont dépassé les 2,5 % fin 1983 et les Etats-Unis 2,7 %. Cependant l'effort très réel fait par la France nous a permis de ne pas décrocher par rapport à eux et de dépasser le chiffre le plus élevé jamais atteint auparavant - c'était au temps du général de Gaulle qui, comme le Gouvernement du Front Populaire puis Pierre Mendès France, avait compris en son temps qu'il n'y a pas de grand pays sans une grande recherche.

La seconde avancée est institutionnelle. Le Conseil supérieur de la recherche et de la technologie (CSRT) créé il y a deux ans fournit un travail fructueux auquel je souhaite rendre hommage. Les dispositions institutionnelles prévues dans la LOP sont dans leur quasi totalité réalisées ou en voie de l'être. Les instances régionales se mettent en place ; le Parlement s'est doté d'un Office d'évaluation des choix scientifiques et technologiques ; les principaux établissements publics administratifs (EPA) seront avant la fin de l'année tous devenus des établissements publics scientifiques et techniques (EPST) ; à cette date les nouveaux statuts des personnels de recherche seront acquis ; les groupements d'intérêt public (GIP) qui possèdent déjà leur structure juridique auront rôdé leurs modalités de fonctionnement. Des représentants du personnel et des personnalités représentatives des grandes forces sociales siègent dans les diverses instances. Mais il faut bien voir que ces réformes ne sont que les moyens de mettre en oeuvre des objectifs. Il est encore trop tôt pour dresser sur ce point un bilan. Tout au plus peut-on noter que les modalités des GIP devront être expliquées et allégées pour que ceux-ci soient davantage utilisés. De même, les nouveaux statuts des personnels devront être rapidement promulgués pour qu'une mobilité efficace vers le secteur économique soit développée. Il s'agit donc d'appliquer effectivement ces réformes plutôt que d'en imaginer aussitôt de nouvelles. Il s'agit aussi d'utiliser notre forte tradition scientifique et tout notre potentiel. A cet égard, les dispositions récentes prises en faveur des brevets devraient permettre d'améliorer sensiblement la situation - cela commence à être déjà le cas. D'autre part, à la suite du rapport que

et des biotechnologies. En septembre prochain aura lieu à Paris, à l'initiative de la France, la première conférence des ministres de la recherche des vingt et un pays membres du Conseil de l'Europe. Sur le plan des grands équipements scientifiques européens, des choix devront être faits dans les prochains mois, qui nous engageront pour de nombreuses années.

Dans le domaine spatial, la coopération européenne, qui n'exclut nullement la coopération avec d'autres et en particulier les Etats-Unis, devra être fortement prolongée : des décisions pour ce qui concerne la France seront prises dans les semaines qui viennent. Bref : la coopération scientifique doit être une base essentielle de la construction européenne.

Mesdames et Messieurs, voilà quelques-uns des défis majeurs que nous devons relever. Ils ne seront mobilisateurs que si tous les acteurs politiques, économiques, culturels et sociaux, ayant compris que la recherche est notre point de rencontre avec le futur font passer dans la population un message, que je ressens fortement dans cette assemblée : le développement de la recherche est une priorité absolue. Ce choix en faveur de la recherche n'est pas seulement économique, culturel et social, fondé sur la certitude que la ressource d'un pays comme la France est son intelligence, sa formation, sa créativité. Ce choix renvoie à une conviction plus profonde, politique au sens élevé du terme : la confiance en l'homme, dans sa capacité de connaissance, dans la contribution possible de cette connaissance au progrès, dans la volonté de maîtriser pacifiquement le futur. Je savais que le pays pouvait compter sur le CNRS, sur ses dirigeants, sur ses chercheurs, sur ses techniciens et ses administratifs, et plus largement sur tous les scientifiques que comprend notre nation. Vous le confirmez aujourd'hui. Je tiens à rendre ici hommage au travail de la communauté scientifique. La confiance de la France dans sa recherche, c'est la confiance de la France dans son avenir.

LE COURRIER DU CNRS
Supplément au n° 57 Août-Sept 1984
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
15, quai A. France, 75700 Paris. Tél 555 92 25
Dir. de la pub. : Coëry Delacôte, CPAD 303,
ISBN 2-222-03534-1, ISSN 0153-985 X. © CNRS.



CNRS
de la Délégation aux archives
1, avenue du Professeur Michel-Ange
Terrasse
91198 GIF-sur-Yvette

Page 1 de couverture :

Poste des blocs de la façade nord du IX^e pylône de Karnak (© Photothèque CNRS-Cliché Ph. Phally). (Voir article p. 31).

Page 2 de couverture :

Schéma général montrant l'intégration de la distribution de facteurs chimiques et biologiques dans le système de circulation générale du détroit de Gibraltar et des parages annexes atlantique et méditerranéen :

1. Les eaux méditerranéennes, lourdes en raison de leur salinité élevée, s'écoulent dans l'Atlantique en plongeant le long du talus continental, pour s'étaler ensuite vers 1 000 mètres de profondeur en une nappe repérable sur de longues distances de la moitié nord de cet océan. L'écoulement au seuil se produit après une remontée à partir d'une origine profonde encore mal connue.
2. L'eau atlantique légère, à faible salinité, pénètre dans le bassin avec à sa base les eaux du minimum de salinité riches en sels nutritifs, en raison de leur origine subsuperficielle (courant descendant à partir de 300 mètres de profondeur).
3. Le fort cisaillement à l'interface des eaux entrantes et sortantes provoque au niveau du seuil un puissant mélange vertical turbulent qui a pour conséquence une injection jusqu'en surface de sels nutritifs d'origine atlantique et méditerranéenne.
4. Sur le flanc nord du tourbillon anticyclonique de la mer d'Alboran, près des côtes espagnoles, un intense upwelling, responsable d'un apport nutritif supplémentaire, entretient une forte productivité primaire (zone de chlorophylle).
5. Cette zone de chlorophylle alimente en profondeur, par sédimentation des particules organiques, une zone de régénération mise en évidence par un maximum de sels nutritifs et une couche de minimum d'oxygène, témoins d'une forte minéralisation.
6. (Voir article p. 17).

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole-France, 75700 Paris. Tél. : 555.92.25

Directeur de la publication : Godry Delacôte - **Secrétaire de rédaction :** Véronique Bronsoler-Condé - **La vie des laboratoires :** Véronique Bronsoler-Condé - **Entretiens :** Monique Mounier

Comité de rédaction : Jean Bourdon, Georges Chapouthier, Robert Clarke, Michel Crozon, Bernard Dornay, Catherine Fuchs, Philippe Genêt, Elisabeth Gordon, James Hieblot, Daniel Jacquot, Claudine Laurent, Jean Léca, Jacqueline Mirabel, Janine Rondet, Dominique Simonnet, Jean Tavlati, Hervé Théry, Maryvonne Tisser

Membres correspondants : Nadine Chalem-Gouarin, Odrard Lilamand, Jean-Pierre Petit

Abonnement et vente au numéro, le numéro : 18 F. Abonnement annuel : 65 F - 75 F pour l'étranger (voir bulletin d'abonnement pp. 27-30 pour l'année 1984). Tout changement d'adresse doit être signalé au secrétariat de rédaction. Revue bimestrielle comportant cinq numéros par an. Nous remercions les auteurs et les organismes qui ont participé à la rédaction de ce numéro. Les intertitres et les chapéaux 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, 12-14, Rond-point des Champs-Élysées, 75008 Paris. Réalisation : Roto-France Impression, boulevard de Beaubourg, Emeraillville, 77200 Torcy. C.P.A.D. 303 - ISBN 2-222-03534-1 - ISSN 0153-985 X. © Centre national de la recherche scientifique.

Supplément : allocution de Monsieur Fabius
prononcée à l'occasion de la journée
nationale du CNRS.

CNRS
Département du Siège
Département des Sciences de la Terre
Département des Sciences de l'Univers
Tél : 01 69 82 39 17

LE COURRIER DU
57 CNRS

Bimestriel - Août-Septembre 1984

Sommaire

	4	Le CNRS et la recherche universitaire	Pierre Papon
Réflexion sur	6	A propos d'un séminaire sur le devenir du CNRS	La Direction Générale
A la découverte	10	Océanographie du détroit de Gibraltar et des parages annexes	Hans Joachim Minas, Bernard Coste, Monique Minas
A la recherche	18	Rythmes des sécrétions hormonales	Ivan Assenmacher
La coopération internationale	31	Un chantier de Karnak	Jean-Claude Golvin, Jean Larronde, Eric Pulseux
La coopération internationale	37	L'Europe et la France à l'heure du télescope spatial	Alfred Vidal-Madjar
A propos	42	Détermination de la distribution verticale de l'ozone dans l'atmosphère	Nicole Monnanteuill
Au-delà des frontières	46	Les débuts de l'imprimerie en Extrême-Orient	Jean-Pierre Drège, Mitchiko Ishigami-Iagolnitzer
Le point	50	Le delta sous-marin profond du Rhône et son canyon afférent	Gilbert Bellaiche
Bibliographie	53	Les Editions du CNRS	

Le CNRS et la recherche universitaire

La Loi d'Orientation et de Programmation, d'une part, et la Loi sur l'Enseignement Supérieur, d'autre part, ont fixé clairement les missions et les rôles respectifs des grands organismes et des établissements d'enseignement supérieur.

Il était donc nécessaire, pour le CNRS et ces établissements, en fonction des objectifs de chacun, de resituer l'état de leurs relations et au besoin de les clarifier.

Le débat du Conseil Scientifique du CNRS des 1^{er} et 2 février, consacré à ce sujet, a permis de faire le point.

Et tout d'abord de dresser le bilan de la politique d'association lancée en 1965 par le CNRS. Celui-ci est positif. On peut dire que la coopération entre le CNRS et les établissements d'Enseignement Supérieur a facilité largement l'accomplissement de leurs missions respectives. La procédure des formations associées initiée par le CNRS a contribué incontestablement à l'élargissement du potentiel de recherche tandis que, par l'apport de ses étudiants, les Universités l'irriguaient d'un sang neuf. Actuellement sur 1 300 unités de recherche, 950 sont associées et sont pour la plupart localisées en milieu universitaire. Leur nombre a très rapidement augmenté puisqu'il n'en existait que 800 en 1979.

Mais cette augmentation rapide n'est pas sans danger pour l'organisme. Le nombre des chercheurs « équivalent temps plein » (Ne) étant de ce fait en accroissement très sensible (de 20 000 en 1979 à 23 500 en 1983), et malgré une croissance en volume du budget du centre depuis plusieurs années, le crédit attribué aux laboratoires par chercheur n'a pas augmenté, alors que le coût de la recherche ne cesse de croître dans toutes les disciplines.

Le CNRS, qui se trouve confronté à toute une série d'exigences — lancer des thématiques nouvelles dans des domaines de pointe ou dans des domaines où la recherche n'est pas suffisamment soutenue, développer des approches pluridisciplinaires qui requièrent une collaboration plus soutenue entre équipes, mettre à la disposition des laboratoires des moyens en équipements mi-lourds et en calcul, indispensables pour faire face à la compétition internationale et les rééquilibrer sur tout le territoire — est donc conduit à pratiquer des choix, d'une part, dans sa politique à l'égard de ses unités propres, et, d'autre part, à l'égard de la recherche universitaire.

Il est bien clair que le volume global du soutien du CNRS à la recherche universitaire sera maintenu, mais le renouvellement ou la création d'unités relevant des établissements universitaires devront répondre à des critères précis. Une meilleure définition de la procédure d'évaluation et une consultation — a priori — des universités, sur les associations potentielles et les désassociations éventuelles, apportera une nouvelle souplesse à ces procédures. Ces critères déjà discutés et approuvés par le Comité National de la Recherche Scientifique seront appliqués sans réserve dès la session d'automne 1984. Les unités associables doivent désormais justifier :

- de leur excellence scientifique, condition nécessaire, mais non suffisante ;
- d'une orientation scientifique qui doit s'insérer dans les grandes orientations de la politique scientifique du CNRS ;
- de leur possibilité d'atteindre la taille critique pour être compétitives, car l'évolution de la recherche et des techniques requiert un effort de concentration de tous les moyens qui interdit une dispersion des efforts ;
- de leur intégration dans des centres d'excellence régionaux répartis dans chaque discipline. Les choix de ces implantations privilégiées seront déterminés, dans la mesure du possible, avec tous les partenaires concernés : Régions, Universités, autres organismes et quelquefois des entreprises.

Mais c'est aussi la mission du CNRS d'aider une recherche universitaire de qualité qui, selon ces critères, n'a pas vocation à s'intégrer dans des structures du CNRS. Il peut être utile, en effet, que le CNRS ait épisodiquement un lien temporaire avec des équipes universitaires de petite taille menant des travaux de qualité et qui n'auraient pas d'affiliation structurelle ou thématique avec le Centre. Il peut s'agir, dans certains cas, d'une

recherche « d'érudition » menée par un universitaire, dans d'autres cas d'une recherche entreprise par une petite équipe de qualité qui ne pourrait cependant pas satisfaire aux critères d'association.

Le premier peut être aidé par l'attribution d'un poste d'accueil. La seconde peut être bénéficiaire d'un « contrat libre » (formule qui se substitue à l'aide individuelle) pour deux ou trois ans, renouvelable, sans attribution de postes ITA. Ce contrat permettrait de financer un programme d'une équipe universitaire dont la thématique est intéressante, mais ne coïncide pas avec les axes de la politique du Centre. Enfin, la procédure des jeunes équipes, toujours maintenue, demeure un moyen de soutenir à plus long terme des équipes universitaires qui se seront préparées — pour quelques-unes d'entre elles — à réunir les potentialités pour être associées au CNRS dans les meilleures conditions possibles.

Cette politique de restructuration ne peut être mise en œuvre qu'en concertation étroite avec la Direction de la recherche du Ministère de l'Éducation Nationale et les responsables des universités qui doivent afficher leurs priorités. Cette nécessité est apparue tout aussi essentielle à M. Decomps, Directeur de la recherche du Ministère de l'Éducation Nationale, qui affirmait lors du Conseil scientifique du CNRS que les propositions de coopérations nouvelles définies par le CNRS constitueraient les bases « d'une nouvelle politique tendue vers une meilleure efficacité globale, une meilleure distribution sur le territoire national, une meilleure articulation à la politique propre de chaque établissement ».

Dans cette perspective commune, un protocole d'accord a été signé entre le Ministère de l'Éducation Nationale et le CNRS le 13 janvier 1984. Avec les Universités, des conventions globales organiseront cette collaboration sur un plan général. Des conventions particulières fixeront plus précisément les responsabilités du CNRS et de chaque établissement à l'égard de chaque unité associée. La première convention globale entre le CNRS et une Université a été signée le 22 mars 1984, avec l'Université Louis Pasteur de Strasbourg. D'autres sont en cours de discussion.

D'autres points d'accords sont apparus, notamment sur la nécessité de favoriser des collaborations entre équipes de façon souple et de briser l'isolement de certaines d'entre elles, en particulier par la création au CNRS de nouvelles structures fédératives tels des « Instituts pluridisciplinaires ». Plusieurs projets sont déjà à l'étude. Nécessité également d'une réflexion commune sur la politique qu'il convient de mettre en œuvre, en concertation avec les Ministères de tutelle, pour la recherche dans les Grandes Ecoles et dans certaines écoles d'ingénieurs en particulier. 60 % des diplômés scientifiques sortent des écoles d'ingénieurs alors que nombre d'entre elles n'ont pas une activité de recherche de niveau international. Ceci est préjudiciable à la formation de haut niveau que doivent recevoir les futurs diplômés et aussi au lancement d'une politique de transfert des connaissances vers l'industrie. Un conseiller vient d'être spécialement nommé à la Direction Générale du CNRS pour suivre ces problèmes qui s'inscrivent dans une démarche plus large du CNRS de participer aux tâches de formation par la recherche, le chef de file restant l'Université.

Enfin, un consensus s'est tout naturellement établi sur l'obligation d'une évaluation rigoureuse appliquée par le CNRS pour parvenir à une appréciation exacte de l'activité scientifique des équipes universitaires associées, évaluation qui est la base même de toute politique scientifique.



Pierre PAPON
Directeur Général du CNRS

A propos d'un séminaire sur le devenir du CNRS

Tenter de cerner les contours de ce que serait le CNRS dans les années 1990 : tâche de prospective difficile mais impérieuse si l'on veut que le CNRS puisse favoriser les approches pluridisciplinaires dans les domaines d'avenir.

Des membres de la direction du CNRS
ont mené une réflexion sur ce sujet.

L'idée d'une réflexion sur le devenir du CNRS est née fin 1982. Elle s'est concrétisée par la tenue d'un séminaire de deux jours à Amboise les 16 et 17 septembre 1983.

L'ambition de départ était de projeter l'organisme à dix ans et, sur la base d'extrapolations et d'anticipations, de tenter de cerner les contours de ce qu'il serait dans les années 1990. Les thèmes qui ont servi de trame à la préparation de ce séminaire ont été regroupés dans le tableau ci-contre.

Avant de retracer le contenu des débats que ces thèmes ont suscités, il importe de prévenir le lecteur que cette expérience a mis en lumière les difficultés de toute prospective s'appliquant à un organisme comme le CNRS dont l'activité principale, la recherche de base, est par essence difficilement prévisible.

Dans les développements qui suivent, on ne trouvera pas d'aperçus futuristes sur l'évolution des disciplines scientifiques dans les années qui viennent. Un tel exercice nécessite en effet la constitution de groupes de prospective spécifiques par discipline disposant des moyens et du temps nécessaires à de telles réflexions.

Sur les structures de l'organisme et les rapports qu'il entretient avec son milieu, l'analyse s'est révélée plus aisée.

Toutefois, s'il faut tirer une leçon de ce séminaire, force est de reconnaître qu'il n'est pas de saine prévision sans un bon état des lieux préalable. De ce point de vue, Amboise n'a pas déçu dans la mesure où il a

permis de mettre en évidence les forces et les faiblesses de notre Centre, sans complaisance ni morosité.

Les quelques développements qui suivent tentent de restituer le fond du débat à défaut d'en suggérer la richesse. Au cours des deux journées qu'ils ont passées à réfléchir ensemble, les membres de la direction du CNRS ont examiné les questions suivantes :

Avons-nous les moyens de concentrer nos efforts pour promouvoir des actions nouvelles ?

Notre aptitude à lancer des opérations nouvelles ne semble pas mauvaise, mais nous avons des difficultés à les faire évoluer lorsqu'elles ont été lancées. C'est la vocation propre du CNRS de détecter, de soutenir des percées stratégiques décisives. La prospective, au niveau d'une discipline n'est déjà pas un exercice facile, mais que dire lorsque l'organisme est lui-même pluridisciplinaire. Quels indices nous permettent d'orienter la réflexion ? On peut recenser :

- la demande sociale,
- les tendances affichées à l'étranger,
- l'observation des "modes" qui ne doit pas être écartée sans examen mais maniée avec précaution ; elle peut « révéler », non guider.

Les tendances affichées à l'étranger sont certes des indicateurs précieux, mais à trop les suivre on n'obtiendra au mieux qu'un effet

retardé de reproduction. Reste la demande sociale qui est très difficile à évaluer à un horizon de dix ans. Nous nous devons certes d'intégrer la demande sociale dans notre politique scientifique mais à condition d'admettre que son décryptage est délicat. (Répondre à la demande sociale c'est aussi savoir refuser).

Cette demande sociale ne s'adresse d'ailleurs pas qu'au CNRS et si celui-ci doit y répondre, qu'il prenne garde à le faire de manière pertinente sans se substituer aux autres acteurs de l'économie nationale ; il faut être attentif à ne pas répondre à une demande sociale pour laquelle nous n'avons pas les éléments.

Le CNRS est-il suffisamment prospectif ?

La prospective qui doit permettre de détecter les thèmes moteurs de la recherche, les disciplines carrefours, doit aussi s'appuyer sur l'histoire (qui se répète quelquefois) et s'interroger sur les raisons de certains blocages qui ont, dans le passé, entravé notre accession à la maîtrise et à la valorisation des technologies de pointe. Les Sciences humaines et sociales doivent aider à les identifier.

Le CNRS est certes, avant tout, un organisme de recherche fondamentale mais il a, comme tout organisme public, le devoir de mettre son action au service de la collectivité. Il a désormais une mission de valorisa-



Questions	Thèmes
Quelles recherches effectuerons-nous en 1990 ? Pour répondre à cette question, il faut examiner les grandes tendances qui ont animé la recherche depuis le début des années 70 et tenter, d'une part, d'en suivre la progression et, d'autre part, de déceler quels facteurs orienteront la recherche dans les années qui viennent. Cela revient à déceler les grandes tendances sectorielles et le rôle des grandes filières technologiques et de la demande sociale dans l'orientation de la recherche.	N° 1 : Les grandes tendances de la Recherche 80-90
Quel sera le poids et la nature des grands équipements que nous utiliserons alors ? Comment modifieront-ils la manière de « faire la recherche » ?	N° 2 : « Le poids des grands équipements scientifiques dans la Recherche ».
Quelle sera l'incidence de toutes ces forces à l'œuvre sur les structures et l'organisation du CNRS ? Comment adapter la politique de la Recherche scientifique aux nécessités de cette époque ? Quelles relations le CNRS entretiendra-t-il avec son milieu ? (Universitaires, grandes écoles, autres organismes de recherche, les régions, etc.).	N° 3 : « La politique de la Recherche et la gestion scientifique dans le CNRS en 1990 ».
Peut-on tracer les courbes d'effectifs jusqu'en 2000 et percevoir ainsi les besoins en personnels de l'organisme à l'horizon 90 : les qualifications dont nous aurons besoin, les reconversions à prévoir, les recrutements à opérer ?	N° 4 : « La planification des effectifs ».

tion des recherches et l'idée naît alors d'une structure qui lui permette de la remplir vis-à-vis de la collectivité nationale. Quels programmes de Recherche sont indispensables pour répondre à une demande identifiée ? Quelle structure pour l'organisme ? Il nous faut procéder à une approche scientifique à long terme d'un certain nombre de problèmes technologiques ou sociaux... Ce débat sur les structures est repris dans le cadre du thème n° 3 du séminaire.

Très rapidement la conclusion s'imposait que nous devions à tout prix renforcer la préparation de nos décisions par une réflexion prospective et notamment :

- Lancer des groupes de travail avec un éclairage international.

- Prendre en compte la demande sociale, constituer des groupes de travail prospectifs qui élaboreraient des propositions.

- Créer des groupes ad-hoc ou « task-force », à l'initiative des Directions scientifiques ou de la Direction générale, pour les opérations transverses, avec un responsable temporaire à qui l'on confierait des moyens pour la mise en œuvre des décisions prises.

- Conserver un schéma directeur à trois ans, indiquant nos grandes orientations, veiller à ce qu'il intègre davantage les résultats de nos groupes de prospective, le compléter par un document de prospective, à 7/10 ans, sur les grands thèmes scientifiques qui vont modifier, polariser notre effort de recherche.

*L'utilisation des grands équipements est-elle neutre ?
En quoi modifient-ils la manière de « faire la recherche » ?*

Monsieur Yoccoz, spécialiste du sujet, avait particulièrement préparé ce point du débat. Il convient de l'écouter avant d'en venir aux conclusions que ses propos ont suscitées.

« ... Les grands équipements sont une pièce importante d'une politique scientifique et leur poids doit s'analyser discipline par discipline... Sur le plan général, un grand instrument a pour effet de cristalliser une communauté, avec un effacement relatif des notions de laboratoires, d'organismes, voire de pays. Il est maintenant possible de parler d'une communauté européenne de physique des particules. Il y a souvent

Quelques retombées d'Amboise

Constitution de groupes de prospective et de réflexion sur les sujets suivants :

- astrophysique et physique des particules (constitution d'une task-force) ;
- chimie et biologie, prélude à un rapprochement de ces disciplines ;
- chimie, biologie et informatique ;
- neurosciences et informatique.

Lancement de nouvelles actions interdisciplinaires, ainsi en histoire des sciences et des techniques ; création du PIRTEM.

Action favorisant le décloisonnement des structures :

- par la possibilité de créer des configurations modulaires transitoires au sein du Comité National pour juger d'un problème « inter-sections » ;
- par la création d'Instituts pluridisciplinaires réunissant des équipes autrefois dispersées sur une thématique commune ;
- par des projets de laboratoires mixtes avec l'Industrie ou d'autres organismes de Recherche ;
- par la mise en œuvre d'un « Audit » de l'administration centrale.

Renforcement et simplification des relations avec les Universités par la signature d'un accord-cadre avec le MEN qui aménage les relations que le CNRS entretient à un triple niveau :

- la direction de la Recherche ;
 - les établissements d'enseignement supérieur : Universités, grands établissements, Ecoles ;
 - les unités que ceux-ci regroupent (propres ou associées au CNRS) ;
- et par la définition de nouveaux critères d'association.

plus d'affinités entre deux chercheurs travaillant dans le même endroit du CERN, appartenant à deux laboratoires différents qu'entre deux chercheurs du même laboratoire travaillant à deux expériences différentes. Dans ce cas, extrême peut-être, mais néanmoins significatif, on observe un affaiblissement de la notion de laboratoire...

Il est à noter que l'existence de ces grands instruments ne signifie pas nécessairement une politique de concentration. Paradoxalement, ils permettent une dissémination plus large sur le territoire, d'activités qui, si elles ne sont que partielles, n'en sont pas moins significatives. Faire de la physique nucléaire à Nantes était inconcevable en 1970. Au GANIL, pourquoi pas une équipe nantaise ? De même, tous les observatoires de France et de Navarre (quel que soit le climat qu'ils subissent) sont à égalité par rapport au télescope d'Hawaii, et l'Il ou Lure (et leurs structures ouvertes) ont redonné beaucoup de chances à de petites équipes provinciales, qu'il n'aurait pas été possible d'équiper à ce niveau.

Création de fortes communautés, redistribution des cartes sur le plan national, tels sont les deux caractères les plus marquants d'un grand instrument. La vie « individuelle » du chercheur en est profondément modifiée, en ce sens qu'elle devient beaucoup moins individuelle...

Reprises dans la discussion qui s'ensuivit, ces conclusions devinrent celles de l'ensemble des participants du séminaire :

— Un grand équipement change fréquemment la « sociologie » d'une discipline ; il structure la communauté scientifique qui fait appel à lui.

— Il ne conduit pas forcément à des découvertes importantes mais permet d'acquérir des données dans un rapport de temps sans aucune commune mesure avec ce qui se faisait précédemment. Or dans les dix ans qui viennent, le facteur temps va prendre une importance considérable. Le grand équipement ne permet pas toujours d'opérer des découvertes « primitives » mais il modifie la manière d'y parvenir.

— La nécessité de recourir à la coopération nationale devient évidente pour les grands équipements très coûteux.

— Il faut enfin distinguer grand équipement et grand programme, un programme est plus adaptatif.

Le CNRS dans dix ans

A quoi ressemblera l'organisme CNRS dans dix ans ? Comment s'insérera-t-il dans l'effort de recherche français et international ? Quelles seront les structures de décision, les relais qu'elles nécessiteront ? Avant

d'aborder ces questions, il était important de vérifier où nous en étions. On observe en effet un certain nombre de facteurs de changement dans le CNRS de 1984 :

— par la prise en compte de la dimension régionale ;

— par la liaison de plus en plus étroite entre recherche et développement technologique.

Il est alors possible de faire deux scénarios :

— un organisme extérieur récupère la Recherche « pointue » ;

— dans un certain nombre de domaines, le CNRS se structure pour admettre une dose relativement importante de recherche finalisée dans des secteurs vitaux pour l'organisation nationale.

Il est nécessaire pour mener des actions finalisées d'avoir de « grands programmes ». Certains peuvent être des PIR mais une procédure plus souple consisterait simplement à désigner des groupes de travail avec un responsable nommé par les directeurs scientifiques concernés pour assurer la mise en œuvre d'une option et son suivi avec bien entendu les moyens nécessaires. Une politique volontariste des départements implique un certain nombre de structures légères et temporaires. Ces groupes ou « task force » peuvent devenir ou non des PIR.

Un PIR est un grand programme volontariste pour structurer une communauté scientifique sur un nombre limité de formations ; celui-ci manque son but lorsqu'il s'appuie sur une constellation de formations. Au passage on note que le « I » de PIR va de « intégré » à « interdisciplinaire ».

Comment doivent évoluer les rapports du CNRS avec les Universités ?

Le CNRS se nourrit de l'Université et, bien sûr, réciproquement. Cependant on constate que les motivations de l'une et de l'autre, si elles se recoupent, ne sont pas identiques ; l'accord s'est fait cependant pour admettre que les relations avec l'Université sont positives :

— Elles ont permis d'élargir le potentiel de Recherche.

— Par ses étudiants, l'Université irrigue le CNRS d'un sang neuf.

— L'enseignement est le véhicule des idées nouvelles.

Au passage, toutefois, quelques discordances se font entendre :

— Les universitaires ont encore souvent du mal à concevoir la Recherche comme une entreprise collective qui requiert une organisation.

— Apposer trop généreusement l'étiquette « CNRS » c'est courir le risque de la balkanisation et du saupoudrage.

— L'Université n'a pas le même souci de planifier sa recherche à long terme. Ses choix traduisent moins qu'au CNRS une volonté offensive de développer certains secteurs.

Malgré cela, la conclusion de ce débat fut que les relations avec l'Université devaient rester privilégiées. Le mot symbiose fut même prononcé, et dans sa pleine acception : « association durable et réciproquement profitable entre deux ou plusieurs êtres vivants ».

Simplement, il convient de veiller à ce que ces relations soient désormais mieux structurées autour, éventuellement, de nouveaux modes d'intervention tels des Instituts pluridisciplinaires, regroupant des équipes sans distinction d'origine, sur une thématique « pointue » et de tenir davantage compte de la spécificité de l'une et de l'autre dans la répartition des champs de recherche. Ainsi, les disciplines d'érudition correspondant aux recherches qui se développent autour des enseignements de langue, de littérature, d'histoire ou de philosophie parce qu'elles sont liées à un cursus universitaire sont moins à l'aise dans une structure de type CNRS. En revanche, le CNRS est mieux armé pour opérer une percée scientifique sur un thème nécessitant le rassemblement d'un potentiel de recherche conséquent.

Quel rôle pour les laboratoires propres ?

L'inquiétude à leur égard est manifeste : ont-ils des moyens à la hauteur des objectifs qu'on leur assigne ? Le pessimisme qui l'emporta fut de ceux qui mobilisent. Certes, la santé de certains LP n'est pas florissante. Mais au-delà même du problème des moyens, il y a celui du pouvoir ; de quels poids est l'avis d'un responsable de laboratoire sur certains aspects essentiels de la politique de son unité : recrutements, promotions... ?

Parce que cette question impor-

tante tenait mal dans les limites des débats d'Amboise, elle fut inscrite en tête de la liste de celles qui appelaient un prochain débat en comité de direction.

Quant à l'organisation interne du Centre, sa structure hiérarchique, ses circuits de décision, le poids respectif des départements ?...

L'on fit observer que l'on ne comptait pas moins de vingt-cinq lignes hiérarchiques remontant directement et sans intercession au directeur général induisant un reflux des problèmes vers des hauteurs que leur complexité n'expliquait pas toujours. Sur un autre plan, les vertus d'une Administration en facteur commun furent opposées à la souplesse de structures départementales autonomes. Mais tout le monde s'accorda sur la nécessité de s'appuyer sur un corps de cadres de qualité, dûment formés et bien mobiles.

D'Amboise sortit l'idée qu'il fallait que l'Administration procédât à une véritable introspection. Ce projet fut baptisé « Audit », celui-ci va déposer très prochainement ses conclusions.

La question du poids respectif des départements était d'un autre ordre, plus contingent des décisions de politique scientifique. L'on ne manqua cependant pas de constater que celles-ci n'avaient pas produit de déplacement notable au fil du temps et qu'il était vain de vouloir peser sur l'équilibre respectif des départements à l'aide de mesures budgétaires ; le mouvement ne s'opère jamais aussi bien qu'au gré de déplacements de frontières entre disciplines, de restructurations ou de regroupements.

La conclusion d'ensemble de ce débat fut que le pouvoir scientifique et la fonction administrative doivent travailler ensemble, la coordination et l'imbrication des deux étant fonction de la qualité des interlocuteurs.

Les débats du troisième thème ne pouvaient être complets sans que l'on évoquât la place du Comité National et le rôle qu'il continuerait de jouer. « Unique ! », « outil irremplaçable pour l'évaluation ! » furent les mots prononcés. Son rôle d'explicitation de la politique scientifique devait être amplifié, son

découpage assoupli pour coller à l'évolution des disciplines.

Le dernier mot enfin revint à la politique régionale et au souci que l'on devait avoir de répondre aux ambitions qu'affichent les régions de développer la recherche.

Quels hommes pour quel CNRS en 1990 ?

L'e passage Chargé/Maître restera bien le nœud fondamental de la politique des personnels chercheurs. Le blocage à ce niveau gêne les recrutements. On peut regretter à ce propos le faible essaimage des chercheurs dans l'industrie et l'absence d'une politique incitative à ce niveau. Dans une hypothèse de croissance ralentie des effectifs, comment assurer le renouvellement des hommes et des thèmes, sinon en tentant d'irriguer l'ensemble de l'économie par un flux de chercheurs désireux de mettre leur expérience à profit. Quelle meilleure parade peut-on opposer au défi de la valorisation ?

Pour les ITA, les années qui viennent verront l'émergence de nouvelles qualifications. Des redéploiements seront nécessaires, des opportunités à saisir.

On se sépara sur ce dernier débat... S'il faut tirer une conclusion d'ensemble, l'on dira, avec le recul du temps, que sans bouleverser la vision globale de notre organisme, ce séminaire a permis d'assurer l'assise des réflexions qui se déroulent maintenant en vue de prévoir et de maîtriser le futur de notre maison.

A Amboise, le futur a fait irruption dans les modes de pensée du CNRS. C'est une habitude dont il ne devra plus se défaire. La Recherche n'est-elle pas la première des activités prospectives ?

La Direction générale

Océanographie du détroit de Gibraltar et des parages annexes

L'océanographie, science éminemment composite,
est au carrefour de plusieurs disciplines :
physique, chimie et biologie notamment.
Cette étude du détroit de Gibraltar en donne un exemple.

Hans Joachim MINAS. Bernard COSTE. Monique MINAS

Il existe dans la circulation océanique certains points stratégiques dont l'importance n'a pas échappé à l'attention des océanographes. Le détroit de Gibraltar constitue un de ces hauts lieux de l'étude de la circulation, entreprise depuis longtemps par bon nombre d'océanographes physiiciens de la communauté scientifique internationale. Curiosité purement scientifique ? certes ; mais dans le cas de Gibraltar, des intérêts géopolitiques et militaires ont également motivé de nombreuses recherches menées par les services hydrographiques de la marine nationale de tel ou tel pays concerné.

Sans la connaissance approfondie du régime hydrologique des échanges à travers le détroit, ni l'hydrologie générale de la Méditerranée ni celle, surtout profonde, de l'Atlantique nord ne pourraient être comprises. Faut-il rappeler que la mer Méditerranée, pour des raisons climatiques, est un vaste bassin d'évaporation greffé sur l'océan Atlantique, à qui elle injecte une eau fortement salée détectable en profondeur

(vers environ 1 000 mètres) sur la majeure partie de la moitié nord de cet océan. Certains considèrent actuellement que sans ce léger surplus de salinité dû à l'eau méditerranéenne, la formation par convection thermohaline* des eaux profondes dans les zones sources (mer de Norvège), n'atteindrait pas l'ampleur actuelle, et que toute la circulation des eaux profondes atlantiques s'en trouverait affectée.

Interdépendance entre fertilité et circulation des eaux d'un bassin

Le sens général de circulation à l'intérieur d'un bassin et à travers le détroit qui le relie à l'océan ouvert dépend essentiellement du régime climatique. L'étudiant en océanographie apprend que dans un bassin d'évaporation (encore appelé bassin de concentration), l'évaporation E l'emporte sur les apports d'eau douce par précipitation P et par les fleuves A. $E > P + A$. Exemples types : la Méditerranée et la mer Rouge, à salinité élevée. Le contraire a lieu dans les bassins de dilution (mer Noire, mer Baltique) à salinité basse où l'évaporation est moindre que les apports d'eau douce.

Les modes de circulation dans ces deux types de bassins sont opposés : l'écoulement en profondeur, à travers le détroit, d'eaux salées à forte densité quittant le bassin de concentration crée par compensation un appel d'eaux superficielles en provenance de l'océan ouvert, vers le bassin d'évaporation. Dans le cas du

bassin de dilution, la pression des eaux diluées légères dicte un écoulement superficiel de sortie, avec une entrée en profondeur à travers le seuil, d'eaux à salinité "normale", ce qui maintient à l'intérieur du bassin un régime halin plus ou moins saumâtre.

Le bassin d'évaporation recevant des eaux océaniques superficielles, généralement appauvries en sels nutritifs (azote, phosphore, silicium), abrite dans ses eaux une faible réserve nutritive (faible fertilité potentielle), d'où son caractère dans l'ensemble oligotrophe*. La Méditerranée en est un exemple classique et cité comme tel. Le fréquent renouvellement des eaux en profondeur alimentant l'évacuation du bassin, s'opère par refroidissement des eaux superficielles en hiver, ce qui assure une bonne oxygénation (ventilation) de l'ensemble des eaux du bassin (1). Par opposition, le bassin de dilution présente un régime eutrophe* dû à l'apport nutritif terrestre par les fleuves ; la forte productivité planctonique provoque une sédimentation active de particules organiques ("pluie" organique) entretenant une forte consommation d'oxygène (conditions anoxiques de la mer Noire), concomitante d'une accumulation de matières nutritives organiques et minérales (2).

* Voir glossaire p. 17

(1) La Méditerranée ne peut en aucun cas être menacée par une pollution due au manque d'oxygène.
(2) L'absence d'oxygène avec apparition d'hydrogène sulfaté est un phénomène naturel (mer Noire), mais dans un bassin peu profond (mer Baltique) elle évolue, par l'apport excessif de phosphore anthropogène, vers un état de pollution dramatique (hypoxie).

□ Hans Joachim Minas, directeur de recherche, ancien responsable du GRECO « production pélagique et phénomènes physiques » (GRECO 34).

□ Bernard Coste et Mme Monique Minas, chargés de recherche, travaillent au GRECO « production pélagique et phénomènes physiques » (GRECO 34). Université d'Aix-Marseille II, faculté des sciences de Luminy, Laboratoire d'océanographie, 70, route Léon Lachamp, 13288 Marseille Cedex 9.

□ Les clichés de photosatellite sont de Mme Champagne-Philippe



Tourbillon anticyclonique de la mer d'Alboran repéré par radiométrie infra-rouge depuis satellite (photo mise à notre disposition par Mme Champagne-Philippe, Centre de météorologie spatiale, Lanion). Les nombreuses photos actuellement disponibles mettent régulièrement en évidence le refroidissement dans la partie nord du tourbillon, ainsi que ceux du détroit et des courants ascendants côtiers marocains atlantiques.

Il est certain qu'en connaissant approximativement les échanges de matières nutritives à l'entrée du bassin et les apports par les fleuves, un bilan nutritif général caractéristique du bassin peut être établi. Bilan qui doit être calculé en étroite liaison avec le bilan hydrique.

Grâce à de nombreux travaux d'océanographie physique, travaux dans lesquels la France a, durant de longues années, joué un rôle de chef de file (Laboratoire d'océanographie physique du Muséum national d'histoire naturelle), le régime hydrologique dans le détroit de Gibraltar a été décrit et analysé en détail ; des bilans en eau et en sel relatifs à la Méditerranée ont été calculés à partir des flux et des salinités moyennes des eaux échangées à Gibraltar (cf. synthèse générale de Lacombe et Richez, 1982). La prise en considération supplémentaire de données d'évaporation à partir de bilans thermiques dans les différents secteurs

composant l'ensemble des bassins occidental et oriental (Belhoux, 1979) a permis de confirmer l'ordre de grandeur du bilan hydrique et, compte tenu du volume total du bassin ($3,71 \times 10^{11} \text{ m}^3$) d'évaluer le temps de renouvellement (résidence) à 98 ou 70 ans selon le mode d'estimation. Un calcul du bilan nutritif peut être calqué sur celui du bilan hydrique, en s'appuyant sur les flux mesurés par les hydrologues, et en connaissant parfaitement la concentration des différents éléments nutritifs (phosphore, azote, silicium), à l'état organique et minéral, dissous et particulaire.

Les rares tentatives antérieures d'établissement de bilans nutritifs de la Méditerranée se fondaient sur quelques déterminations sporadiques des propriétés chimiques — phosphore minéral principalement — des eaux échangées au détroit de Gibraltar. Dans ces évaluations, l'absence de connaissance sur la quantité de matériel à l'état

organique devait être palliée par des considérations hypothétiques, donnant ainsi une teinte spéculative aux raisonnements appliqués. Ainsi, la vision sur les mécanismes de régulation nutritive à l'entrée du bassin est-elle demeurée longtemps traditionnelle, simpliste et très floue : alimentation par une eau atlantique pratiquement dépourvue d'éléments nutritifs à l'état dissous, et évacuation d'eau enrichie dont le potentiel se départageait de façon encore très approximative entre l'origine tellurique méditerranéenne et l'origine organique atlantique.

La campagne Medipro IV du navire Jean-Charcot (octobre-novembre 1981) se proposait une étude complète des propriétés chimiques des différentes masses d'eau du bassin occidental (eau superficielle, intermédiaire et profonde), et en particulier des eaux échangées à travers le détroit de Gibraltar (fig. 1).

Nous nous limiterons, ici, à la présentation des nouvelles observations

dans les parages du détroit de Gibraltar, permettant dans un premier temps de préciser et réviser de façon notable le concept des mécanismes d'échanges nutritifs. Ces nouvelles données ne constituent toutefois qu'une première étape — importante il est vrai — vers la connaissance des conditions nécessaires à l'établissement d'un véritable bilan nutritif de la Méditerranée. L'évaluation des apports telluriques (fleuves, émissions industrielles, et autres activités humaines) exigera encore de nouvelles mesures et également un examen critique des nombreuses données actuellement existantes.

*Nécessité de la connaissance
du régime hydrologique
et courantologique
dans le détroit de Gibraltar*

Au détroit de Gibraltar, entre la surface et la profondeur du seuil (300 mètres environ), les courants d'entrée (eau atlantique) et de sortie (eau méditerranéenne) à l'intérieur des deux couches superposées, sont extrêmement violents. Vers 150 mètres de profondeur, à l'interface des deux couches s'écoulant en sens opposés, le fort cisaillement provoque des mélanges verticaux turbulents de grande intensité. La couche entrante subit ainsi une injection de sel, aux dépens de la couche sortante dont la salinité diminue. La circulation de détail est extrêmement complexe et présente une grande variabilité. A l'entrée du détroit côté atlantique, la section triangulaire (forme en V) que dessine

la topographie du passage, est responsable de la faible vitesse du courant d'entrée, alors qu'au niveau du fond le courant de sortie est violent (vitesse record mesurée : 245 cm/s \approx 5 nœuds). Du côté méditerranéen (forme en U de la topographie du passage) le courant d'entrée s'accélère (jusqu'à 4 nœuds), alors que l'eau méditerranéenne s'engage vers la sortie à faible vitesse. La complexité de la courantologie est due principalement à la grande variabilité des courants sous l'effet de la marée, capable d'accélérer, de ralentir ou d'annuler les courants de sur-

face, et même de les inverser dans le sens est-ouest.

Cette complexité est encore accrue par le fait que le plan d'interface des deux couches (correspondant à une salinité d'environ 37 ‰) présente, sous l'action de la force de Coriolis, une inclinaison sud-nord (enfoncement du côté marocain). S'ajoute aussi l'action d'ondes internes, dont l'amplitude et la périodicité ont été étudiées dans le détail.

L'ensemble de solides connaissances sur le régime hydrologique constitue, comme nous le verrons, un préalable indispensable à la bonne

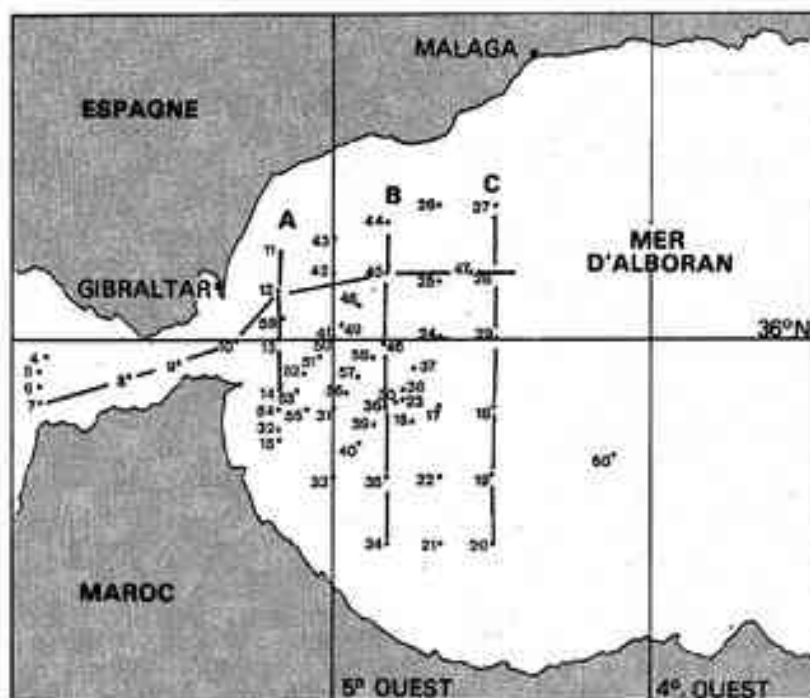


Fig. 1 — Carte des stations de la campagne Mediprod IV du navire Jean-Charcot (1^{re} partie, octobre 1981).

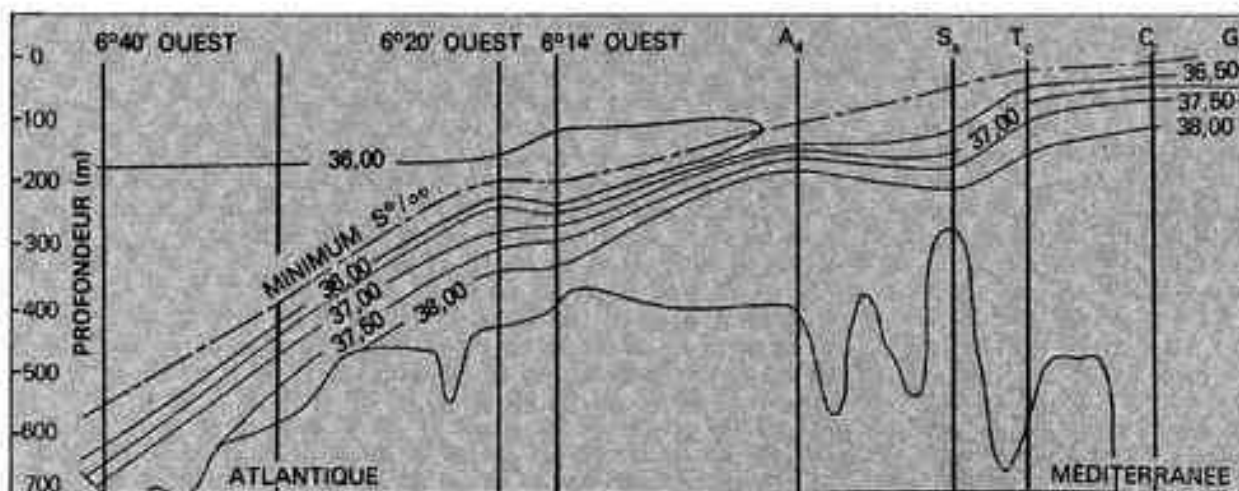


Fig. 2 — Répartition moyenne de la salinité dans le détroit de Gibraltar, d'après Lacombe et Richez (1982). On remarque l'existence, dans la couche atlantique entrante, du minimum de salinité (isohaline de 36 ‰), vecteur de sels nutritifs d'origine atlantique.

compréhension de la répartition et de la circulation des éléments chimiques ainsi qu'à celle des conséquences sur le plan de l'océanographie biologique. En contrepartie, l'examen des propriétés chimiques des masses d'eau confirme le schéma de circulation établi par les hydrologues et il est même susceptible de contribuer à résoudre un problème crucial bien connu à propos de la circulation à Gibraltar : l'eau méditerranéenne s'écoulant dans l'Atlantique est-elle constituée par l'eau profonde, l'eau intermédiaire, ou par un mélange des deux ?

Fertilisation de la couche de surface dans le détroit de Gibraltar par mélange vertical turbulent et courants ascendants d'eaux d'origine atlantique

Il est un fait fondamental, connu des océanographes biologistes, que la fertilité d'une zone océanique dépend de l'apport direct d'éléments nutritifs (azote, phosphore, silicium). En dehors des embouchures directes des fleuves cet apport, pour l'ensemble des eaux océaniques, est principalement d'origine profonde : il enrichit les eaux superficielles de la couche éclairée (couche euphotique*) et y provoque par l'intermédiaire de la photosynthèse des poussées phytoplanctoniques (production primaire), échelon de base de la chaîne alimentaire. Le transport nutritif ascendant est réalisé soit par convection thermohaline* verticale en période de refroidissement hivernal (zones tempérées), soit par des courants ascendants ("upwellings") se produisant avec une grande intensité dans certaines eaux côtières qui sont parmi les zones les plus fertiles du monde (côtes nord-ouest africaines, Pérou).

Toute remontée est thermiquement signalée en surface par un refroidissement, lorsque le phénomène a lieu en zone tropicale ou subtropicale, ou en été sous des latitudes plus élevées. A la latitude du détroit de Gibraltar (36°N) les eaux du large, tant du côté méditerranéen que du côté atlantique sont, pendant l'été et surtout en période post-estivale, caractérisées par une structure thermiquement stable, mise en évidence par l'existence d'une thermocline* saisonnière supportant une couche chaude superficielle d'une cinquantaine de mètres

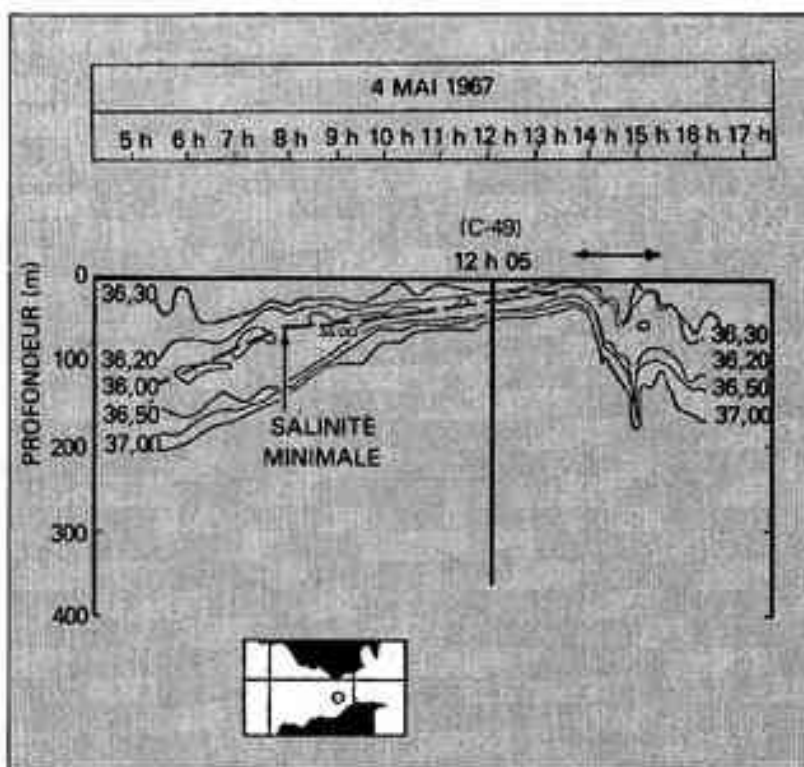


Fig. 3 — Evolution sur la verticale de la salinité au cours d'une station de répétition (opération "yo-yo" de la bathysonde) au niveau du seuil de Gibraltar. L'oscillation du minimum de salinité (36 ‰), associée à des concentrations importantes de nitrate aboutit, sous l'effet d'ondes internes, à des immersions atteignant la couche euphotique.

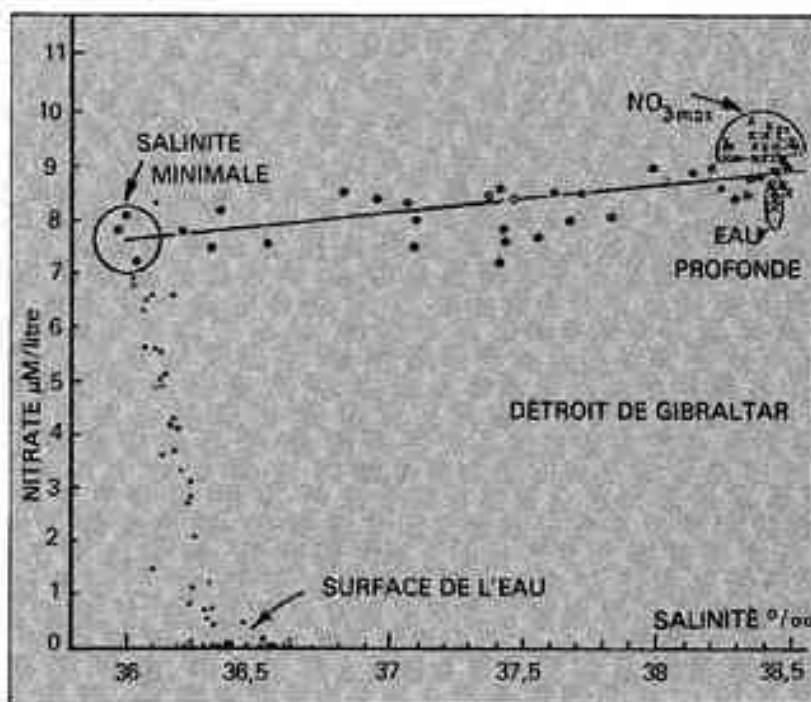


Fig. 4 — Diagramme nitrate-salinité relatif aux stations du détroit. Le minimum de salinité de 36 ‰ correspond à une valeur de 7 à 8 µatg/L de nitrate, dont l'origine est purement atlantique (Eau Centrale Nord-Atlantique, bien connue des hydrologues). Ce fait prouve que des quantités non négligeables d'éléments nutritifs à l'état minéral sont importées en Méditerranée.

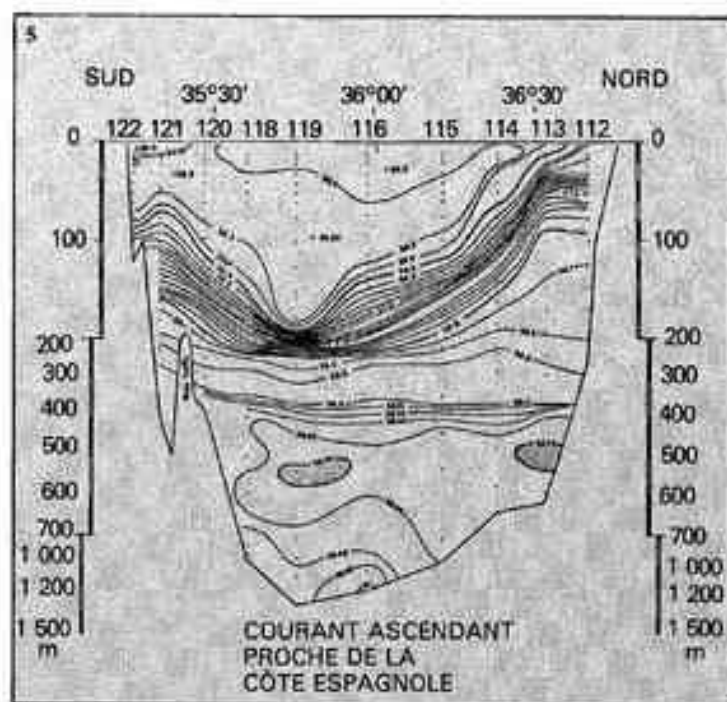
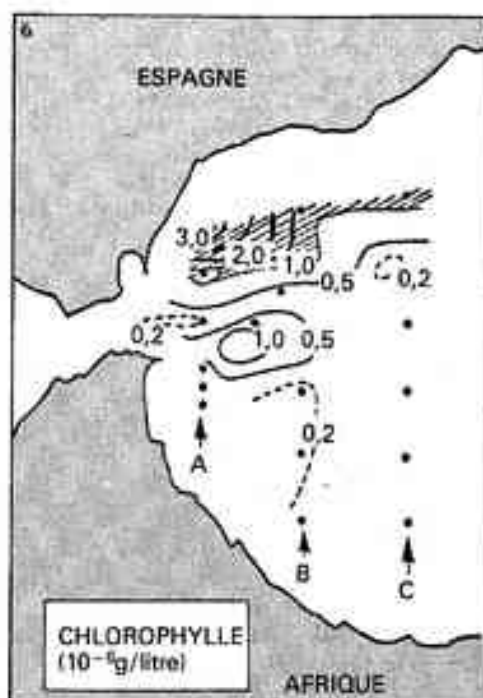


Fig. 5 — Coupe nord-sud dans le tourbillon anticyclonique, avec mise en évidence de la remontée des courbes isohalines près des côtes espagnoles (d'après Lanoix, 1974).

Fig. 6 — Répartition de la chlorophylle dans la zone de forte productivité primaire entretenue de façon permanente par les apports nutritifs d'origines diverses. Les valeurs atteignant 3 µg/L témoignent d'une grande richesse relative par rapport à l'oligotrophie du milieu environnant.



d'épaisseur (température > 20°C). De telles eaux sont fortement oligotrophes*, seul un très faible maximum chlorophyllien subsuperficiel, parfois détectable près de la thermocline, trahissant une légère activité photosynthétique. Or, durant cette période, toutes les sections hydrologiques à travers le détroit révèlent un refroidissement très net des eaux de surface, refroidissement actuellement observable sur toutes les photos infra-rouge de télédétection par satellite (photo p. 11). Ce refroidissement, obligatoirement d'origine interne, est en même temps le signe d'une fertilisation de la couche superficielle par injection nutritive d'origine profonde.

Origine méditerranéenne ou atlantique ? Sur certaines sections, des températures aussi basses que 15°C sont bien souvent enregistrées dans la couche superficielle et jusqu'en surface. Or, une température de 15°C est, sur les diagrammes T-S des eaux du détroit, associée à des salini-

tés basses indiquant une influence atlantique prépondérante. D'autre part, la distribution moyenne de la salinité au-dessus du seuil (fig. 2) et son évolution rapide sur la verticale à une station de répétition (fig. 3), montrent clairement l'existence d'un minimum superficiel ($S = 36 \pm 0,1$ ‰) pouvant atteindre, sous l'effet d'ondes internes, la couche des premiers 50 mètres. Ces injections d'eau à basse salinité sont des indicateurs de l'apport nutritif d'origine atlantique dans la couche superficielle entrante. En effet, d'après le diagramme nitrate-salinité $\text{NO}_3\text{-S}$ (fig. 4), comprenant toutes les données relatives aux stations de prélèvements du détroit, la salinité de 36 ‰ correspond à une valeur de nitrate presque aussi élevée (7 à 8 µatg/L) que les plus fortes valeurs méditerranéennes (8 à 10 µatg/L). Cette eau riche en sels nutritifs appartient à l'Eau Centrale Nord-Atlantique (ECNA). L'hydrologie classique dans ce secteur de l'Atlantique montre que l'isohaline 36 ‰ est profondément immergée (200 mètres) au large des côtes. Ce n'est donc qu'après une véritable remontée ("upwelling") que ces eaux atteignent le niveau superficiel dans le détroit. Cette remontée n'est certainement pas sans liaison avec le régime général des upwellings côtiers du Maroc et de la Péninsule Ibérique, dont l'intensité est maximale en été. Le rôle dynamique que joue dans ce soulèvement des eaux atlantiques la plongée des eaux méditerranéennes le long du talus continental

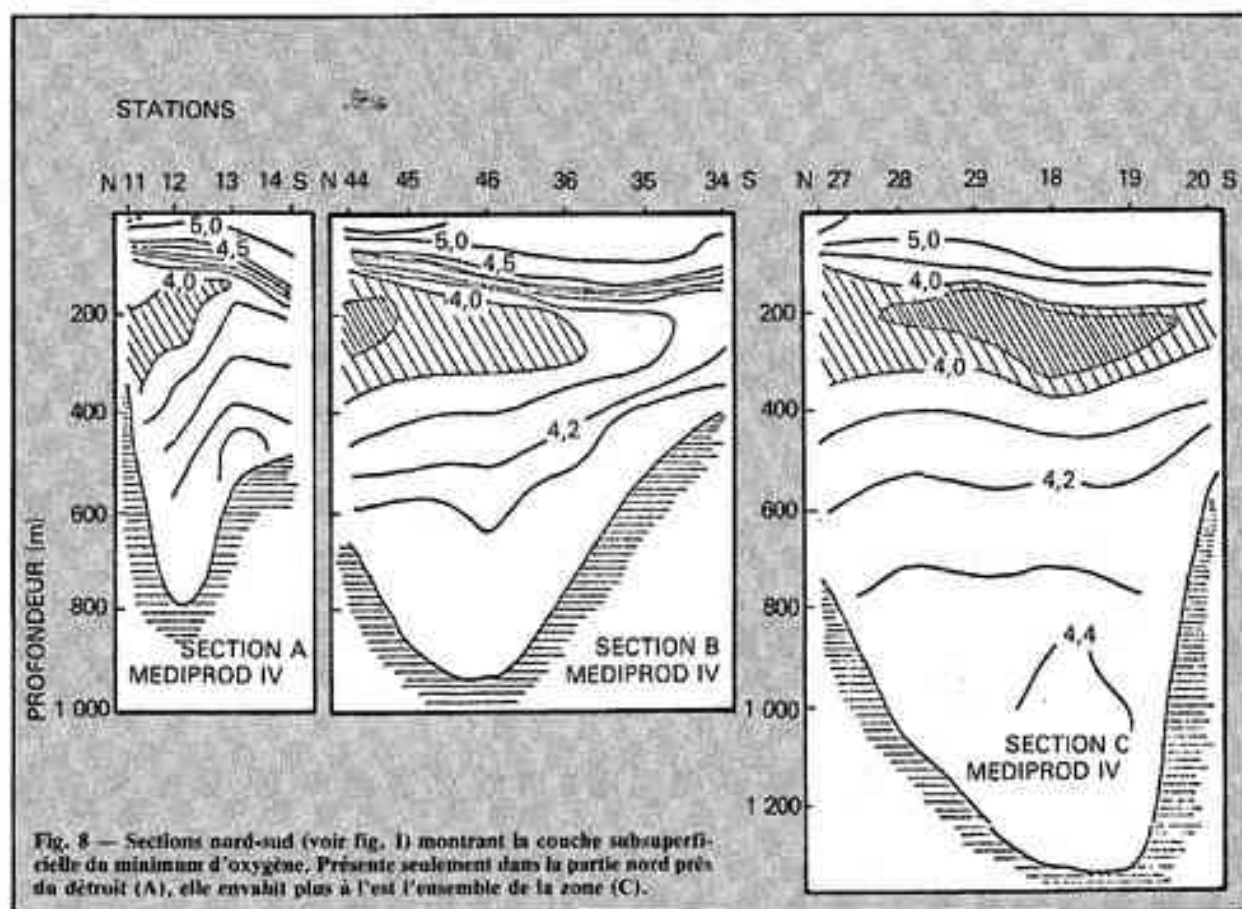
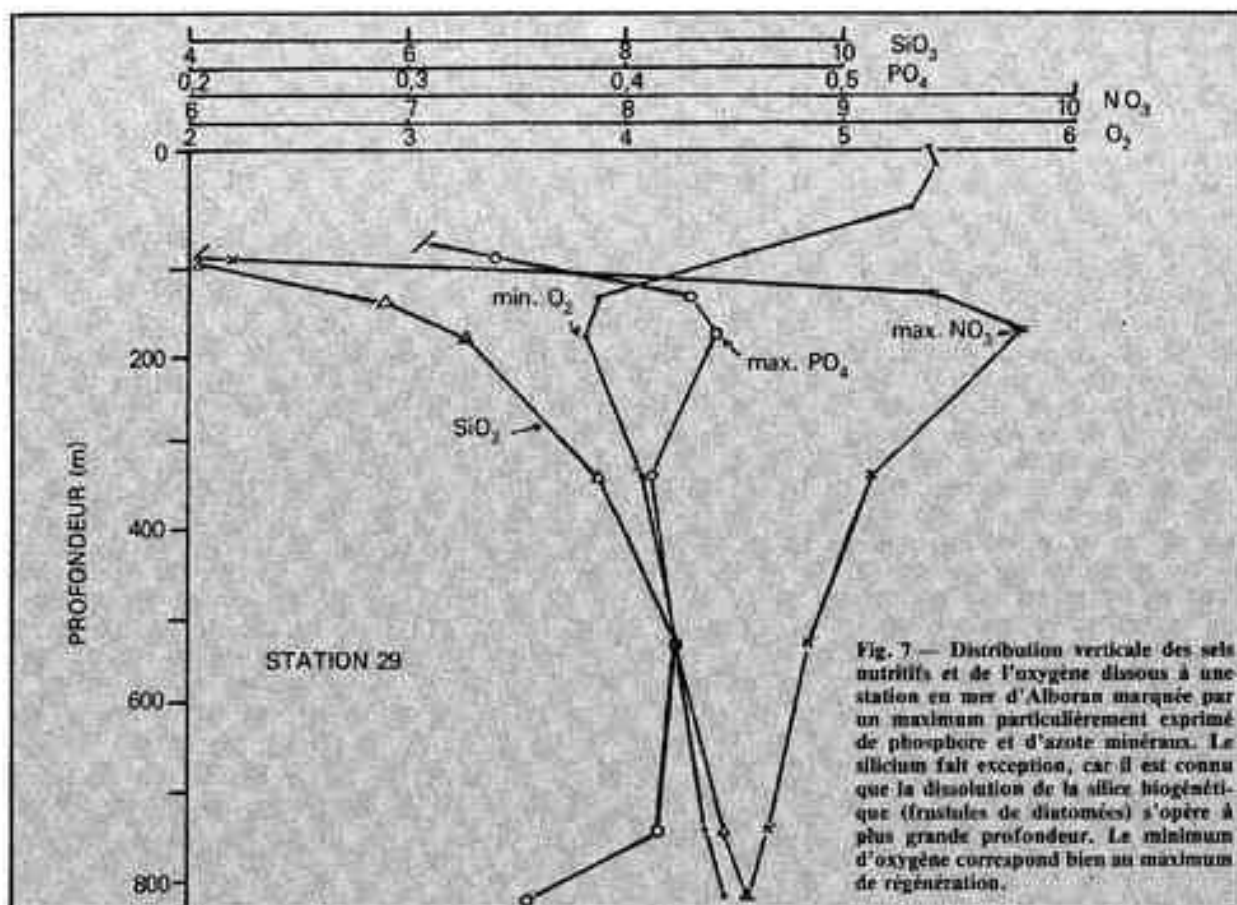
côté atlantique, n'a jamais été mentionné dans la littérature, contrairement à celui qui a été attribué à la poussée ascendante exercée par les eaux méditerranéennes sur le flanc oriental du seuil.

Il va de soi que la couche atlantique entrante reçoit également une injection nutritive régulière d'origine méditerranéenne. La part du potentiel nutritif réintroduit en Méditerranée n'est pas facile à évaluer, car le mélange turbulent du détroit fait continuité avec le courant ascendant côtier espagnol situé sur le flanc nord du tourbillon anticyclonique dont il sera question au paragraphe suivant.

En conclusion on peut énoncer que la couche d'eau atlantique, surtout dans sa partie inférieure, importe en Méditerranée une quantité non négligeable d'éléments nutritifs à l'état minéral d'origine atlantique. A cela s'ajoute une fraction organique dissoute dont devront tenir compte les futurs bilans.

Rôle du tourbillon anticyclonique de la mer d'Alboran

La télédétection infra-rouge à partir de satellites révèle actuellement un peu partout des tourbillons océaniques dont l'océanographie classique a long-

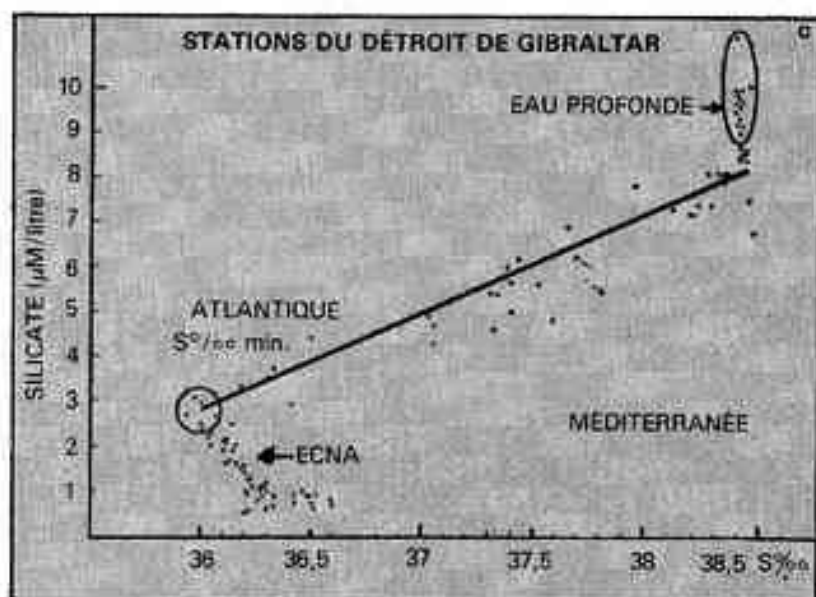
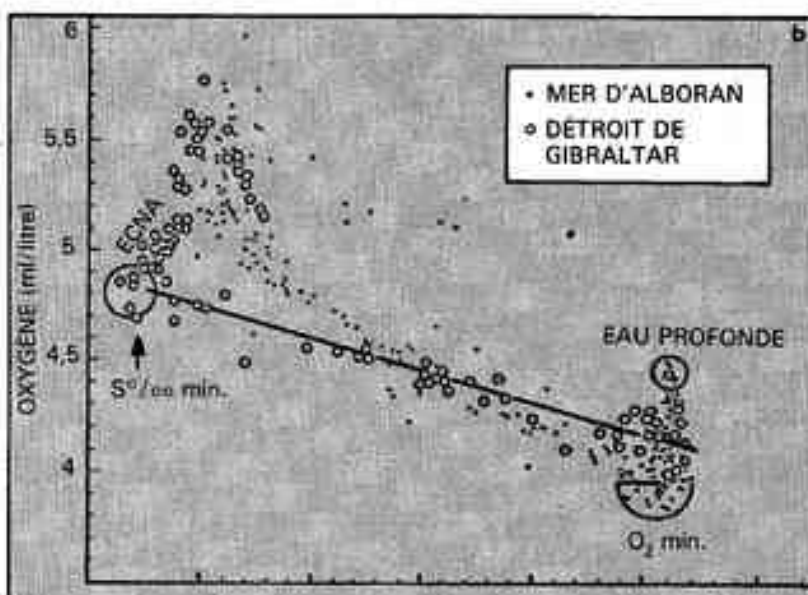
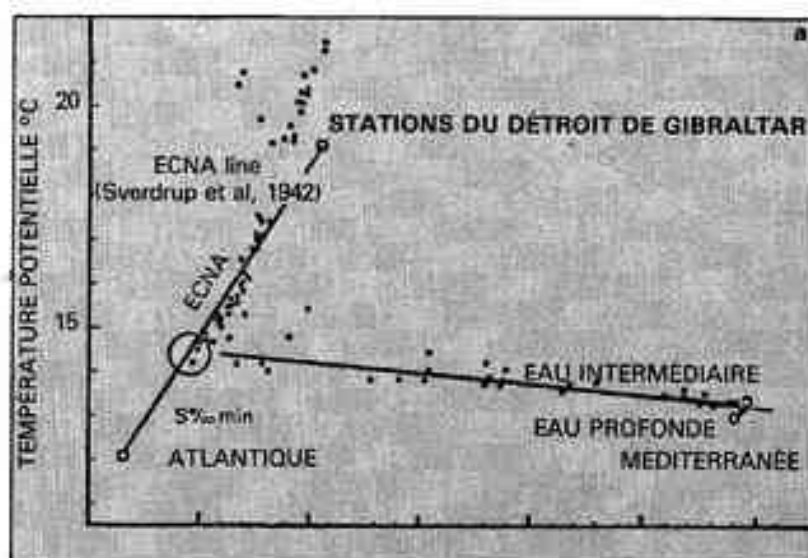


temps ignoré ou à peine soupçonné l'existence. Dans le cas de la mer d'Alboran, la télédétection ne fait que confirmer l'existence d'un tourbillon (fig. 2), dont le caractère anticyclonique avait été mis en évidence et analysé par des travaux français il y a une dizaine d'années. La rotation des eaux crée une zone de convergence centrale, avec disposition "en cuvette" des isohalines*. A la périphérie nord du tourbillon, le mouvement ascendant est très prononcé, ce qui se traduit par l'existence, dans la partie concave de la côte entre Gibraltar et Malaga, d'un puissant courant ascendant (fig. 5).

L'apport nutritif de cette résurgence, en s'ajoutant à l'enrichissement du détroit, alimente une production primaire accrue, démontrée par le développement d'un véritable "champ" de chlorophylle qui, au moment des observations, présentait des concentrations atteignant $3 \mu\text{g/L}$ (fig. 6), soit jusqu'à dix fois la concentration en pigments du milieu oligotrophe* environnant.

Dans le milieu marin, une forte productivité n'est jamais sans laisser de traces dans les couches sous-jacentes ; à l'instar d'une végétation terrestre luxuriante créant un humus fertile, une couche euphotique eutrophe* crée à sa base, par la décomposition et la minéralisation de la matière organique, un accroissement des teneurs en éléments nutritifs. On observe effectivement en subsurface à partir de 150 à 200 mètres, et associé au tourbillon, un maximum de phosphore et azote minéraux (fig. 7), concomitant d'un minimum d'oxygène. La couche de ce minimum se démarque nettement de celle du minimum d'oxygène classique du bassin occidental par sa teneur plus basse ($3,85 \text{ ml/L}$ au lieu de $4,10 \text{ ml/L}$) et par sa position au-dessus du maximum de salinité (eau intermédiaire). Son extension horizontale bien au-delà de la zone superficielle de chlorophylle (fig. 8) traduit le décalage de la sédimentation organique, la rotation superfici-

Fig. 9 — La comparaison du diagramme T-S (température-salinité) avec des diagrammes associant la salinité à des paramètres non conservatifs, c'est-à-dire biochimiques (sels nutritifs, oxygène) permet de constater que : 1 - la droite de mélange classique du diagramme T-S est conservée pour les paramètres non conservatifs, 2 - les caractéristiques biochimiques des eaux méditerranéennes appelées à participer au mélange sont mieux définies par ces paramètres que par les seules propriétés thermohalines.



cielle entraînant les particules vers l'est et le sud-est à partir de leur lieu de formation. Les variations d'emplacement et les dislocations temporaires du tourbillon, observées sur les images satellites, expliquent également l'extension de cette couche, sorte de "mémoire" de l'activité biologique superficielle.

En conclusion, les effets combinés des apports nutritifs du détroit et du tourbillon anticyclonique conduisent à un foyer permanent de production dans les parages annexes du détroit de Gibraltar en mer d'Alboran ; on est en droit d'énoncer que la présence, bien connue des touristes et des marins, de grands prédateurs (dauphins et autres cétacés) dans cette zone tout au long de l'année, est en liaison avec la source permanente de nourriture dont le fonctionnement vient d'être décrit.

La figure qui se trouve au dos de couverture résume le schéma général de circulation et ses conséquences chimiques et biologiques.

Analyse comparée des diagrammes. Problème de l'ascension des eaux méditerranéennes au seuil de Gibraltar

Le diagramme température-salinité du détroit (fig. 9a) avec sa droite de mélange entre les points représentatifs C de l'eau atlantique (ECNA) et M de l'eau méditerranéenne (Lacombe, 1965) est entré, comme exemple du genre, dans la littérature scolaire. Sur ce diagramme, un seul point représentatif de l'eau méditerranéenne est adopté, car les caractéristiques respectives des eaux profondes et intermédiaires sont trop proches pour être clairement différenciées.

Les diagrammes associant un paramètre non conservatif (élément nutritif, oxygène) à la salinité (fig. 9b et 9c) montrent une forte similitude avec le diagramme T-S : — la droite de mélange existe également, ce qui prouve que le paramètre non conservatif se comporte ici en paramètre conservatif, c'est-à-dire n'est pas modifié par l'activité biologique. Cette dernière en effet, n'a pas le temps de se manifester de manière appréciable, étant donnée la rapidité d'écoulement des masses d'eau à travers le détroit — contrairement au diagramme T-S, les caractéristiques chimiques de l'eau intermédiaire et de l'eau profonde sont ici nettement différenciées.

Le diagramme collectif O_2 -S (fig. 9b) met parfaitement en évidence une droite de mélange qui n'est alignée ni sur la position EP (eau profonde), ni sur la zone du minimum d'oxygène qui représente la partie supérieure de la couche de l'eau intermédiaire. La séparation des deux types d'eau est moins nette dans le diagramme NO_3 -S, alors que dans le diagramme SiO_4 -S (fig. 9c), la zone "eau profonde" à fortes valeurs de silicate, occupe une position nettement à l'écart de la droite de mélange.

Sans entrer ici dans un examen de détail, une première conclusion peut se dégager de l'analyse comparée de ces diagrammes : l'eau profonde ne semble pas sortir au seuil de Gibraltar avec ses caractéristiques originales. La même argumentation s'applique à l'eau intermédiaire, fortement marquée par l'activité biologique (eaux du minimum d'oxygène et du maximum d'azote et de phosphore minéraux). L'analyse détaillée de la concentration en tritium des différentes masses d'eau a conduit Roether et Weiss (1975) à conclure que ce n'est ni la partie supérieure de l'eau intermédiaire (riche en tritium) ni l'eau profonde (très pauvre en tritium) qui alimentent l'eau méditerranéenne sortante. L'immersion d'origine alimentant l'écoulement peut être située vers 700 mètres.

Une telle conclusion qui admet donc un "lifting" de l'eau méditerranéenne devant le détroit de Gibraltar, ne paraît pas être en contradiction avec nos propres conclusions fondées sur l'étude hydrochimique

des masses d'eau. Des observations de comportement de flotteurs exposés entre 600 mètres et le fond dans la partie méridionale de la mer d'Alboran, ont mis en évidence un mouvement vers le chenal d'écoulement du détroit. Le dépouillement des données du flux ascendant mesuré par ces mêmes flotteurs confirmera probablement le phénomène de "lifting".

La connaissance approfondie du régime hydrologique du détroit de Gibraltar a facilité l'intégration cohérente de données inédites d'observations chimiques et biologiques, dans le schéma de circulation des masses d'eau.

Avec la connaissance de la circulation biochimique, une nouvelle base a été créée pour une meilleure compréhension de la fertilité générale de la mer Méditerranée, dont le bilan nutritif pourra être établi avec une plus grande certitude.

Démonstration a été faite que les recherches biogéochimiques contribuent à la compréhension des mécanismes de circulation océanique et à une connaissance plus complète du milieu océanique en général.

BIBLIOGRAPHIE

- Bethoux J.P., 1979 - Budgets of the Mediterranean Sea. Their dependence on the local climate and on the characteristics of the Atlantic waters. *Oceanol. Acta*, 2 : 157-163.
- Coste B., G. Copin-Montégut, J.C. Gascard, J. Goutier, P. Le Corre, H.J. Minas, T.T. Packard et A. Pailson, 1982 - Nutrient regeneration and circulation patterns in the Strait of Gibraltar and in the western Mediterranean Sea. *Eur. J. Mar. Biol.*, 63 (3) : poster paper.
- Coste B., G. Copin-Montégut, P. Le Corre et H.J. Minas, 1982 - Régime et bilan des échanges des composés nutritifs au détroit de Gibraltar (campagne Medipro IV du N.O. Jean Charcot, oct.-nov. 1981). Comm. présentée au 28^e Congrès A.P. de la CIESM, Cannes, France.
- Lacombe H., 1965 - Cours d'Océanographie physique. Gauthiers-Villars, Paris.
- Lacombe H. et C. Richer, 1982 - The regime of the strait of Gibraltar, pp. 13-73 in : *Hydrodynamics of semi enclosed seas*. J.C.J. Nihoul ed., Elsevier Scienc. Publ. Comp., Amsterdam.
- Lamais F., 1974 - Etude hydrologique et dynamique de la mer d'Alboran. *Rapp. Techn. OTAN*, n° 66.
- Minas H.J., B. Coste, J.C. Gascard, P. Le Corre et C. Richer, 1982 - Propriétés chimiques et circulation des masses d'eau dans le détroit de Gibraltar et en mer d'Alboran (Campagne Medipro IV du N.O. Jean Charcot, oct.-nov. 1981). Comm. présentée au 28^e Congrès A.P. de la CIESM, Cannes, France.
- Minas H.J., B. Coste, P. Le Corre, H.J. Minas, T.T. Packard et P. Raimbault, 1982 - Rôle de la circulation en mer d'Alboran, au voisinage du détroit de Gibraltar sur le système production-régénération (campagne Medipro IV du Jean Charcot). Comm. présentée au 28^e Congrès A.P. de la CIESM, Cannes, France.
- Roether W. et W. Weiss, 1975 - On the formation of the outflow through the strait of Gibraltar. *Geophys. Res. Lett.*, 2 : 391-394.

BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE PROPOSÉE PAR LE CDS

Le Centre de documentation scientifique et technique du CNRS propose de fournir aux lecteurs intéressés une bibliographie comportant les 100 références les plus récentes signalées dans la base de données PASCAL (voir bon de commande p. 30).

Glossaire

Convection : mouvement de mélange vertical induit et entretenu par la plongée d'eaux à densité élevée, originaires de la surface.

Thermohaline : qui a trait à la fois à la température et à la salinité.

Eutrophe : riche en éléments nutritifs minéraux alimentant une forte production autotrophe de matière organique.

Euphotique : couche la plus superficielle des océans dans laquelle la lumière solaire pénétré et où ont lieu les processus de photosynthèse.

Thermocline : couche de transition thermique rapide entre les eaux superficielles et les eaux sous-jacentes de températures différentes.

Oligotrophe : pauvre ou dépourvue en sels minéraux et donc faiblement productive.

Isohaline : courbe d'égale salinité.

Rythmes des sécrétions hormonales

Les sécrétions de la plupart des hormones de l'organisme obéissent à des variations cycliques. La connaissance de ces variations présente une grande importance, tant pour la compréhension du fonctionnement de l'organisme que pour les applications médicales : l'organisme et sa réactivité varient tout au long de la journée et l'efficacité d'une thérapeutique peut dépendre du moment où elle est administrée.

Ivan ASSENMACHER

Dans une brillante introduction à la traduction anglaise (1) de la célèbre *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* de Claude Bernard, Lawrence J. Henderson (2) donnait, en 1927, ce commentaire : « Nous devons le concept de la constance du milieu intérieur dans sa quasi-totalité à Claude Bernard lui-même... Cette théorie ne doit pas être comprise comme celle d'une constance absolue ; mais il faut entendre que les variations des propriétés du milieu intérieur sont, en général, cycliques et adaptatives, c'est-à-dire fonctionnelles, et non pas aléatoires et sans finalité (functionless) ». Il est remarquable qu'à l'époque de la définition par W.B. Cannon du concept de l'homéostasie (3), étaient précisées d'emblée deux caractéristiques majeures des variations physiologiques à l'intérieur de cet état : leur caractère cyclique et leur valeur adaptative. Aussi bien peut-on se demander pourquoi les recherches sur les régulations homéostatiques ont si longtemps ignoré l'aspect rythmique des fluctuations physiologiques autour de leur niveau "constant", et, inversement, pourquoi l'engouement récent pour l'étude des rythmes biologiques conduit souvent

à opposer ce dernier concept à celui de l'homéostasie, dont il est en fait partie intégrante.

Fréquences des rythmes hormonaux

Un ensemble cohérent de travaux récents a montré, qu'à l'instar de toutes les fonctions d'un organisme, les sécrétions hormonales comportent des fluctuations rythmiques de fréquences diverses. Pour les fonctions hormonales comme pour les autres fonctions de l'organisme, la période la plus universellement répandue de leurs oscillations est la période circadienne qui correspond à 24 h, c'est-à-dire au rythme dominant d'un environnement terrestre. C'est pourquoi nous prendrons comme base de discussion la classe circadienne des rythmes hormonaux.

Cependant, de nombreuses fonctions endocrines présentent également des rythmes de fréquences plus brèves que 24 h (ultradiennes), ou au contraire beaucoup plus longues (circannuelles). Par-delà le problème de l'importance fonctionnelle de chacun de ces rythmes particuliers, se pose alors celui d'une possible relation entre les mécanismes des rythmes de périodes différentes observés pour une même fonction.

Dans la catégorie des rythmes ultradiens, on peut citer les décharges circorales (période d'une heure environ) des neurohormones hypothalamiques (voir encadré sur les hormones) qui contrôlent la sécrétion des hormones antéhypophysai-

res. La mise en évidence des rythmes sécrétoires de ces hormones nerveuses, produites à la base du cerveau, est aujourd'hui possible chez l'animal, grâce à l'implantation intracérébrale de microcanules (canules « push-pull »), qui permettent la perfusion *in vivo* de régions discrètes du cerveau (fig. 1). Dans le domaine des régulations sexuelles par exemple, la chaîne hormonale qui est responsable du cycle de l'ovulation, comporte l'hormone hypothalamique LHRH et, en aval, l'hormone antéhypophysaire LH, responsable directe de l'ovulation. Or, il apparaît que LHRH est toujours sécrétée selon un rythme circorale. En aval, l'hormone LH elle-même est également sécrétée selon un rythme circorale, chez les Primates et chez la Femme. C'est alors l'accroissement périodique de la fréquence et de l'amplitude des pulsations circorales de LH, sous l'influence des hormones ovariennes, qui est le facteur déterminant de l'ovulation. En revanche, dans l'antéhypophyse de la ratte, le signal rythmique circorale de LHRH que l'hypothalamus envoie à l'hypophyse y est transformé au moment de l'ovulation en rythme circadien de l'hormone de l'ovulation LH. En conséquence,

□ Ivan Assenmacher, professeur de physiologie à l'université de Montpellier II, directeur du Laboratoire de neuroendocrinologie (ERA 85), université de Montpellier II, département de physiologie, place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

(1) *An introduction to the study of Experimental Medicine* by Claude Bernard, translated by Henry C. Grew. The Macmillan Co., New York, 1927.

(2) Professeur de chimie biologique à l'Université Harvard, connu notamment pour sa découverte du rôle prépondérant de la réserve alcaline dans la régulation du pH sanguin (Equation de Henderson-Hasselbalch).

(3) Cannon W.B. (1871-1945), neurophysiologiste américain, a défini la notion d'homéostasie désignant la tendance générale de l'organisme au rétablissement de l'équilibre.

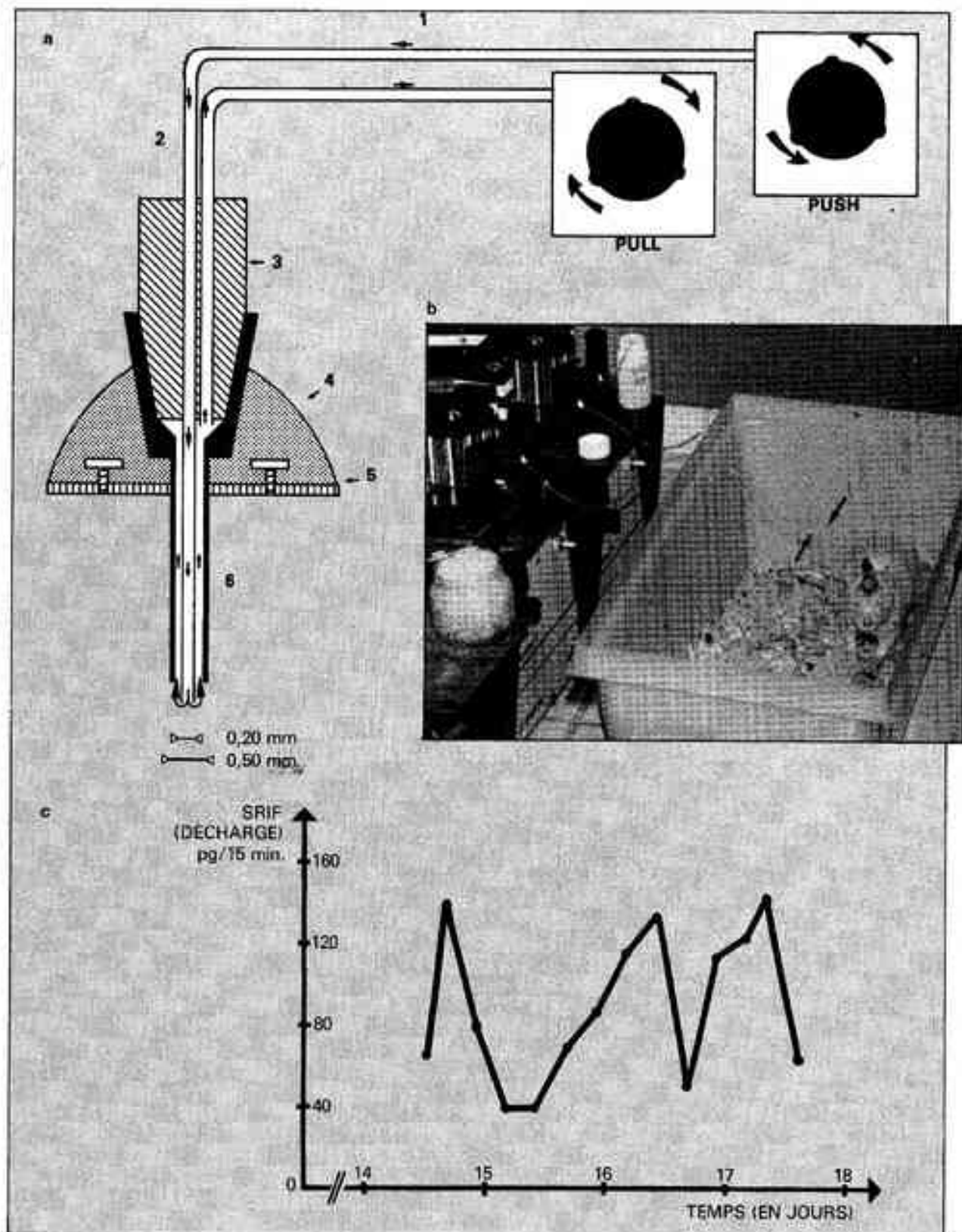


Fig. 1 — Perfusion *in vivo* de l'hypothalamus du rat par une microcannule "push-pull" en vue de la mesure de la sécrétion des neuro-hormones hypothalamiques (d'après Arancibia et coll., 1983, *C.R.Ac.Sci.*, 296,47)

a) Principe de la canule implantée par stéréotaxie dans le cerveau et branchée sur un couple de pompes, l'une foulante (push), l'autre aspirante (pull) : 1 : Tubes en polyéthylène - 2 : Tubes en inox - 3 : Corps de la canule (résine acrylique) - 4 : Casque (ciment dentaire) - 5 : Os crânien - 6 : Canule intra-cérébrale. b) Spécimen de rat implanté en cours de perfusion (les flèches indiquent les tubes en polyéthylène). c) Sécrétion circhorale d'une neurohormone hypothalamique (SRIF) contrôlant la sécrétion de l'hormone de croissance (GH).

l'ovulation sera déclenchée à une heure précise du nyctémère.

Il est d'ailleurs probable que les progrès technologiques qui diminuent progressivement l'inertie des séquences des prélèvements sanguins et des dosages hormonaux subséquents, permettront de détecter des fréquences de sécrétions hormonales beaucoup plus rapides encore que les fréquences circorales.

En effet, des rythmes ultrarapides sont déjà connus dans d'autres systèmes biologiques, comme par exemple les rythmes électriques d'ensembles neuronaux tels que ceux qui contrôlent en amont les neurones endocrines. La caractérisation des diverses fréquences qui concernent un même système fonctionnel représente une étape importante pour l'étude des mécanismes réducteurs de fréquence, grâce auxquels un

oscillateur primaire de haute fréquence, — dont on connaît plusieurs modèles dans l'organisme —, est capable d'engendrer une série de fréquences de plus en plus basses, ultrarorales, circorales, circadiennes, voire circannuelles (4).

Parmi les rythmes hormonaux circannuels, ce sont les rythmes régulateurs des cycles biologiques annuels des animaux qui sont les mieux connus : cycles de reproduction, du métabolisme énergétique, des mues du pelage ou du plumage, des migrations, etc. Leur récurrence annuelle, dans des relations de phases très précises avec les cycles météorologiques saisonniers, garantit à chaque espèce les meilleures chances de survie. De plus, leur programmation dans des rapports mutuels fixes de phase exclue la coïncidence d'événements biologiques incompatibles tels que reproduction et mue, mue et migra-

tion. Or, de même que nous avons vu plus haut des rythmes circadiens découler de rythmes ultradiens, on connaît aujourd'hui de nombreux exemples où des rythmes hormonaux circannuels résultent en fait de rythmes circadiens de la sensibilité des structures nerveuses qui les contrôlent à des signaux externes variables dans l'année. Le cycle annuel des hormones de la reproduction en fonction des variations saisonnières de la durée du jour en est un exemple désormais classique.

Il est intéressant de noter à ce sujet qu'un certain nombre de rythmes hormonaux circannuels ont également été décelés récemment chez l'homme. Si leur rôle biologique est inconnu, on admet cependant qu'ils ne sont pas étrangers aux variations circannuelles de la morbidité, que les épidémiologistes ont mis en évidence pour certaines maladies.

Hormones et neurotransmetteurs

Les hormones sont des médiateurs chimiques qui sont sécrétés par des cellules endocrines, parfois groupées en glandes endocrines, et qui utilisent la circulation sanguine pour atteindre à distance des cellules cibles spécifiques dont ils régulent le niveau fonctionnel. Dans certains cas, la cellule endocrine est une cellule nerveuse ; l'hormone est alors appelée neurohormone. Les neurotransmetteurs sont les médiateurs chimiques que les cellules nerveuses libèrent au contact même des cellules cibles, nerveuses ou musculaires, qu'elles sont chargées de réguler. La sérotonine, la noradrénaline et l'acide γ -aminobutyrique (GABA) sont des neurotransmetteurs majeurs évoqués dans cet article.

Les sécrétions hormonales ont, par rapport au système nerveux central, des relations diverses. Plusieurs d'entre elles sont, à cet égard, relativement autonomes ; d'autres sont, au contraire, placées sous le contrôle direct du système nerveux (régulations neuroendocriniennes). Le premier cas peut être illustré par l'insuline, qui contrôle le métabolisme du glucose, et dont la sécrétion par le pancréas est régulée principalement par le taux sanguin du glucose lui-même. De même le taux sanguin du calcium module la sécrétion par la parathyroïde de la parathormone, qui régule en retour le métabolisme du calcium. Dans une

boucle de régulation un peu plus complexe, les taux sanguins du sodium et du potassium contrôlent la sécrétion de la rénine par le rein ; ce médiateur transforme une protéine sanguine, l'angiotensinogène, en angiotensine, qui contrôle la sécrétion par la corticosurrénale de l'aldostérone, hormone régulatrice de l'excrétion rénale, et, partant, des taux sanguins de sodium et de potassium.

Les hormones commandées directement par le système nerveux sont pour la plupart sécrétées par l'hypophyse antérieure, une petite glande localisée sous une région importante de la base de l'encéphale, l'hypothalamus, d'où lui vient d'ailleurs son irrigation sanguine. Toutes les hormones antéhypophysaires sont en fait régulées par des neurohormones (par exemple LHRH pour la fonction sexuelle) sécrétées par des cellules nerveuses endocrines de l'hypothalamus dans des vaisseaux sanguins courts qui les véhiculent vers les cellules hypophysaires. La plupart des hormones antéhypophysaires régulent à leur tour l'activité sécrétoire de glandes endocrines périphériques. Ainsi, les hormones gonadotropes (FSH et LH) contrôlent les glandes sexuelles et, en particulier, leur propre activité hormonale (testostérone, œstrogènes, progestérone) et, en aval, la physiologie sexuelle ; l'hormone thyroïdienne (TSH) contrôle la

sécrétion des hormones thyroïdiennes (thyroxine), et au-delà, la croissance et la thermorégulation ; l'hormone corticotrope (ACTH) contrôle la sécrétion des hormones du cortex surrénalien (cortisol ou corticostérone) qui régulent le métabolisme du glucose ; l'hormone de croissance (GH) contrôle les sécrétions hormonales du foie (somatomédines) et, en aval, le métabolisme cellulaire et la croissance. Seule la prolactine (PRL) contrôle directement des fonctions cellulaires non hormonales (sécrétion du lait par la glande mammaire). La médullo-surrénale occupe, dans cette perspective, une place particulière. En effet, cette glande endocrine n'est pas contrôlée par des neurohormones mais est directement innervée par le système nerveux, à la manière des ganglions sympathiques, avec lesquels elle partage d'ailleurs une origine commune. Ces hormones (adrénaline et noradrénaline) stimulent le système cardio-vasculaire, et commandent avec les hormones corticosurréniennes les principales réponses d'adaptation de l'organisme aux agressions (stress). Elles ont aussi constitué les premiers exemples d'une identité chimique complète entre certaines hormones et certains neurotransmetteurs. Enfin, un dernier type de régulations neuroendocriniennes est représenté par deux neurohormones hypothalamiques qui sont larguées directement dans la circulation générale au niveau de la posthypophyse (une expansion de l'hypothalamus accolée à l'hypophyse glandulaire) : la vasopressine (ADH) qui contrôle l'élimination rénale de l'eau (diurèse), et l'ocytocine (OT), qui agit sur certains organes sexuels (utérus et glande mammaire).

Dans une perspective commune à l'ensemble des rythmes biologiques circadiens, les recherches modernes sur les rythmes circadiens hormonaux prennent appui, au départ, sur un puissant ensemble d'études phénoménologiques fines, qui s'étend rapidement, dans le domaine de l'hormonologie, à mesure que se développent les outils méthodologiques adaptés aux hormones nouvellement découvertes. Ainsi, à mesure que s'affinent les techniques des dosages hormonaux, la liste des sécrétions hormonales à rythmicité circadienne s'allonge (5). On y trouve les principales hormones des régulations métaboliques périphériques (voir encadré sur les hormones) : l'insuline, dont la concentration dans le plasma sanguin augmente en fin de jour (et donc durant le sommeil) chez le rat ; le système rénine-angiotensine qui culmine, avec l'aldostérone, en fin de nuit chez l'homme, et la parathormone, avec, chez l'homme, des taux sanguins maximaux en fin de jour. Peu de choses sont actuellement connues sur les mécanismes sous-jacents à ces rythmes circadiens hormonaux. En revanche, un faisceau de recherches récentes a élucidé quelques éléments fondamentaux des mécanismes générateurs des rythmes circadiens neuroendocriniens, concernant la vasopressine, et les principales hormones de l'hypophyse antérieure : la prolactine (PRL), l'hormone de croissance (GH), et les hormones corticotrope (ACTH), thyroïdienne (TSH), et dans certaines conditions, gonadotropes (voir encadré sur les hormones), par exemple chez la fillette prépubère, et chez la ratte à taux constants d'œstrogènes.

Or, fait remarquable, les cycles de toutes ces hormones contrôlées par le système nerveux central, présentent leur phase d'accroissement quotidien pendant le sommeil, et ceci non seulement chez tous les Mammifères, mais chez tous les Vertébrés étudiés jusqu'ici. Cette découverte est encore trop récente, et nos connaissances trop fragmentaires sur le rôle d'un grand nombre d'hormones hypothalamo-hypophysaires, pour permettre d'insérer dès à présent l'ensemble de ces rythmes hormonaux circadiens dans la perspective adaptative de l'homéostasie. On peut néanmoins comprendre la

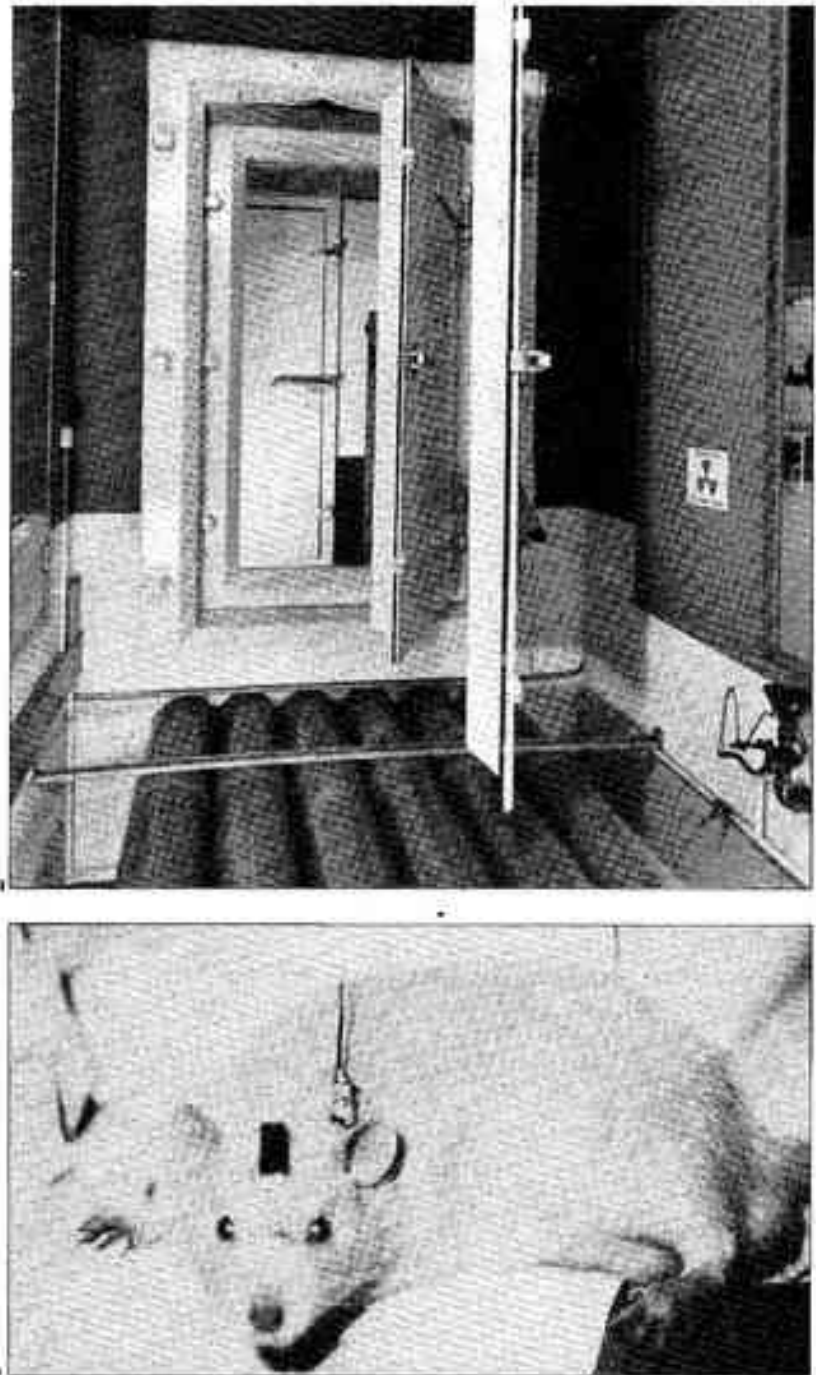


Fig. 2 — (a) Entrée blindée d'un "bunker" pour études de chronobiologie (Laboratoire de neuroendocrinologie, ERA 85 du CNRS, Montpellier). (b) Rat équipé d'une broche d'électrodes cérébrales pour enregistrements électroencéphalographiques ou pour stimulations cérébrales, et d'une canule carotidienne pour prélèvements sanguins séquentiels.

valeur adaptative d'une hypersécrétion de vasopressine, et de la réduction de la diurèse qui en résulte pendant le sommeil, ou encore l'avantage d'une activation, à la fin du sommeil, du système corticotrope, gage d'un accroissement non alimentaire du taux sanguin du glucose (produit à partir des acides aminés) qui permettra l'activation métabolique du réveil.

A titre d'exemple, nous étudierons ici, d'une manière plus détaillée, des travaux récents (6) portant sur les

(4) Ce problème a été récemment étudié au cours d'un colloque sur « Mécanismes des rythmes biologiques. Concepts, structures et modèles » organisé à Sallèles du 28 septembre au 2 octobre 1982 par le Ministère de la Recherche et de l'Industrie sous la direction du professeur André Huguin (CNRS, Gif-sur-Yvette).

(5) Cf. *Endocrine rhythms*, D.T. Krieger éd., Raven Press, New York 1979.

(6) Travaux du Laboratoire de neuroendocrinologie, ERA 85 du CNRS. Voir G. Isart et coll., 1977, *J. Endocrin.*, 72, 113, 1983, *C.R. Soc. Biol.* 177, 58 et 1983, *Neuroscience Letters*, 43, 235 ; A. Sauter et coll., 1979, *J. Endocrin.*, 87, 1, et 1983, *J. Steroid Biochem.*, 19, 1009, et I. Assenmacher 1982, in *ref.* (7), p. 87.

mécanismes générateurs des rythmes hormonaux neuroendocriniens et notamment sur deux aspects de leurs bases physiologiques : leurs propriétés générales et leur structure.

Propriétés générales des systèmes circadiens hormonaux

Pour caractériser les propriétés générales des systèmes circadiens hormonaux, on étudie les variations de leur comportement dans des environnements dont les principaux paramètres peuvent être modifiés de façon parfaitement contrôlée. La méthodologie utilisée, qui est d'ailleurs commune à l'exploration de tous les systèmes de régulation, revient à analyser le plus complètement possible les réponses du système ("outputs" = dosages hormonaux) à des manipulations des signaux afférents ("inputs"), le système circadien étant à ce stade considéré comme une "boîte noire" conservée dans son intégrité. En raison de son innocuité, cette méthode est utilisée aussi bien chez l'homme que chez l'animal. Elle requiert, en revanche, un équipement lourd de chambres à hautes performances d'isolement à l'égard de tous les facteurs physiques cycliques de l'environnement naturel ("bunkers") (fig. 2). Les facteurs externes auxquels sont soumis les sujets en expérience sont donc entièrement contrôlés.

Rythmes endogènes ; rythmes entraînés : la figure 3 illustre ces caractéristiques fondamentales d'un rythme biologique. Un rythme hormonal (R1, R2, etc.) est l'expression d'un rythme endogène, s'il persiste dans un environnement stabilisé, c'est-à-dire privé de tout repère temporel. Le générateur d'un tel rythme, dit "en libre cours", est évidemment interne à l'organisme et est appelé oscillateur biologique, *pacemaker* circadien, ou, par métaphore, horloge circadienne. La période du *pacemaker* circadien est proche, mais légèrement différente de 24 h. Elle est remarquablement stable pour une espèce donnée, pour autant qu'elle soit mesurée dans des conditions identiques d'isolement. C'est ainsi que la période du rythme de la sécrétion hormonale corticosurrénale (cortisol ou corticostérone) évoluant "en libre cours", à l'obscurité, est de 24,7 h chez l'homme et de 24,2 h chez le rat de laboratoire, qui constitue un modèle animal classique en chronobiologie. Des observations provenant du domaine non hormonologique de la chronobiolo-

gie, ont d'ailleurs apporté des arguments solides en faveur d'un déterminisme génétique de la période endogène des rythmes circadiens (mutations entraînant des modifications de la période endogène). La figure montre également que les relations temporelles entre les différents rythmes circadiens hormonaux peuvent résulter soit d'interactions périphériques (par rapport au *pacemaker*) entre les divers systèmes hormonaux, soit du contrôle de plusieurs systèmes hormonaux par un même *pacemaker*, soit encore par un mécanisme de couplage liant plusieurs *pacemakers* hormonaux. Il n'existe pas, actuellement, d'arguments expérimentaux en faveur de l'une ou de l'autre de ces hypothèses. Mais nous avons observé récemment chez le rat "en libre cours" que les rythmes circadiens endogènes des hormones hypophysaires TSH, ACTH, LH et PRL, conservent

entre eux les mêmes rapports de phases que dans un environnement naturel. Ils conservent également, tous, leurs rapports de phases habituels avec le rythme de veille/sommeil, de telle sorte que l'hypersécrétion quotidienne de ces hormones survienne toujours au cours du sommeil (fig. 4). La période endogène de tous ces rythmes est, à l'obscurité, de 24,2 h.

Dans les conditions ordinaires, l'organisme reçoit de son environnement des signaux rythmiques circadiens liés le plus souvent aux horloges astronomiques (rythme de jour/nuit), et, chez l'homme, à diverses exigences socio-professionnelles (travail de nuit par exemple). Comme tous les rythmes circadiens, les rythmes hormonaux endogènes sont alors « entraînés » sur la période du facteur circadien dominant de l'environnement, qui est appelé synchroniseur. C'est pourquoi, dans les conditions naturelles

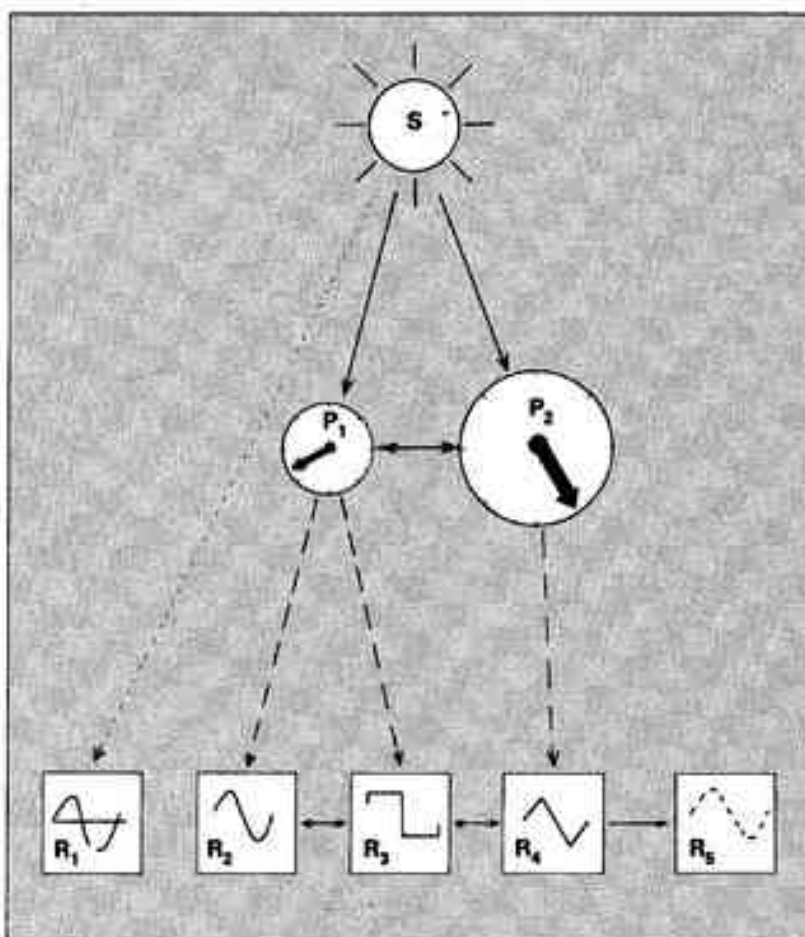


Fig. 3 — Représentation diagrammatique d'un système de rythmes biologiques circadiens. P1 et P2 : deux *pacemakers* (oscillateurs endogènes, horloges biologiques) circadiens, couplés entre eux, synchronisés par un synchroniseur S (ex. photopériodisme, facteurs socio-culturels) et générateurs de rythmes circadiens hormonaux R2, R3 et R4, eux-mêmes interconnectés. Le rythme R5 est un rythme secondaire, dépendant d'un autre rythme périphérique (R4), et le rythme R1 est un rythme synchronisé passivement par le synchroniseur, sans l'intervention d'une horloge biologique.

la période des rythmes biologiques est exactement de 24 h.

Dans de rares cas, le rythme biologique circadien disparaît lorsque l'organisme est isolé de son environnement cyclique (fig. 3). Il s'agit ici de rythmes circadiens passifs ou forcés, dépourvus de pacemakers endogènes, et dont la problématique physiologique est naturellement toute différente. Aucun exemple de cette classe de rythmes n'a été décrit jusqu'ici chez l'homme et chez les animaux de laboratoire.

Désynchronisations externes ; désynchronisations internes : toute modification de la phase du synchroniseur externe (horaires tournants de travail, voyages transméridiens au-delà de plusieurs fuseaux horaires) entraîne immédiatement une rupture de la synchronisation entre les rythmes biologiques et l'environnement (désynchronisation externe). Mais après cette perturbation initiale, souvent associée à divers troubles fonctionnels (asynchronoses), il se produit une resynchronisation progressive des rythmes biologiques sur la phase nouvelle du rythme extérieur, avec par exemple, chez l'homme, un retour d'une sécrétion accrue de cortisol en fin de nuit.

Nous avons dit plus haut que même dans un environnement stabilisé (rythmes "en libre cours"), les rythmes hormonaux actuellement étudiés conservent entre eux des rapports de phases constants, comme s'ils dépendaient d'un pacemaker commun ou de pacemakers fortement couplés. Il n'existe actuellement aucun cas connu d'une modification de rapports de phase entre les différents rythmes circadiens neuroendocriniens. En revanche, on a montré, chez l'homme, que les rapports de phases stables entre le rythme surrénalien et celui de veille/sommeil peuvent être rompus (désynchronisation interne), soit dans des conditions de "libre cours", soit temporairement au cours de la resynchronisation des rythmes circadiens après un déphasage externe important (vol transméridien). Les incidences physiopathologiques (asynchronoses) de ces désynchronisations internes, qui peuvent s'ajouter aux désynchronisations externes, présentent un intérêt évident en médecine.

Dissociation d'un pacemaker circadien : ayant montré que, dans les conditions naturelles, la période d'un rythme biologique circadien (24 h) résulte de l'entraînement

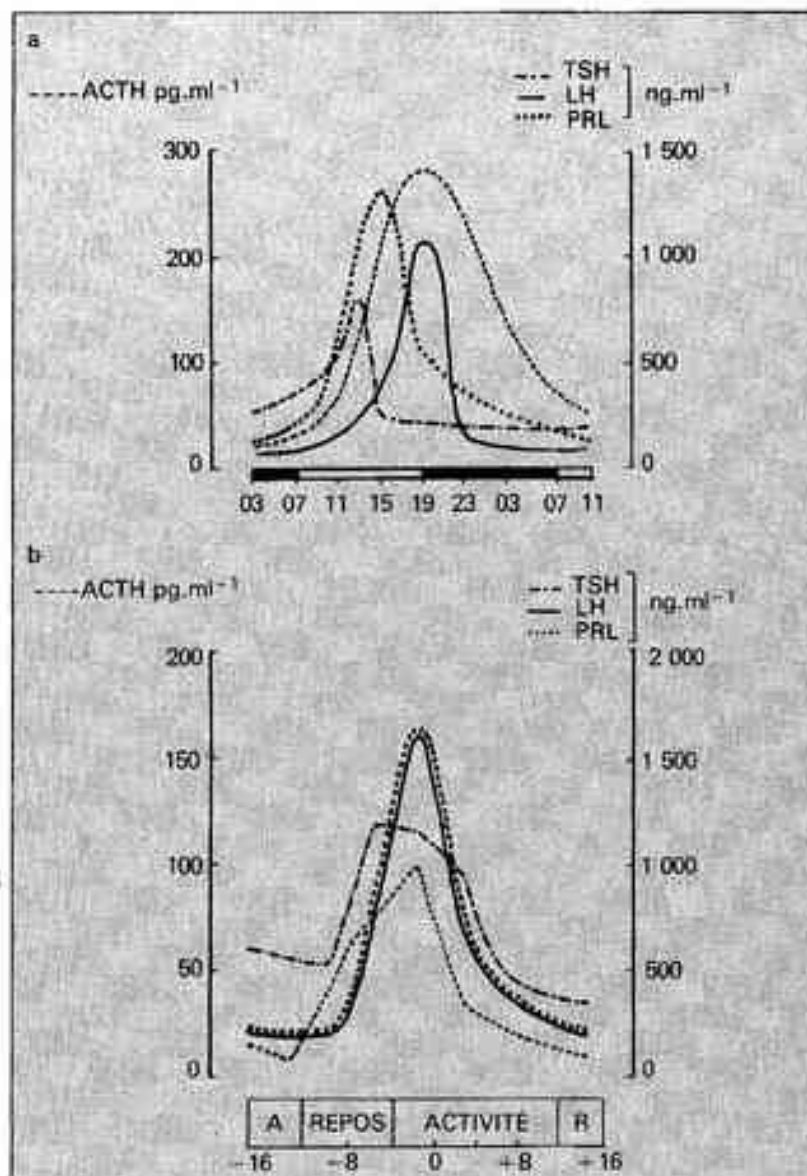


Fig. 4 — Exemples de rythmes hormonaux circadiens chez la ratte castrée et implantée d'une source délivrant l'hormone oestrogène ovarienne à débit constant. Il s'agit de quatre hormones hypophysaires : l'hormone corticotrope (ACTH) régulant le cortex surrénalien ; l'hormone thyroïdienne (TSH) régulant la thyroïde ; l'hormone gonadotrope (LH) responsable en particulier de l'ovulation ; la prolactine (PRL) responsable, entre autres, de la sécrétion du lait.

(a) Rythmes hormonaux circadiens chez des ratte synchronisées par des "jours" de 12 h de lumière (07 00 h à 19 00 h) et 12 h d'obscurité. A noter que le rat dort pendant le jour et est actif la nuit ; la phase d'hypersécrétion des hormones correspond au sommeil.

(b) Rythmes hormonaux circadiens chez des ratte "en libre cours" (sans synchroniseur externe). Le rythme de l'hormone LH est pris comme rythme de référence temporelle (le temps 0 correspond à son maximum). On voit que tous les rythmes hormonaux conservent leurs rapports de phases réciproques, et leur phase circadienne d'activation pendant le sommeil comme dans l'expérience (a).

d'une période endogène différente de 24 h, sur celle d'un synchroniseur externe, il était intéressant d'explorer les limites de la capacité d'entraînement des horloges biologiques circadiennes, en soumettant l'organisme à des environnements artificiels aux périodes de plus en plus éloignées de celles des horloges bio-

logiques. Bien entendu, une telle situation n'existe dans aucun environnement naturel. Mais de nombreux hommes effectuent aujourd'hui des séjours prolongés dans des environnements artificiels souterrains ou sous-marins et, pour des raisons de confort psychologique, il peut être tentant de raccourcir

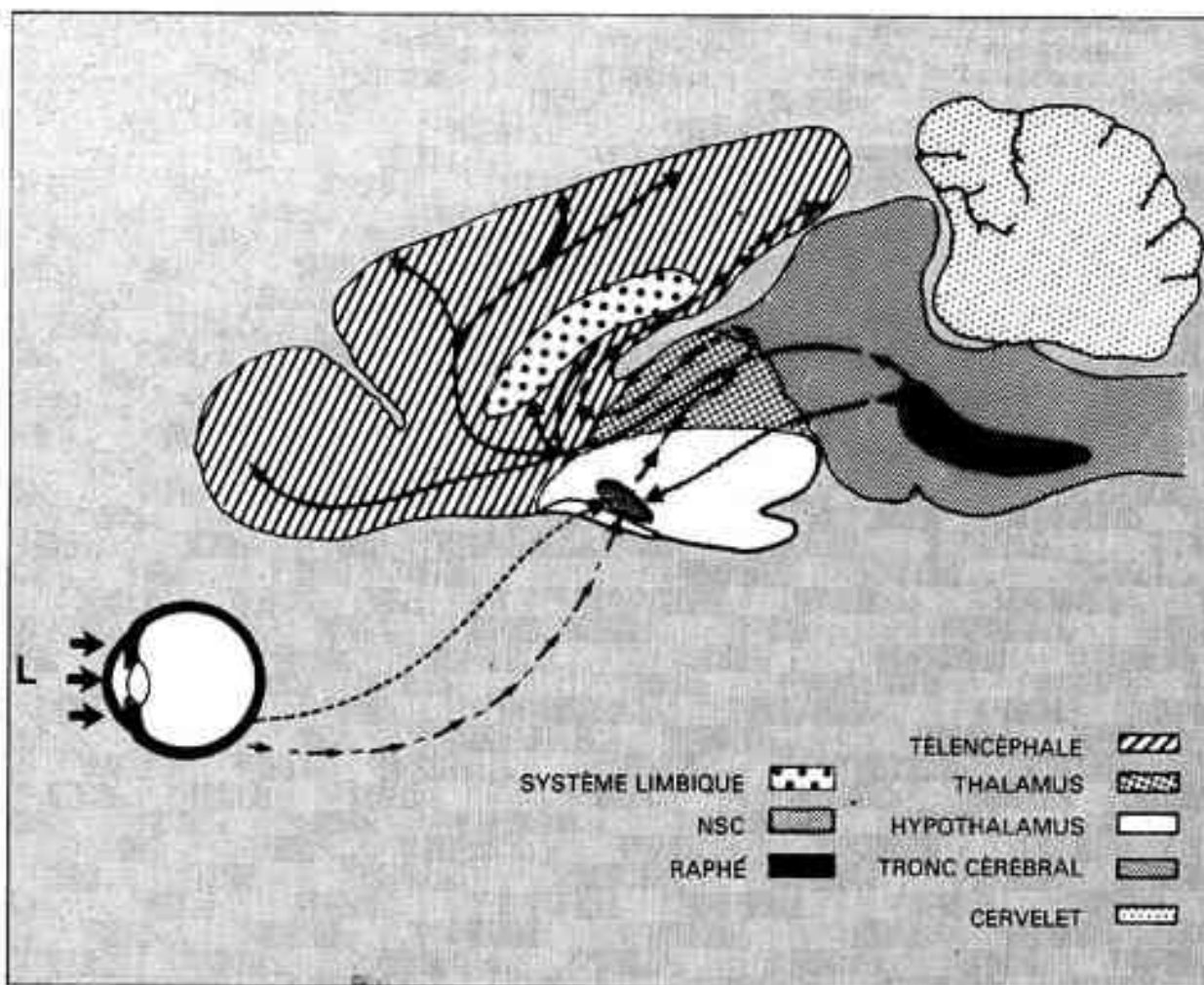


Fig. 5 — Coupe sagittale schématisée du cerveau de rat, montrant en particulier : la localisation du noyau supra-chiasmatique (NSC) dans l'hypothalamus antérieur ; la voie rétinohypothalamique (---) nécessaire à la synchronisation des rythmes circadiens par la photopériode, et qui est une voie nerveuse différente de la voie visuelle (—) ; le système limbique ; le système sérotoninergique descendant, issu des noyaux du raphé mésencéphalique, et qui innerve en particulier le NSC, le système limbique et le cortex ; le tronc cérébral.

la durée subjective d'un tel séjour en augmentant la durée du nyctémère. Or, l'étude du comportement des systèmes circadiens, et notamment des sécrétions surrénales, dans des environnements cycliques de périodes différentes de 24 h, a montré une propriété importante de ces systèmes. Il s'avère, en effet, que la possibilité de l'entraînement de la période des pacemakers n'est pas illimitée. Chez l'homme, et chez le rat, l'entraînement n'est complet que pour des synchroniseurs externes, dont la période est comprise entre 23 et 27 h. Pour des rythmes environnementaux de périodes très longues (par exemple 40 h), ou très courtes (par exemple 10 h), les pacemakers circadiens ne sont plus entraînés du tout, et fonctionnent de façon autonome, selon leur rythme propre (circadien). Mais, entre ces deux situations extrêmes (synchroniseur de 21 ou 29 h par exemple), on assiste à

l'apparition de fluctuations multipériodiques, avec, pour une fonction donnée, (ici la sécrétion d'hormones surrénales), la coexistence, attestée par des méthodes spécifiques de calcul, d'une période endogène, de la période exogène du synchroniseur externe, et de toute une série de périodes courtes, ultradiennes. Ce phénomène de dissociation des pacemakers circadiens, apporte un argument important à la théorie de la structuration d'un pacemaker circadien à partir d'oscillateurs multiples de haute fréquence (7). Ce d'autant plus que l'apparition dans ce type d'expérimentation de composants ultradiens dans des systèmes circadiens, hormonaux ou autres, rappelle les étapes primitives du développement ontogénique chez le nourrisson, où coexistent temporairement pour une même fonction des périodicités ultradiennes et circadiennes.

Structure des systèmes circadiens hormonaux

Comme pour tous les rythmes circadiens, à quelque niveau d'un organisme qu'ils soient étudiés, la recherche des structures et des processus biologiques fondamentaux qui constituent les pacemakers circadiens représente un axe prioritaire d'investigation (8). Il va de soi que la recherche de la structure des pacemakers circadiens générateurs de rythmes hormonaux tributaires de l'hypothalamus endocrine, bénéficie des percées récentes, méthodologiques et conceptuelles, de la neurobiologie moderne, mais elle est aussi confrontée aux difficultés inhérentes à l'étude de tous les systèmes de régulation comportant des ensembles neuronaux multiples. Au stade actuel de nos connaissances, plusieurs structures nerveuses apparaissent comme des organes importants

dans la machinerie complexe qui contrôle les rythmes neuroendocriniens (fig. 5).

Le noyau suprachiasmatique (NSC) (9) : la destruction bilatérale chez le rat de cet ensemble de neurones situés dans l'hypothalamus antérieur, supprime irréversiblement les rythmes circadiens des hormones ACTH (fig. 6), TSH, PRL et LH, tout en maintenant des rythmes circadiens et/ou ultradiens de la surrénale, — ce qui atteste un degré

insoupçonné d'autonomie de cette glande à l'égard de l'hormone hypophysaire qui la contrôle (ACTH) —, et de l'activité générale (veille/sommeil) (fig. 7). Si ce noyau ne représente pas à lui seul le *pacemaker* circadien maître de tous les rythmes circadiens neurovégétatifs, comme on l'a cru il y a quelques années, il n'en représente pas moins un composant important. En outre, on sait aujourd'hui que ce noyau est l'aboutissement d'une voie optique différente de la voie visuelle et qui

apporte au cerveau l'information en provenance de la rétine sur l'alternance lumière-obscurité (photopériode) responsable de l'entraînement de tous les rythmes circadiens neurovégétatifs.

(7) voir : "Vertebrate circadian system, structure and physiology", J. Aschoff, S. Daan et G.A. Groos eds, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982.

(8) Un colloque de la Max-Planck Gesellschaft (RFA) a fait le point des avancées récentes dans ce domaine, voir la réf. 7.

(9) Voir sur la figure 5 la position des structures nerveuses évoquées ici.

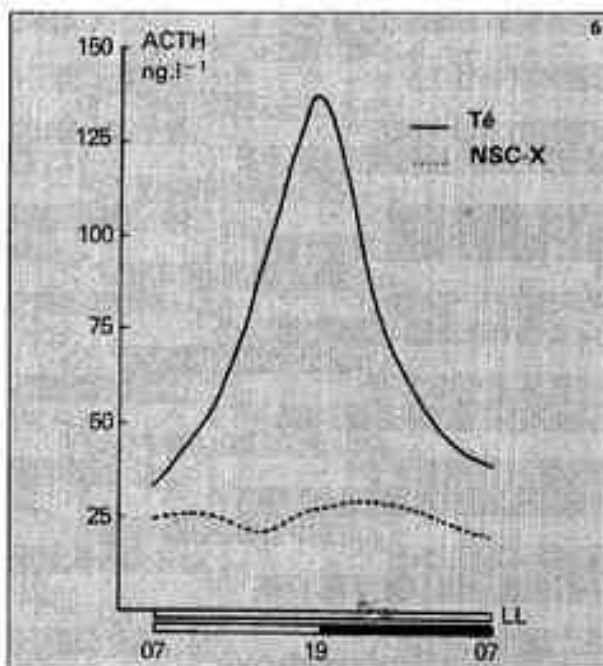


Fig. 6 — Abolition du rythme circadien de la sécrétion d'ACTH par destruction bilatérale des noyaux suprachiasmatiques (NSC-X). Té : rats témoins.

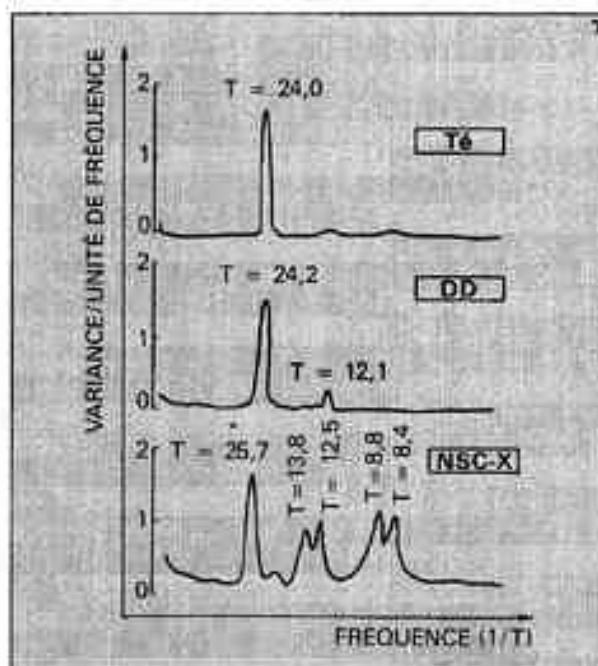


Fig. 7 — Analyse spectrale du rythme circadien de l'activité générale du rat. Té : rat témoin synchronisé par une photopériode de 12 h de lumière et 12 h d'obscurité. La période du rythme biologique est celle du synchroniseur (24,0 h). DD : rats élevés à l'obscurité permanente ; le rythme circadien évolue "en libre cours" selon la période de son oscillateur endogène (24,2 h) ; on note la présence d'une harmonique de cette période (12,1 h). NSC-X : lésion bilatérale des noyaux suprachiasmatiques ; l'oscillateur est "dissocié" en plusieurs composants constitutifs, et l'on voit apparaître, à côté d'une période endogène (25,7 h), toute une série de périodes ultradiennes.

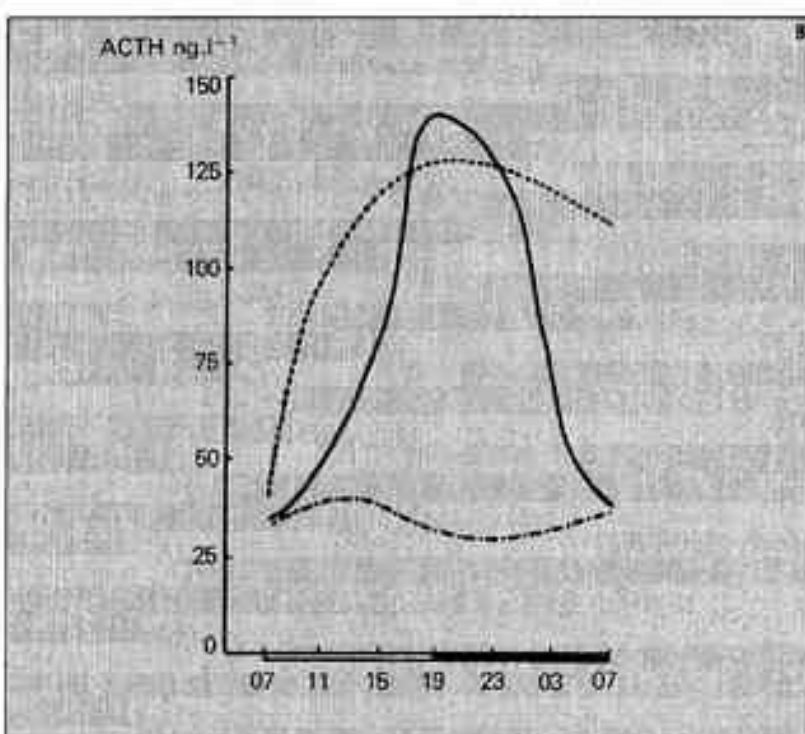


Fig. 8 — Suppression du rythme circadien de l'ACTH (rythme témoin en trait plein) par des antagonistes pharmacologiques : du système sérotoninergique (---) ; le rythme est bloqué au niveau minimum. Du système GABAergique (---) ; le rythme est bloqué au niveau maximum.

Le système limbique : cet important complexe du cerveau est relié à l'hypothalamus par plusieurs circuits nerveux, et contrôle, avec lui, notamment le déroulement des comportements de base et l'affectivité. Mais des lésions discrètes dans certaines régions limbiques (amygdala), ou l'interruption de ses principales connexions avec l'hypothalamus (strie terminale) altèrent profondément le rythme circadien de l'ACTH. On assiste en particulier à l'émergence de périodes ultradiennes, témoins d'une dissociation de son pacemaker circadien, ici d'origine organique, comparable à celle, d'origine fonctionnelle, que nous avons décrite plus haut.

Le système sérotoninergique du raphe : la sérotonine est l'un des nombreux neurotransmetteurs du cerveau (voir encadré). Le système sérotoninergique constitue l'ensemble des cellules nerveuses utilisant la sérotonine comme médiateur. Or, le blocage pharmacologique de la synthèse de la sérotonine supprime également, chez le rat, les rythmes circadiens de l'ACTH (fig. 8), de TSH et de LH. Mais ces rythmes peuvent être restaurés par l'administration quotidienne du précurseur de la sérotonine dont la synthèse est précisément inhibée, à condition que ce précurseur soit administré à une heure bien précise du nyctémère (c'est-à-dire pendant le sommeil).

Le système noradrénergique : la noradrénaline est un autre neurotransmetteur important. Les cellules nerveuses qui la synthétisent sont réunies dans différents ensembles nerveux du tronc cérébral, la partie la plus primitive du cerveau. Or, la destruction d'un groupe bien défini de cellules noradrénergiques du bulbe rachidien, ou le blocage pharmacologique de la voie nerveuse qui en est issue et qui est destinée à l'hypothalamus ne laissent subsister que des oscillations ultradiennes, d'amplitude réduite, de la sécrétion de l'ACTH.

Le système GABAergique : enfin, tout récemment, l'un des grands systèmes inhibiteurs du système nerveux central, le système GABAergique (c'est-à-dire qui fonctionne avec le neurotransmetteur GABA) a été impliqué dans les mécanismes de contrôle des rythmes circadiens hormonaux, puisque sa suppression pharmacologique supprime le rythme de l'ACTH. Mais dans ce

cas, la sécrétion de l'ACTH reste bloquée au sommet, alors que l'inhibition du système sérotoninergique la bloque à la base (fig. 8).

Ces quelques exemples montrent la voie ouverte à l'exploration moderne du système circadien générateur des rythmes neuroendocriniens étudiés ici.

Il apparaît aujourd'hui que ce pacemaker circadien est formé d'un réseau complexe de sous-systèmes interconnectés, dont plusieurs éléments ont été identifiés récemment. Trois d'entre eux y tiennent une place prééminente puisque leur suppression entraîne l'abolition pure et simple de toute rythmicité détectable : le noyau supra-chiasmatique, — probablement une structure majeure d'intégration —, le système sérotoninergique, composant stimulant, et le système GABAergique, composant inhibiteur. D'autres structures nerveuses semblent jouer un rôle déterminant dans l'intégration des oscillations ultradiennes des rythmes neuroendocriniens en un rythme circadien, par exemple le système limbique et le système noradrénergique. Une approche combinée, micro-lésionnelle et neuropharmacologique (perfusions sélectives des structures nerveuses *in situ* avec des microcannules "push-pull"), guidée par les données de plus en plus performantes de la neurobiologie cellulaire, devrait permettre, dans un certain avenir, une caractérisation de l'ensemble des composants du (ou des) système(s) circadien(s) responsables des rythmes neuroendocriniens, de leur organisation morphologique et fonctionnelle, et de leur probable plasticité.

Perspectives médicales

Dans cette brève revue, nous nous sommes surtout attachés à montrer la stratégie des recherches physiologiques sur les rythmes hormonaux circadiens, qui vise à la caractérisation des mécanismes générateurs de ces systèmes et de leur possible rôle adaptatif pour l'organisme. Cependant, comme dans tous les domaines de la physiologie, toute une série d'applications médicales sont, ici aussi, directement tributaires des découvertes physiologiques. Ainsi, plusieurs innovations récentes dans le domaine de la santé s'appuient dès à présent sur les acquis des concepts de la rythmicité circadienne des systèmes hormonaux pour optimiser deux stratégies médi-

cales fondamentales : la posologie médicamenteuse et la prévention des maladies. Dans la première perspective, la chronopharmacologie prend en compte les variations circadiennes des effets pharmacologiques, thérapeutiques, mais aussi toxiques (iatrogènes) des médicaments pour en optimiser le dosage et la répartition nyctémérale. Dans le domaine de la prévention, le but recherché est l'amélioration des conditions de travail, lorsque des exigences professionnelles requièrent des déphasages externes fréquents (personnels volants des lignes aériennes transméridiennes), ou réguliers (travail posté avec horaires "tournants") dont la formule la plus ancienne, mais non la moins nocive pour l'organisme, est celle dite des "3 fois 8" avec rotation hebdomadaire.

Bien que moins avancées que pour les rythmes circadiens, les applications médicales de la découverte d'autres fréquences des sécrétions hormonales procèdent naturellement de la même stratégie. Ainsi, le traitement de certaines stérilités hormonales chez la femme s'inspire directement de la programmation circulaire de la sécrétion de l'hormone inductrice de l'ovulation et de l'hormone hypothalamique LHRH évoquée plus haut.

Il va sans dire que, comme ailleurs en physiologie, les avancées vers les mécanismes fondamentaux des rythmes hormonaux, et en particulier la connaissance des pacemakers circadiens qui les contrôlent, ouvriront la voie à de nouvelles perspectives médicales dans les domaines de la pathologie et de la thérapeutique générale. En particulier, la connaissance progressive des systèmes circadiens neuroendocriniens, évoqués plus haut, commence déjà à fournir des bases conceptuelles et diagnostiques nouvelles pour la compréhension de syndromes neuropathologiques liés aux structures cérébrales qui sous-tendent l'ensemble des régulations intégrées, neurovégétatives et comportementales, et pour lesquels l'exploration des rythmes circadiens hormonaux et de leurs altérations pourrait servir de marqueurs sélectifs.

BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE PROPOSÉE PAR LE COST

Le Centre de documentation scientifique et technique du CNRS propose de fournir aux lecteurs intéressés une bibliographie comportant les 100 références les plus récentes signalées dans la base de données PASCAL (voir bon de commande p. 30).

Un chantier de Karnak. La restauration du IX^e pylône d'Horemheb

Construit sous le règne du pharaon Horemheb, à la fin de la XVIII^e dynastie, le IX^e pylône du temple d'Amon menaçait dangereusement de s'effondrer. Une équipe d'archéologues a entrepris de reconstruire entièrement l'édifice.

Jean-Claude GOLVIN - Jean LARRONDE - Eric PUISEUX

Le choix de l'édifice

L'immense ensemble du temple d'Amon, complexe d'édifices dont la construction s'est poursuivie pendant une vingtaine de siècles, ne saurait être présenté dans le cadre d'un seul article, pas plus que l'ensemble des chantiers en cours actuellement. Mais plusieurs ouvrages et des publications régulières leur ont été consacrés. Ils permettent de donner une idée précise de la complexité et de la diversité de ce site exceptionnel.

Aussi avons-nous préféré choisir, parmi les différentes opérations en cours, celle qui semble être la plus spectaculaire et la plus représentative des grands chantiers de restaura-

tion actuels, quitte à consacrer d'autres articles aux activités de terrain et aux recherches poursuivies parallèlement.

L'intérêt qui se manifeste de façon croissante, tant dans le domaine de l'histoire des techniques de construction antiques que dans celui des travaux de mise en valeur du patrimoine historique des divers pays, a justifié aussi le choix de ce thème.

Les multiples objectifs fixés au programme du Centre franco-égyptien et de la Mission permanente du CNRS à Karnak imposent d'associer étroitement les travaux de recherche aux travaux de restauration et de mise en valeur du site, l'un des plus fameux et des plus visités d'Égypte. C'est dire, qu'en dehors de l'intérêt que nous éprouvons pour entreprendre tel ou tel type de recherche, nous avons aussi un devoir, celui de contribuer le plus efficacement possible à sauvegarder les vestiges d'un patrimoine de valeur universelle.

Le monument dont nous allons esquisser brièvement l'histoire aujourd'hui, est le IX^e pylône de l'enceinte d'Amon*, avant-dernière porte monumentale du grand Temple, située dans la partie sud du site (fig. 1).

Le IX^e pylône

Cet édifice fut construit sous le règne du pharaon Horemheb à la fin de la XVIII^e dynastie (1332-1305 av. J.C.), comme l'a confirmé la découverte des dépôts de fondation contenant des briquettes vernissées au nom de ce roi et celle

d'une plaque de bronze gravée de son cartouche, qui avait été clouée à la base d'un des quatre hauts mâts de bois dressés contre la façade sud. Ces grands mâts portaient autrefois à leur sommet des oriflammes flottant au vent et leur base venait se loger dans l'évidement circulaire pratiqué à la partie supérieure d'un socle de pierre. Ils étaient maintenant une deuxième fois en partie haute, par des pièces de bois horizontales logées dans des ouvertures pratiquées dans les parois du pylône.

La disposition d'origine de ces monuments est bien connue grâce aux bas-reliefs pharaoniques qui les ont représentés sur les parois de plusieurs édifices de Karnak, ainsi qu'au temple de Louxor. Certains autres monuments permettent aussi d'avoir une bonne idée de l'aspect général que devait présenter le IX^e pylône à l'origine, en particulier celui de Louxor conservé encore jusqu'au niveau de sa corniche et construit à l'époque de Ramsès II (1290-1224 av. J.C.), à une date assez voisine de celle du grand édifice d'Horemheb qui nous intéresse plus précisément ici. La structure du IX^e pylône de Karnak a été révélée à l'occasion du démontage de son môle ouest, entrepris à partir de 1964 (fig. 2) et de son vidage, achevé de façon très intensive entre 1978 et 1980 (fig. 3). On comprend l'urgence de ces travaux en revoyant les photographies anciennes du monument.

(*) Le IX^e pylône est l'un des plus grands édifices de ce type à Karnak : sa longueur totale est de 66,07 m, sa largeur de 11,84 m et sa hauteur conservée jusqu'à la corniche de 26,10 m.

□ Jean-Claude Golvin, architecte, directeur de la mission permanente en Égypte, Ambassade de France au Caire, Centre franco-égyptien des temples de Karnak, service de la visite ; Ministère des affaires étrangères, 37, quai d'Orsay, 75007 Paris.

□ Jean Larronde, chef de travaux (ITA-CNRS), responsable, à Karnak, outre les travaux de reconstruction du IX^e pylône, des ateliers et du matériel ; il participe à l'étude des techniques de construction dans l'Égypte ancienne.

□ Eric Puisseux, architecte DPLG, affecté au Centre au titre de coopérant (VSNA), dans le cadre de la Coopération culturelle, par le Ministère des relations extérieures. A participé à l'établissement du projet de remontage du pylône et contribue aux travaux de terrain actuels.

□ Les photographies sont d'Alain Bellet.

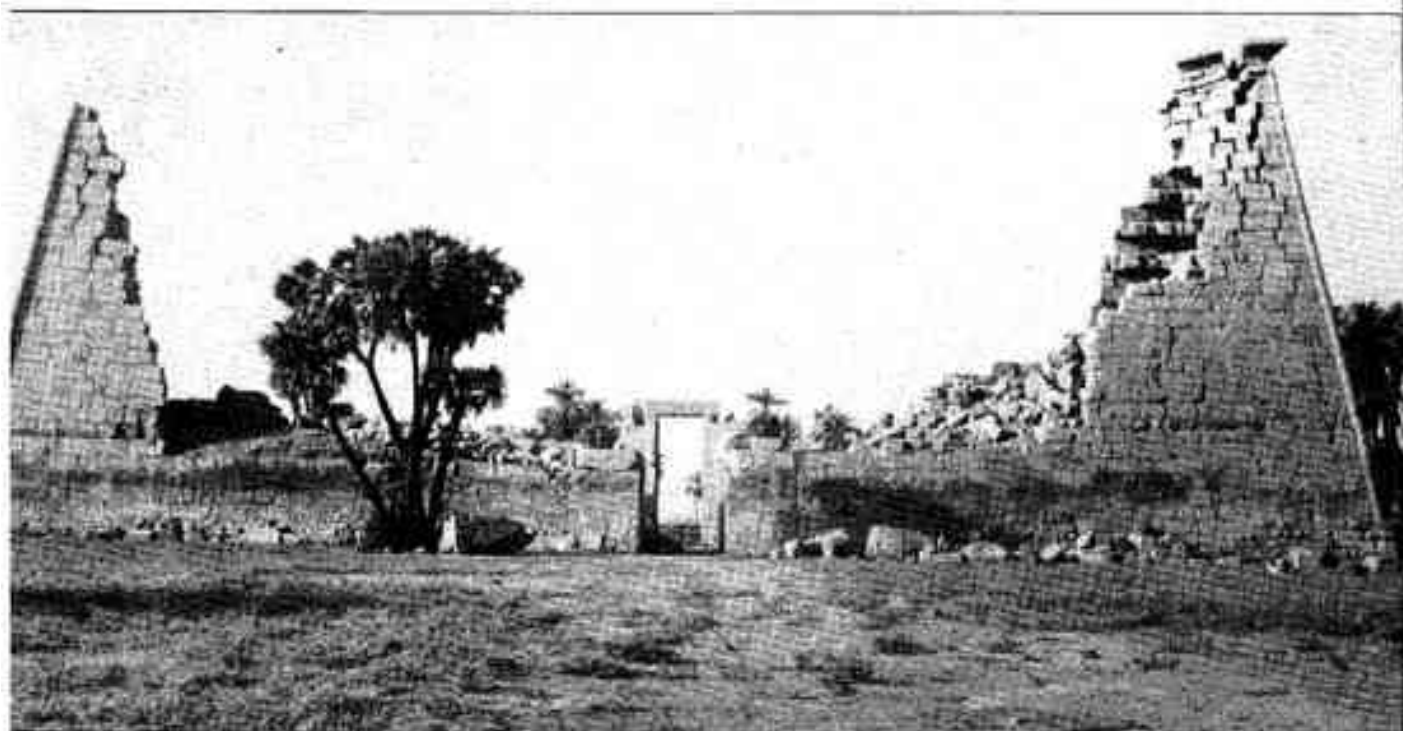


Fig. 1 — Vue du IX^e pylône avant 1964. La partie supérieure du môle ouest commençait à se déverser et menaçait de s'effondrer.

Les travaux sur les murs de parement

Les parements de la partie supérieure du môle ouest commençaient à se déverser dans une gerçure vers l'intérieur (fig. 1) et le phénomène avait pris beaucoup trop d'ampleur pour permettre une simple consolidation en place ou une tentative de redressement sans démontage. Il fut donc décidé de descendre et de classer méthodiquement chaque bloc assise par assise, dans la grande cour disponible immédiatement au nord du chantier. Le grand échafaudage de bois alors réalisé (fig. 2) rappelait ceux qu'Henri Chevrier utilisa dans les années 1945-1950, pour assurer le démontage et la consolidation du II^e pylône, d'un de ceux qui furent également avec le X^e, érigés ou achevés par Horemheb à Karnak.

Doucement, les grands blocs de grès débités à la fin de la XVIII^e dynastie dans les carrières du Gebel Silsileh au nord d'Assouan descendent par de grands palans pour être déposés dans la cour où nous les reprenons un à un aujourd'hui, afin de leur redonner leur place mais en s'appuyant sur une structure nouvelle régulière et solide. Malheureusement, les déformations importantes du pylône avant son démontage,

n'avaient pas permis d'effectuer un relevé précis susceptible de guider l'opération de reconstruction des parois. Les façades du pylône, dessinées telles quelles, avec leurs déformations, faisaient apparaître des fissures béantes et de nombreux blocs représentés sur les élévations étaient vus de façon oblique.

Ces relevés ne pouvaient donc avoir, du moins en ce qui concerne la partie supérieure de l'édifice, toute la précision voulue. Ils permirent néanmoins de disposer d'une série de documents utiles au marquage des blocs. Le numéro attribué à chacun d'eux fut indiqué sur ces dessins qui eurent le mérite de conserver le souvenir de l'aspect initial du bâtiment à restaurer. Ces numéros matricules furent gravés sur la face supérieure de chaque bloc. Tout cela constituait déjà une bonne base ; mais pour réaliser les documents indispensables au remontage effectif des parois, il fallut concevoir une méthode qui permette d'atteindre un degré de précision beaucoup plus élevé, car dans ce type de restauration, la difficulté majeure vient des parois décorées d'inscriptions et de reliefs, qu'il faut parvenir à raccorder parfaitement sur les quatre côtés de chaque bloc. En effet, la moindre erreur effectuée au moment de la pose risque de se répercuter de façon de plus en plus sensible d'une assise à l'autre. Elle

ne peut guère être corrigée en raison de l'existence des bas-reliefs qui empêchent d'envisager tout raccourcissement des blocs. Une pose mal préparée et hâtivement entreprise risque de faire apparaître très tôt des vides ou des raccourcissements tels que les parois décorées ne peuvent plus se raccorder convenablement. Dans ce cas, il est nécessaire de tout redémonter et, au lieu de gagner du temps, la précipitation conduit à en perdre beaucoup en risquant de surcroît d'abîmer les blocs par suite de trop nombreuses manipulations.

Il était indispensable aussi, avant toute autre chose, de procéder à un examen minutieux des blocs déposés et à un recollage de tous ceux qui s'étaient fissurés. Ces travaux furent réalisés par l'équipe du laboratoire de technologie du Centre. A leur issue, les pierres étaient toutes suffisamment solides pour être manœuvrées sans dommage. Une voie de petit train Decauville fut alors installée pour permettre de les conduire vers le studio photographique orientable installé à proximité immédiate du chantier. Cet appareil consiste en un châssis pivotant dont l'axe est occupé par une plaque tournante portant un wagon sur lequel on dispose le bloc à photographier. Le châssis portant l'appareil de prise de vue tourne progressivement comme une branche de compas au cours de

Le Centre franco-égyptien de Karnak est régi par un protocole bilatéral signé en 1967. Il a pour mission d'assumer les travaux de mise en valeur du grand temple d'Amon (restaurations, lutte contre les dégradations) et la publication des résultats de ses recherches.

Le démontage des murs du pylône, en 1964, a été assuré par M. Farag Abd-el-Motleb ainsi que la réalisation de la structure neuve et la reconstruction des murs de parement, la préparation de la maquette de remontage, l'enlèvement des grands blocs de Sesostris, par J. Larronde. La fouille de l'intérieur du pylône, l'extraction des couches de *talatat*, les relevés et l'étude architecturale des pylônes d'Horemheb sont dus à M. Azim. La restauration des blocs de parement et des *talatat* et les études relatives au règne d'Amenophis IV fondées sur ces nouvelles données, ont été entreprises par Cl. Traunecker. La publication des éléments découverts au cours de la fouille tels que les dépôts de fondation d'Horemheb, a été faite par M. Azim et celle d'une plaque de bronze gravée au cartouche d'Horemheb, par Cl. Traunecker ainsi que le rapport préliminaire sur la chapelle de Sesostris I^{er}, découverte dans le môle ouest du pylône. L'étude des premiers assemblages de *talatat* est due à F. Le Saout et Cl. Traunecker, les photographies métriques des blocs de parement, des *talatat* et la conception du studio orientable de prise de vue ont été assurées par A. Bellod.

Outre les membres de la mission permanente précitée, ont travaillé aux travaux du IX^e pylône, dans le cadre de la coopération technique, MM. Philippe Gilbert, P. Delcuze (topographes), G. Charpentier, C. Simonnet, E. Pulseux (architectes).

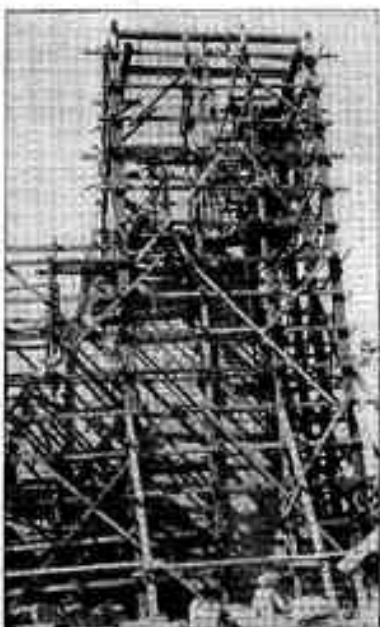


Fig. 2 — Démontage du môle ouest du IX^e pylône par le Service des Antiquités de l'Égypte en 1964.



Fig. 3 — Vue des fouilles pratiquées à l'intérieur du monument en 1981, enlèvement des couches de *talatat*.

la matinée, en fonction de l'avancement du soleil, de façon à ce que les ombres portées par les reliefs soient toujours équivalentes. La distance entre la paroi décorée et l'appareil étant constante, on peut obtenir l'image parfaite de chacun des blocs à une même échelle (fig. 4). Les tirages effectués à partir de ces négatifs permirent donc de disposer rapidement d'un document fiable en ce qui concerne la face visible (ou parement) de chaque pierre. Les autres faces devaient être, en revanche, mesurées sur place, de façon à constituer un fichier susceptible de don-

ner fidèlement la "carte d'identité" de chaque bloc. Ce travail méticuleux et long, permit la reconstitution, au 1/10^e, à la façon d'un puzzle géant, de chacune des façades à remonter (fig. 5).

Les difficultés de manipulation ne manquèrent pas à ce stade du travail, mais les engins nécessaires au levage des blocs ayant été renouvelés, il fut possible de poursuivre le contrôle systématique des dimensions. Ensuite, il fallut harmoniser les montages photographiques entre eux de façon à ce qu'aucun décalage n'apparaisse entre les assemblages

de deux façades perpendiculaires l'une à l'autre. Ce réglage ne put être obtenu que progressivement, à force de patience, en modifiant doucement chaque assemblage jusqu'à ce que les différentes faces du monument concordent parfaitement. La maquette ainsi obtenue définissait alors, avec une très grande précision, l'aspect du monument tel qu'il serait une fois reconstruit. Il fallut disposer aussi d'un relevé topographique très précis de la dernière assise subsistante, celle sur laquelle devaient être reposés les premiers blocs. Enfin, il était utile de vérifier l'aspect des parois encore en place et en particulier leur bombement éventuel, pour pouvoir apprécier le décalage réel existant entre la forme plane des panneaux de la maquette et celle des murs déformés de l'édifice.

Une fois en possession de ces données, il fut possible de tracer, sur chacun des panneaux de la maquette, un quadrillage parfait. (Ce dernier représente aujourd'hui le moyen de contrôle le plus efficace et le plus simple de la pose).

Mais toutes les opérations préliminaires évoquées jusqu'ici n'ont concerné que les murs de parement du pylône. Il est indispensable de rappeler aussi les travaux, non moins délicats, qui ont porté plus spécialement sur sa partie intérieure, constituée d'un remplissage compact dont la nature a pu être étudiée de façon très détaillée.

Les travaux sur la partie intérieure

Les grands chantiers de Karnak sont, en effet, l'objet d'observations archéologiques particulièrement intéressantes. Ayant la chance de démonter des édifices pharaoniques, il nous est possible d'en observer toutes les caractéristiques et de contribuer ainsi à poursuivre l'étude des techniques de construction antiques, beaucoup mieux qu'il ne serait possible de le faire en nous contentant d'examiner les structures uniquement de l'extérieur. Nous ne pourrions que résumer à grands traits les résultats de ces observations, déjà publiées dans les récents volumes des *Cahiers de Karnak*.

On sait aujourd'hui comment la nature même de la structure des grands pylônes d'Horemheb peut expliquer leur effondrement. Leurs murs de parement obliques s'appuyaient en effet à l'origine sur un

remplissage hétérogène. Seul le tiers inférieur de ces édifices était rempli à l'aide de blocs de pierre, alors qu'à leur partie supérieure, ce remplissage ne consistait qu'en un remblai de déchets de taille de petites dimensions et de terre. A la suite de catastrophes naturelles, ou du pillage des premiers blocs de parement par les habitants venus chercher à bon compte de la pierre à bâtir après l'abandon du temple, les murs extérieurs n'assurèrent plus le maintien de cette masse pulvérulente et celle-ci commença à se répandre à l'extérieur. Petit à petit, les parties subsistantes des grands murs obliques ne prirent plus appui sur rien et elles commencèrent à s'affaisser puis à tomber (fig. 1).

C'est de cette manière que s'effondra le IX^e pylône, édifice dont les caractéristiques techniques montrent par ailleurs qu'il dut être très rapidement construit. Il ne devait pas être particulièrement solide puisqu'on remarque que dès l'Antiquité, sa partie inférieure dut être restaurée de façon importante à l'aide de blocs de grès. Leur parement, laissé brut, présente de gros bossages encore bien visibles sur place aujourd'hui (fig. 1).

Ainsi, le vidage du IX^e pylône portait-il essentiellement sur le tiers inférieur du môle ouest, celui qui avait été rempli en pierre. Il s'agissait presque exclusivement de petits blocs de grès de dimensions semblables appelés "*talatat*" assez légers pour être transportés par un seul homme, ce qui permettait de déplacer très rapidement un important tonnage de pierre. Ces petits blocs avaient été arrachés par milliers aux édifices qu'Amenophis IV (env. 1365-1349 av. J.C.) avait fait construire à Karnak au début de son règne à l'est du grand temple d'Amon et qui furent abandonnés après sa mort.

Plus d'une trentaine de couches de "*talatat*" au total furent enlevées, ce qui permit de récupérer près de 12 000 blocs d'un très grand intérêt en ce qui concerne l'étude du début du règne d'Amenophis IV. Les scènes et les inscriptions retrouvées à l'état de fragments constituent un ensemble du plus haut intérêt historique. Tous ces blocs ont été photographiés à la même échelle et catalogués. De grandes reconstitutions de certaines scènes ont ainsi été réalisées et déjà en partie publiées. Les égyptologues disposent aujourd'hui d'une masse inépuisable de docu-

ments permettant d'aborder l'étude de thèmes extrêmement variés relatifs à cette période originale et attachante de l'histoire de l'Égypte, celle au cours de laquelle Amenophis IV, qui se fit appeler ensuite *Akhenaton*, tenta d'imposer la suprématie du dieu *Aton*, dont la représentation tangible était le disque solaire. Le lot de *talatat* de Karnak constitue une source irremplaçable, laissant espérer la poursuite des découvertes très encourageantes déjà effectuées dans le domaine du culte atonien, comme

Sesostris I^{er} (env. 1971-1929 av. J.C.) dont les éléments avaient été aussi placés en remplissage au cœur du pylône, au moment de sa construction. Il se peut que les parties manquantes de ce petit monument décoré de reliefs extrêmement fins, rappelant ceux de la célèbre "chapelle blanche" de Karnak, restent enfouies dans le môle est du IX^e pylône, qui n'a pas été vidé car il pouvait être simplement consolidé tel quel.

Ainsi, en 1980, à l'issue de ces tra-

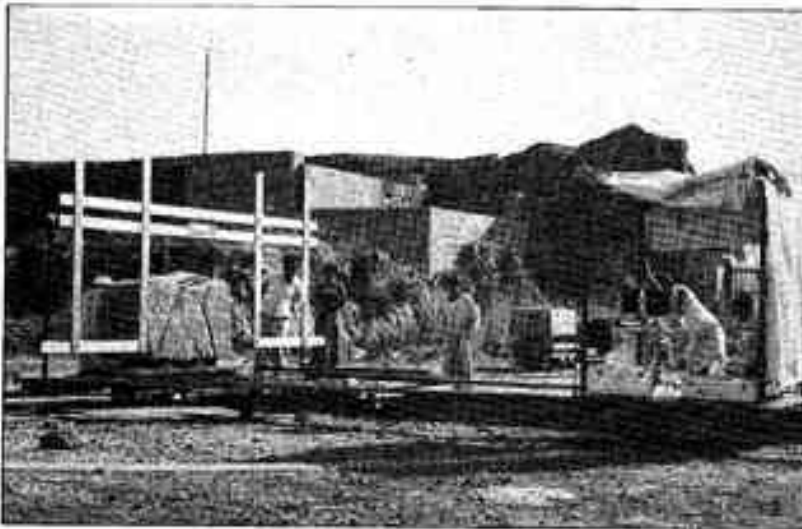


Fig. 4 — Opération de prise de vue des blocs de parement, en vue de la constitution de la grande maquette de restitution des façades.

sur de multiples autres thèmes : représentations royales, scènes de palais, faune, flore, scènes de métiers, etc. Tout un univers, bien daté, réapparaît ainsi, arraché aux flancs d'un des grands pylônes de Karnak. Ces milliers de blocs restaurés et catalogués sont conservés dans les magasins du site, spécialement construits pour les recevoir et une partie en est aujourd'hui exposée au nouveau Musée de Louqsor, sous la forme d'un grand assemblage. La valeur de ces documents, tant sur le plan scientifique qu'artistique, a justifié un vidage très poussé du pylône, dans l'espoir de parvenir à en récupérer le plus grand nombre. Leur prospection s'acheva donc volontairement à la période de l'année au cours de laquelle les eaux se situaient au niveau le plus bas, dans la nappe phréatique elle-même (fig. 3). Outre les *talatat*, furent retrouvés aussi deux énormes blocs de calcaire extrêmement fissurés qui durent être extraits du pylône avec d'innombrables précautions. Il s'agissait des murs latéraux d'une petite chapelle de

vaux, le môle ouest du pylône se trouvait-il entièrement privé de la structure pleine sur laquelle ses murs de parement avaient pris appui pendant des millénaires. La fouille du môle n'avait d'ailleurs été rendue possible qu'au prix d'une consolidation régulière des murs latéraux, au fur et à mesure de l'enlèvement des couches de *talatat*.

Pour pouvoir reconstruire l'édifice, il fallut donc prévoir de réaliser au cœur du môle vidé de son précieux contenu, une nouvelle structure assez solide pour offrir un appui durable aux parois restaurées. Celle-ci consistait en un réseau serré de poteaux et de poutres en béton armé, définissant des travées régulières et soutenant des dalles étagées tous les quatre mètres (fig. 6). L'espace compris à chaque niveau, entre les poteaux et ces dernières, était donc libre et réutilisable. De vastes locaux existent donc aujourd'hui au cœur du pylône, permettant de disposer de nouveaux magasins, propices au rangement de nombreux blocs de calcaire épars qui souffrent encore à

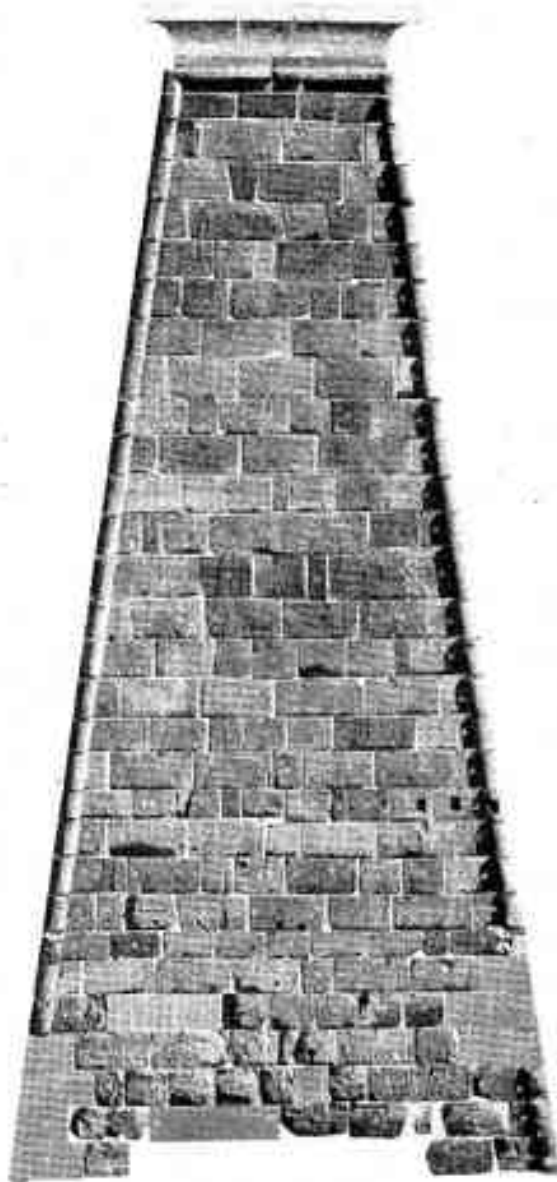


Fig. 5 — Maquette de restitution de la façade ouest du monument effectuée à partir des photographies de chacun des blocs, prises et tirées à une même échelle.

La coopération franco-égyptienne CNRS - ARST

L'accord signé en août 1977 entre le CNRS et l'Académie de recherche scientifique et de technologie (ARST), a été complété par un programme exécutif signé par le Directeur général du CNRS, en mars 1984, qui redéfinit les champs de coopération prioritaires. En plus de l'archéologie, les thèmes retenus sont les suivants :

- photochimie : recherche concernant surtout le textile et la teinture.
- électronique : utilisation de micro-processeurs et conversion photovoltaïque.
- plantes médicinales : recherche biologique et photochimique de plantes choisies, spécialement celles utilisées dans la médecine locale.
- aménagement du désert.
- océanographie et problème de la pêche.

Le secteur le plus dynamique est celui de la physique. Une école d'hiver s'est tenue à Assouan du 28 janvier au 8 février 1984 sur « la physique des lasers et ses applications » (physique fondamentale, chimie, imagerie, communication, industrie, médecine). Au cours de cette réunion, neuf conférenciers français sont intervenus ainsi que deux conférenciers égyptiens, soit 43 heures de cours en présence de 70 élèves. Cette école marque la 1^{re} étape de la création d'un Centre de physique des lasers à l'Université du Caire avec une participation française (conseillers scientifiques et thèses en co-tutelles).

l'air libre sur le site. Les grandes dalles réalisées permettent aux ouvriers de travailler à niveau, et de concevoir un remontage en plusieurs étapes (chacune devant être menée à bien au cours des prochaines années) (fig. 6).

Chaque étape de la structure est réalisée à l'avance et constitue ainsi le cœur stable de l'échaffaudage utile aux travaux. Sur le rebord de la dalle supérieure, peuvent être fixés à chaque fois les repères et les cordons utiles au contrôle de la pose des blocs. Tout écart apparaissant entre la maquette de chaque paroi réalisée au 1/10^e et la position réelle des blocs remontés est immédiatement décelable. De cette façon, les erreurs de pose sont évitées ou vite remarquées et le chantier peut progresser avec rigueur et sécurité.

Résultats et conclusions

L'un des plus grands pylônes thébains retrouve ainsi progressivement un peu de sa splendeur passée, mais celle-ci ne sera en rien comparable à celle du monument à l'origine. Trop d'éléments ont disparu. On ignore la hauteur exacte de la grande porte axiale ou la nature des bas-reliefs qui ornaient la partie disparue des deux mâles. Ainsi ce beau pylône d'Horemheb se présentera à peu de choses près, tel qu'avaient déjà pu le voir les membres de l'expédition de Bonaparte en Égypte, en 1799.

Simplement, l'édifice apparaîtra bientôt dans des cours bien dégagées au milieu desquelles sa masse se dressera plus majestueusement qu'au XVIII^e siècle. Il aura retrouvé un peu d'ampleur mais gardera, pour l'essentiel, le charme indéfinissable qui se dégageait des belles ruines de Karnak, telles que les premiers voyageurs avaient pu les voir. Les restaurations entreprises dans le temple d'Amon veulent garder ce caractère d'authenticité et de discrétion. Seuls des blocs authentiques seront remis en place et les restitutions plus hypothétiques ou plus osées ne seront présentées au public que sous forme de maquettes. L'option a été prise de préserver le caractère du site et de ne pas tenter de restaurations abusives risquant de le défigurer, ou mobilisant des moyens financiers importants, qu'il vaut beaucoup mieux consacrer ailleurs dans le but de sauver de la destruction et des dégradations naturel-

les d'autres édifices ainsi que de multiples blocs inscrits.

La découpe des murs ne présentera jamais de raideur car leur profil se détachant sur le ciel respectera les irrégularités issues de la lente destruction du temple. Les axes de vue qu'auront les visiteurs seront particulièrement étudiés afin de lutter contre le désordre des blocs dispersés et soumis à l'action néfaste de l'humidité émanant du sol. Les éléments déplacés sont aujourd'hui progressivement classés en vue de faciliter les nombreuses études et restaurations futures. On peut jouer aussi avec les masses des gros monolithes épars pour composer des ensembles agréables à voir, faisant progressivement de tout le site un véritable musée de plein air traité dans un esprit "paysagiste" où chaque perspective, chaque espace, devra être pensé et traité avec un grand souci esthétique et didactique.

Mais beaucoup de travail reste encore à accomplir pour atteindre ce but et nous devons tout d'abord longtemps concentrer nos efforts sur les zones les plus menacées et les plus visitées du temple. Le chantier du IX^e pylône permettra d'apporter une contribution inestimable à la mise en valeur de toute la zone sud de la demeure du dieu Amon, située en direction du temple de sa parèdre la déesse Mout et du grand temple de Louqsor.

Ces travaux auront permis aussi de mieux connaître les procédés de

construction employés à l'époque pharaonique et d'enrichir les publications scientifiques de remarques techniques et historiques importantes. Ces résultats mériteront d'être présentés dans le cadre de nouveaux articles, qui feraient part notamment des découvertes effectuées à partir de l'étude des blocs d'Amenophis IV. Les autres grands chantiers de Karnak qui se déroulent parallèlement dans la zone centrale du temple et les études architecturales qui les accompagnent pourraient aussi à leur tour être ultérieurement présentés ici.

L' évocation de la restauration du IX^e pylône pourrait inaugurer une série d'articles qui seraient destinés à mieux faire connaître les objectifs et les résultats d'un des plus grands chantiers archéologiques en activité à l'étranger. L'étroite collaboration internationale qui lui permet de poursuivre ses travaux prévaut aussi au niveau de l'approfondissement et de la diffusion des recherches. Karnak, chantier depuis toujours, restera sans doute encore longtemps un grand "corps" en perpétuelle mutation offrant aux regards des spécialistes les détails secrets de son "anatomie".

Disséqué, décrit, étudié puis soigné, il ne peut cesser de faire l'objet d'un intérêt croissant dans les domaines de l'histoire des techniques (procédés de construction, étude des dégradations), des recher-

ches égyptologiques (épigraphie, architecture, fouille) et de l'histoire de l'art (en particulier pour l'époque d'Amenophis IV). Irremplaçable école d'application de techniques de restaurations étudiées dans les laboratoires du centre et contrôlées en permanence sur place, il continuera à s'ouvrir aux investigations de nombreux chercheurs et techniciens nationaux et étrangers. Ses moyens actuels lui permettent d'assumer cette tâche de recherche, de formation et d'information appréciée par les spécialistes autant que par les milliers de visiteurs qui ne restent jamais indifférents au message transmis par ces pierres millénaires, témoins des activités et des croyances des hommes qui ont édifié ici, sur les bords du Nil, une des civilisations les plus brillantes et les plus importantes pour la compréhension de notre propre histoire. Mais Amon a le temps pour lui. Tous nos efforts actuels ne représenteront jamais qu'une toute petite période dans l'histoire des édifices de Karnak, déjà vieille d'au moins quatre mille ans ! Espérons surtout qu'ils auront permis, en révélant une petite partie des inestimables richesses de ce site, de sauver de nombreux éléments, qui faute d'une intervention rapide auraient été irrémédiablement détériorés ou perdus. On pourrait dire enfin que l'esprit des travaux appliqués au grand temple veut s'efforcer de respecter au mieux la devise de ses illustres bâtisseurs, « vie, stabilité et force ».

BIBLIOGRAPHIE

- Les travaux les plus récents du Centre franco-égyptien de Karnak ont été publiés dans les *Cahiers de Karnak* : Karnak V (1970-1972), Le Caire, 1975 ; Karnak VI (1973-1977), Le Caire, 1980 ; Karnak VII (1978-1981), Paris, 1982.
- Monographies récentes : Cl. Traunecker, F. Le Saout, O. Masson, *La Chapelle d'Achéménès à Karnak*, Paris 1981, vol. II et J. Lauffray, vol. I (à paraître).
- R.A. Parker, J. Leclant, J.C. Goyon, *The ceiling of Tjahmès in the sacred lake of Karnak*, London, 1979.
- Ouvrages généraux : J. Lauffray, *Karnak d'Égypte, demeure du divin*, Éditions du CNRS, Paris, 1979.
- Revues : *Le Courrier du CNRS* n° 9 - juillet 1973, p. 39-41. J.C. Goyon, les travaux récents du Centre franco-égyptien de Karnak de 1978 à 1981, *Comptes rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres*, avril-juin 1981.
- « Karnak », numéro spécial relatif aux travaux et recherches du Centre, dans *Les dossiers de l'archéologie* n° 61, mars 1982.
- Congrès internationaux : Congrès international des égyptologues de Grenoble : *L'égyptologie en 1979*, 2 vol., Éditions du CNRS, 1982 ; communications de MM. J.C. Goyon, J.C. Goyon, Cl. Traunecker.
- Libre du Centenaire de l'Institut français d'Archéologie Orientale*, Le Caire, 1980 ; communications de MM. J.C. Goyon, Cl. Traunecker, M. Arin, Congrès international des égyptologues de Turin (à paraître) ; communications de MM. J.C. Goyon, J.C. Goyon, Cl. Traunecker, A. Belled.

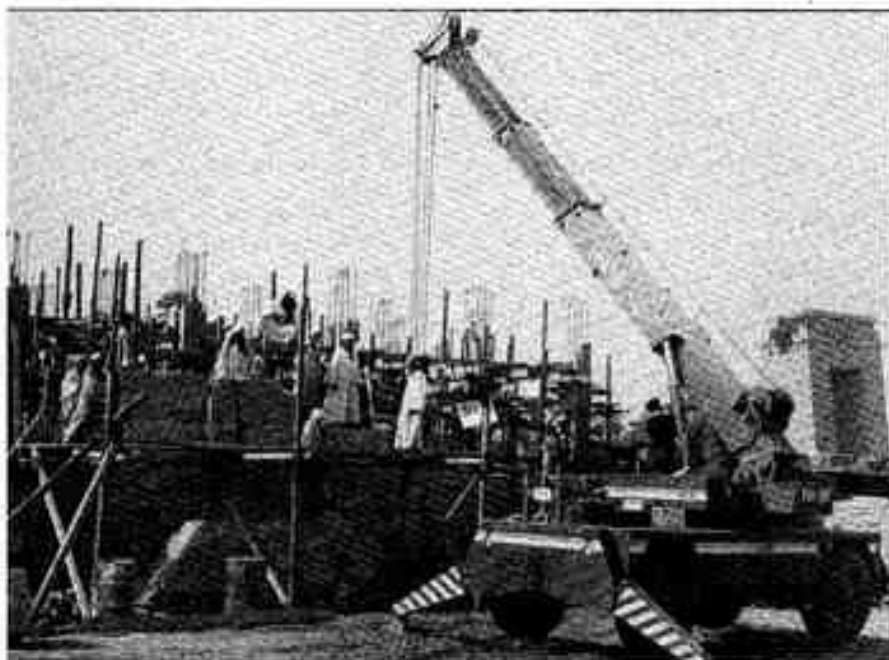


Fig. 6 — Début de la reconstruction des assises des murs de parement du môle ouest du IX^e pylône en février 1983.

L'Europe et la France à l'heure du télescope spatial

Une véritable révolution se prépare dans le domaine de l'astronomie observationnelle, avec la construction d'un télescope spatial international. La France participe à ce projet, mais pour avoir accès à l'appareil, la compétition promet d'ores et déjà d'être rude.

Alfred VIDAL-MADJAR

Le télescope spatial représente un des projets les plus excitants de l'astronomie et de l'astrophysique spatiale. Placé au-dessus de l'atmosphère à 500 km, par la navette spatiale, probablement au cours de l'année 1986, ce télescope de 2,40 m de diamètre provoquera une véritable révolution dans le monde de l'astronomie observationnelle. Des objets cent fois plus faibles seront étudiés et un pouvoir de résolution dix fois supérieur à celui des télescopes des observatoires au sol sera atteint.

L'Europe, à travers l'Agence spatiale européenne, participe à cet extraordinaire projet : elle doit fabriquer les panneaux solaires qui alimenteront le télescope spatial, préparer l'un des cinq instruments focaux appelé la caméra pour objets faibles et participer aux opérations de commande et de récupération des observations depuis l'Institut du télescope spatial à Baltimore aux États-Unis.

En échange, les astronomes européens ont une garantie d'accès à un minimum de 15 % du temps d'observation du télescope spatial. Nous allons brièvement ici décrire cet instrument de plus de dix tonnes et surtout souligner la participation de l'Europe en précisant le rôle que pourrait jouer la France dans ce projet.

□ Alfred Vidal-Madjar, maître de recherche au CNRS à l'Institut d'astrophysique, 98 bis, boulevard Arago, 75014 Paris.

Le télescope spatial

L'initiative du projet du télescope spatial a été officiellement prise par la NASA en 1971-1972, années au cours desquelles il a été clairement démontré que ce projet était réalisable. Cependant l'idée d'un tel projet avait été suggérée par plusieurs astronomes et en particulier par L. Spitzer, Jr, plus d'une décennie auparavant.

Les performances de ce télescope spatial de 2,40 m de diamètre, de type Ritchey-Chrétien, seront celles définies par la limite de diffraction du système. Ainsi, une résolution angulaire de 0,1 seconde d'arc dans un champ total d'environ ± 14 minutes d'arc devrait être atteinte. Les performances que l'on peut espérer seront très proches de ces prédictions théoriques grâce à la perfection du miroir primaire du télescope qui a déjà été réalisé. Comme le souligne Perkin-Elmer, le fabricant du miroir, sa surface est si proche de la surface théorique calculée que si on agrandissait le miroir à la taille des États-Unis, les écarts ne représenteraient que des collines ou des vallées de quelques centimètres.

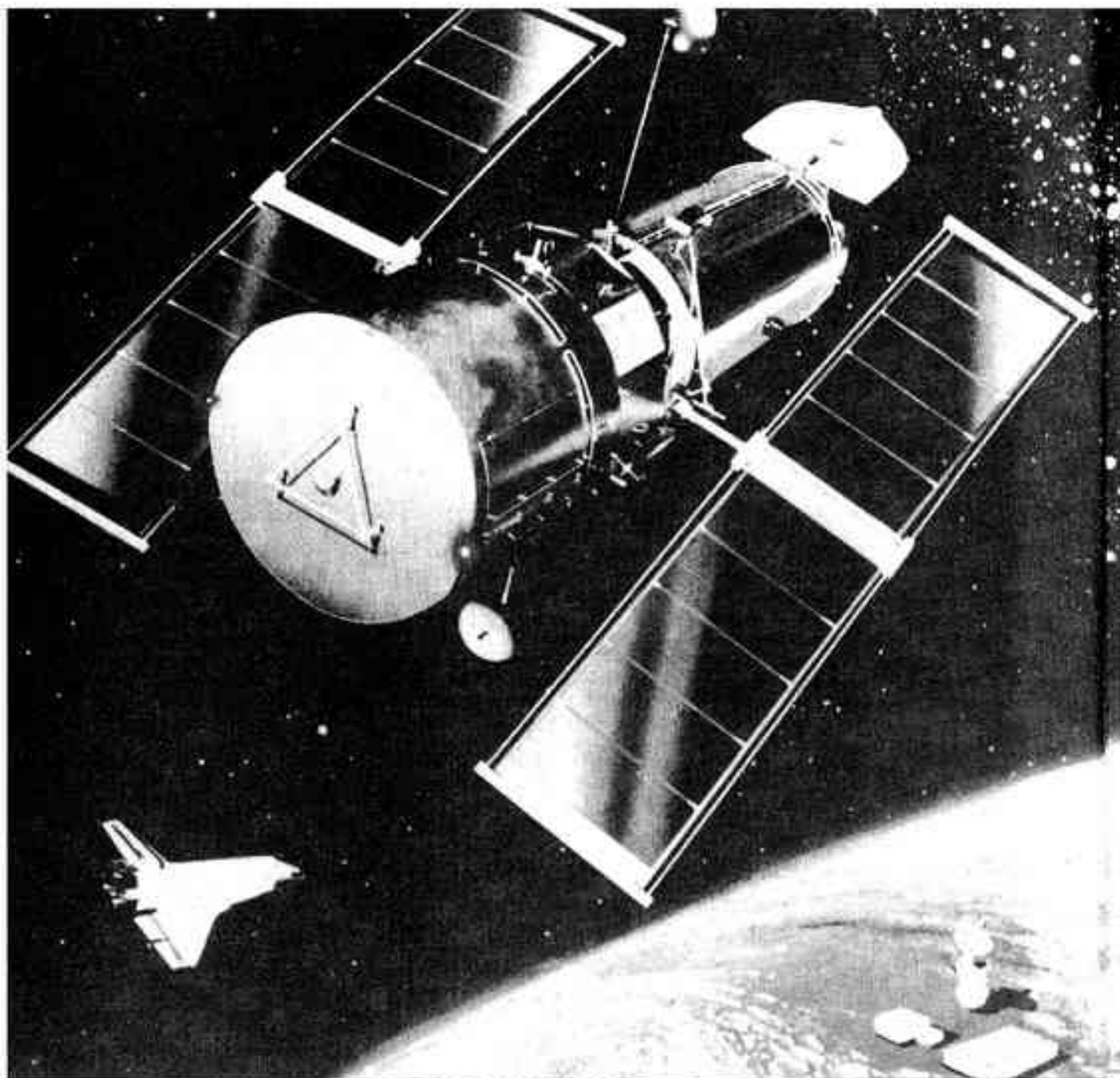
Placer un télescope au-dessus de l'atmosphère terrestre (fig. 1) élimine les effets dus à l'absorption (ainsi le domaine d'observation peut être étendu jusque dans l'ultraviolet lointain, vers 1 200 Å), à la turbulence (une résolution angulaire de 0,1 seconde d'arc peut être atteinte) et procure un troisième avantage : la réduction de l'émission due au fond de ciel à laquelle ne contribue plus

l'émission atmosphérique proprement dite. C'est cette dernière condition associée à l'excellente qualité d'image qui permettra l'étude des objets les plus faibles. Ainsi les astronomes comptent atteindre des objets de la 29^e magnitude, alors que la limite actuelle au sol ne se situe qu'autour de la 24^e magnitude.

Une dernière condition doit être remplie pour rendre ce télescope opérationnel : il faut pouvoir le pointer dans n'importe quelle direction avec une précision supérieure à la résolution angulaire désirée. Dans ce but, une précision et une stabilité de pointage de 0,01 seconde d'arc seront effectivement atteintes.

Au foyer du télescope spatial seront placés cinq instruments. Au centre du champ, là où les images ont la meilleure qualité se trouve la caméra à très grand champ dont le champ total est de 3 minutes d'arc ; elle est complétée par une caméra planétaire. Dans les différents secteurs entourant cette zone centrale, sont placés divers instruments : la caméra pour objets faibles, le photomètre à grande sensibilité et deux spectrographes, l'un pour objets faibles et l'autre ayant une haute résolution spectrale.

Des descriptions détaillées du télescope spatial et de ces différents instruments focaux pourront être trouvées dans plusieurs documents et en particulier dans un article par J.N. Bahcall et L. Spitzer, Jr, dans le numéro de juillet 1982 de *Scientific American* ainsi que dans une note de J.M. Deharveng dans *La Recherche* d'octobre 1979. Nous ne soulignerons ici que la contribution euro-



pénne et donc nous ne décrivons que les objectifs et performances de la caméra pour objets faibles, l'instrument focal que l'Europe a la charge de construire.

La caméra pour objets faibles

La caméra pour objets faibles est véritablement l'instrument qui exploitera au maximum la très haute résolution angulaire du télescope spatial. Cet instrument permettra, de plus, l'étude des objets les plus faibles détectables avec le télescope spatial. Grâce à un jeu de filtres, de polariseurs, de masques et de réseaux, cet instrument aura des

possibilités très variées et permettra d'atteindre des objectifs scientifiques très divers.

En particulier, une évaluation précise de l'échelle de distances des objets astronomiques pourra être faite en relation avec les observations du satellite astrométrique européen Hipparcos. La connaissance précise de cette échelle de distances est fondamentale puisque d'elle dépend la connaissance de la luminosité intrinsèque des étoiles aussi bien que des galaxies. L'âge même de l'Univers est déduit de la connaissance de la distance des galaxies, une quantité qui reste encore bien imprécise. Des analyses détaillées des systèmes stellaires, de leur taux de

Fig. 1 — Cette vue d'artiste représente le télescope spatial en orbite autour de la Terre. On peut voir aussi la Navette spatiale qui le placera sur son orbite et qui, à l'occasion, pourra le ramener sur Terre. Au loin, on distingue le satellite de télécommunication TDRSS de la NASA qui permettra de garder un contact permanent avec le télescope spatial.

formation à différentes époques, de leur évolution et de leur extinction deviendra possible sur un très grand nombre d'objets. L'étude de la structure dynamique des amas globulaires révélera peut-être la nature de la source de rayons X parfois observée en leur centre. Le très grand pouvoir résolvant de cet ins-

Le CNRS et le télescope spatial

Afin de donner aux astronomes français tous les atouts possibles pour présenter d'excellentes propositions d'observations, le CNRS a tout d'abord mis en place une recherche coopérative sur programme. Cette RCP a été placée sous la responsabilité de Mme F. Praderie, qui fut la présidente du Comité français du télescope spatial et qui, à ce titre, a œuvré pour que la France soit effectivement présente dans ce projet. Le bilan de cette RCP est très positif : deux colloques nationaux organisés, deux livres publiés, et surtout une prise de conscience par la communauté astronomique de l'échéance "Télescope spatial". En effet, dans l'appel aux idées pour utiliser la caméra pour objets faibles, les réponses émanant de la communauté française sont les plus nombreuses. A partir de 1984, le CNRS va poursuivre cet effort sous la forme d'une action thématique programmée placée sous la responsabilité de Mme J. Bergeron. Enfin, l'Institut national d'astronomie et de géophysique est en train de créer un Centre français du télescope spatial au Laboratoire d'astronomie spatiale (LAS) de Mursille (responsable M. M. Lieburia).

De plus M. J.M. Deharveng, maître de recherche au LAS fait partie du groupe international responsable de la caméra pour objets faibles de l'Agence spatiale européenne et à ce titre a participé depuis de nombreuses années à la préparation de cet instrument. Enfin la présidence du STAT (Space telescope advisory team) de l'Agence spatiale européenne est assurée par un français, M. Jean Audouze, directeur de l'Institut d'astrophysique qui est également membre du Comité consultatif de l'Institut scientifique du télescope spatial, à Baltimore aux Etats-Unis, d'où sera contrôlé cet extraordinaire observatoire.

Enfin, sur les objets du système solaire lui-même, la caméra pour objets faibles permettra la collecte d'informations avec la plus grande résolution angulaire possible. Même en comparaison des résultats des sondes Voyager, ces études seront très intéressantes, surtout parce qu'elles apporteront une surveillance des phénomènes dynamiques des planètes et, particulièrement des planètes géantes y compris Uranus et Neptune. Enfin, les astéroïdes, objets très nombreux et encore très mal connus de notre système solaire, pourront être étudiés de façon détaillée donnant probablement de nouvelles indications sur les mécanismes de formation du système solaire.

La caméra pour objets faibles sera donc un instrument clef du télescope spatial. Les dimensions de cet instrument sont d'environ $0,9 \times 0,9 \times 2,2$ m³ et son poids de 320 kg. Cet instrument pourra être enlevé ou remis en orbite au foyer du télescope spatial par un astronaute ; ainsi on pourra éventuellement le réparer.

La caméra pour objets faibles (fig. 2) est constituée en fait de deux caméras complètement indépendantes. La caméra principale ouverte à f/96 est faite pour exploiter au maximum la résolution angulaire du télescope lui-même. En effet, le détecteur de la caméra à f/96 sur-échantillonne avec quatre éléments

d'image le premier cercle sombre entourant la tache d'Airy. Cela reste vrai jusqu'à environ 3 000 Å. Aux plus courtes longueurs d'ondes, l'introduction d'un petit télescope cassegrain dans le faisceau lumineux transformera cette caméra en un système à très haute résolution ouvert à f/288 permettant de conserver les possibilités de résolution du télescope spatial jusqu'aux plus courtes longueurs d'ondes. C'est aussi dans cette caméra principale qu'existe un mode d'observation coronographique permettant la recherche d'objets faibles ou de structures étendues au voisinage immédiat de sources "brillantes".

L'autre caméra ouverte à f/48 permet d'atteindre une résolution légèrement moins bonne (facteur deux) mais aura l'avantage de couvrir un champ deux fois plus grand de $22,5 \times 22,5$ secondes d'arc. Ce champ représente le domaine maximum exploré par la caméra pour objets faibles au cours d'une pose. C'est cette deuxième caméra qui présentera aussi d'intéressantes possibilités spectrographiques. Il sera en effet possible d'observer le spectre d'un objet étendu placé le long d'une fente avec une résolution spectrale de 1,8 Å et une résolution spatiale de 0,044 seconde d'arc. Le domaine spectral couvert par ce spectrographe s'étendra de 1 200 Å à 5 400 Å.

Dans ces deux caméras, de nom-

trument devrait permettre l'étude des noyaux de galaxies et en particulier de comprendre les phénomènes très énergétiques qui s'y déroulent (émissions X, formation de jets...). En particulier, une étude de l'environnement des quasars permettra de confirmer ou d'infirmer la présence d'une galaxie sous-jacente dont ils ne seraient que le noyau dans une phase extrêmement active. Un système de coronagraphie (un cache élimine le flux venant d'une source centrale très brillante) dans l'instrument sera particulièrement bien adapté à ce genre d'étude. Ce coronographe permettra, de plus, une recherche aussi excitante que celle de planètes autour d'étoiles proches.

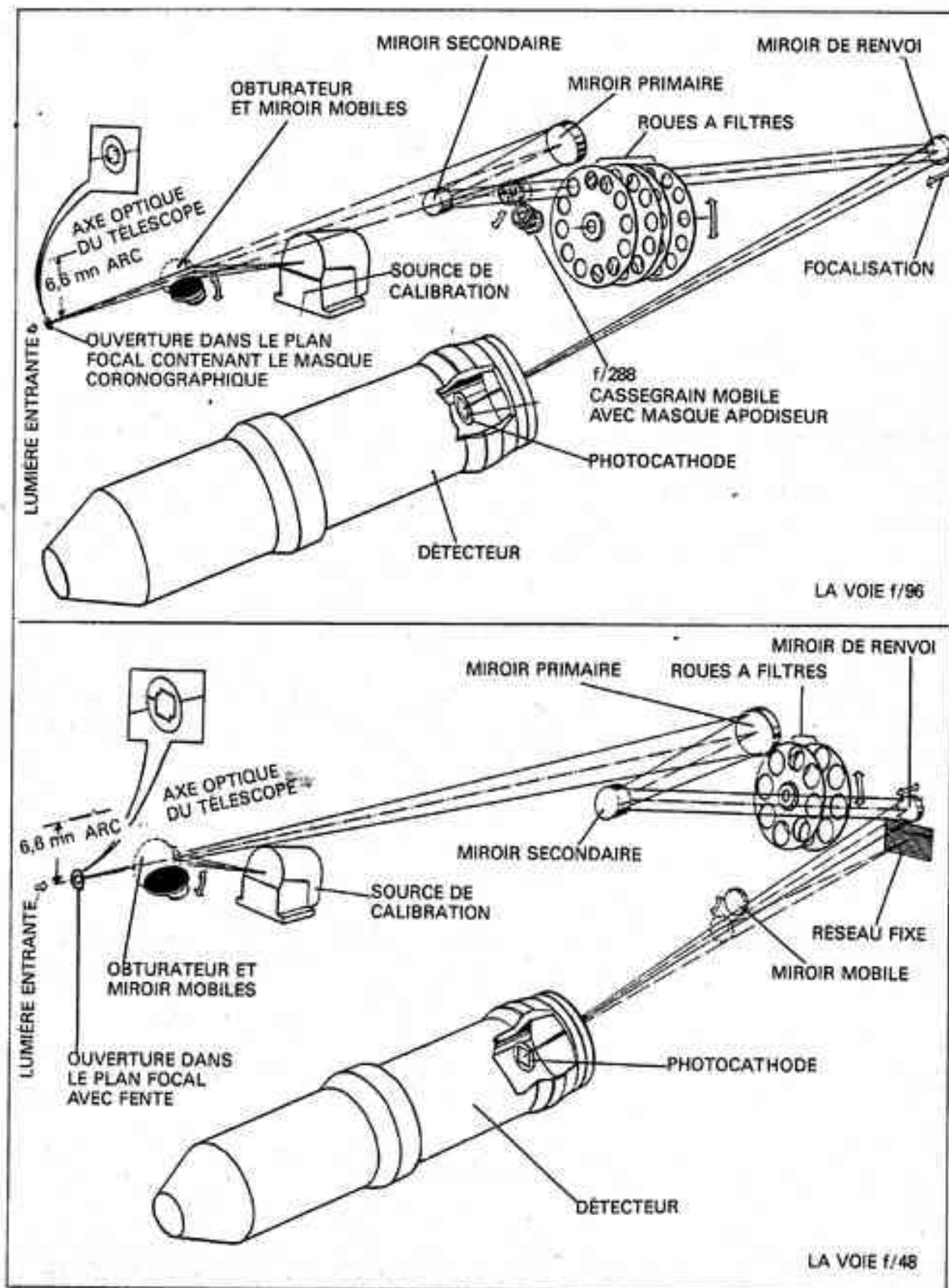


Fig. 2 — Les deux systèmes optiques de la caméra pour objets faibles fabriqués par l'Agence spatiale européenne. En haut, la caméra à f/96 qui tirera au maximum parti de l'excellente résolution angulaire du télescope spatial. Cette caméra aura aussi des possibilités d'études coronographiques. En dessous, la caméra à f/48 qui, dans un champ un peu plus grand, donnera grâce à un réseau, de remarquables possibilités d'études spectrographiques sur objets étendus. (tirée du document ASE n° SP-1028).

breux filtres à larges bandes, interférentiels, polariseurs, atténuateurs ou prismes objectifs pourront être interposés dans les faisceaux lumineux, augmentant considérablement les possibilités d'analyses offertes par les deux caméras.

L'optique de la caméra pour objets faibles a été étudiée en particulier par le Laboratoire d'astronomie spatiale (LAS), à Marseille. Sa réalisation a été confiée par l'Agence spatiale européenne, d'une part, à la firme Dornier à laquelle s'est associée la firme Matra pour l'instrument lui-même, et, d'autre part, à la firme britannique BAE pour les détecteurs.

Les détecteurs de chacune de ces caméras sont à comptage de photons et de conception identique. Ils sont développés par la firme BAE, sur une idée originale d'A. Boksenberg (Grande-Bretagne). Chacun est formé d'un système intensificateur à trois étages couplé optiquement à une caméra de télévision. Ces caméras de télévision détecteront la scintillation engendrée par l'arrivée de chaque photon individuel et enregistreront les coordonnées de chacun des événements ainsi repérés. Chaque information ainsi stockée ira incrémenter une mémoire de 512×512 éléments. Cela permettra de voir directement l'image se construire petit à petit au cours de la pose. Pour plus de détails sur la caméra pour objets faibles, l'Agence spatiale européenne a publié un document n° SP-1028 en 1980, rédigé par F. Machetto, responsable scientifique de l'instrument, et ses collaborateurs.

Retour de données vers l'Europe et la France

La participation de l'Europe au télescope spatial lui permettra de recevoir en retour une partie des données obtenues. En effet, un accord a été signé le 3 octobre 1977 entre l'Agence spatiale européenne et la NASA garantissant, en particulier, aux astronomes européens d'avoir un temps minimum d'observation correspondant à 15 % du temps total d'observation du télescope spatial.

Cet accord est global vis-à-vis des différents instruments focaux et les programmes d'observation proposés seront sélectionnés en fait selon leurs mérites respectifs ; mais cela concerne la période où le télescope spa-

tial sera devenu véritablement un observatoire, c'est-à-dire après qu'une période de plusieurs mois se sera écoulée, période pendant laquelle les observations faites seront la propriété exclusive des équipes qui auront fabriqué les instruments focaux.

Pendant cette période initiale, qui devrait être particulièrement riche en découvertes, la chance de l'ensemble des astronomes européens passera par cette caméra pour objets faibles qu'ils auront réalisée, parce que des dispositions spéciales ont été prises.

L'Agence spatiale européenne vient de décider d'ouvrir une possibilité d'accès pour les astronomes européens au temps attribué à la caméra pour objets faibles. Un tiers de ce temps, soit soixante-trois heures d'observation restera la propriété exclusive de l'équipe qui a suivi le développement de l'instrument, le reste (cent vingt-six heures) devenant négociable. Mais pour cela, le temps de préparation des programmes étant très court, c'est dans les mois qui viennent que les astronomes devront répondre à un appel aux idées qui sera lancé prochainement sous la responsabilité de M. J. Audouze.

Au cours de la véritable vie d'observatoire du télescope spatial, les astronomes français n'auront aucune garantie d'accès aux observations ; ils n'auront des programmes sélectionnés au sein des 15 % européens que si leurs programmes présentent un degré de préparation et de compétitivité tout à fait exceptionnel. Cela veut dire très clairement que si les astronomes français veulent avoir accès au télescope spatial, il leur faut préparer avec acharnement leurs programmes d'observation et, en particulier, démontrer que tout ce qui était possible du sol avait été tenté. C'est à cette tâche de recherche que s'est attachée la recherche coopérative sur programme "Programme pour télescope spatial" (RCP 617) et à partir de 1984, une action thématique programmée spécialisée sera mise en place par l'Institut national d'astronomie et de géophysique (INAG). Un programme d'observation serait alors plus facile à justifier. Enfin, il est clair que les logiciels de réduction et d'analyse des données doivent être prêts dès avant le lancement du télescope spatial. En ce qui concerne la France, un centre équipé d'un VAX 11.780 et hébergé au LAS (Marseille) est en cours d'installation.

De toute façon, il faut bien être conscient que le retour vers les astronomes français en nombre d'observations venant du télescope spatial sera très limité. En effet, en un an d'observation, à cause de son orbite basse, le télescope spatial n'observera véritablement qu'un tiers du temps, soit cent vingt-deux jours. L'Europe aura accès à environ 15 % de ce temps, soit dix-huit jours et la France, compte tenu du nombre de pays européens, ne peut pas espérer avoir plus de quatre à cinq jours pleins d'observation. Cela ne représente qu'une centaine d'heures d'observation par an pour les astronomes français. On peut raisonnablement penser que les observations seront plutôt orientées vers les objets les plus inaccessibles du sol, c'est-à-dire les plus faibles ; ainsi une pose fera en moyenne probablement plusieurs heures et par conséquent les astronomes français n'auront que quelques dizaines de spectres ou images obtenus directement à analyser par an. Ces derniers chiffres soulignent encore une fois le degré d'extrême compétition qui régnera pour avoir accès au télescope spatial, et la chance extraordinaire que représentera l'accès privilégié aux données de la caméra pour objets faibles pendant les premiers mois de vie du télescope. Il ne faut cependant pas oublier qu'il y aura un archivage des données auxquelles tout le monde pourra avoir accès. Un jeu complet des archives du télescope spatial existera en Europe, au centre européen installé près de Munich.

Avant de conclure, il serait intéressant de rappeler quelques chiffres concernant les coûts de cet instrument. Le télescope spatial évalué au départ à 4 800 MF va coûter finalement plus de 7 000 MF. La participation de l'Agence spatiale européenne au développement même de l'instrument (non compris les opérations) se monte à environ 900 MF, et compte tenu des 21,4 % qui représentent la participation française au budget de l'agence, la France participe à ce projet pour environ 200 millions de francs.

Il est clair que cette participation financière est loin d'être négligeable. Elle doit nous rappeler que nous nous devons d'avoir un retour en conséquence, c'est-à-dire qu'il faut absolument que nous nous préparions avec la plus grande énergie pour ne pas être absents de la grande aventure astronomique qui s'annonce.

A propos

Détermination de la distribution verticale de l'ozone dans l'atmosphère

L'ozone, déterminant pour la protection de la biosphère contre les rayons ultra-violets, fait l'objet de nombreuses études d'observations et de mesures. Les études entreprises actuellement au laboratoire de Lille ont l'originalité de pouvoir restituer à partir du sol le profil d'ozone au-dessus de quarante kilomètres, grâce à la contribution de la spectroscopie millimétrique.

Nicole MONNANTEUIL

Rôle de l'ozone

L'ozone, constituant minoritaire de l'atmosphère, intervient de manière essentielle dans son équilibre physico-chimique. La couche d'ozone, dont le maximum se situe aux environs de vingt-vingt-cinq kilomètres, joue, pour la biosphère, le rôle de filtre du rayonnement ultra-violet solaire en absorbant les radiations de longueur d'onde comprise entre 240 et 310 nm. L'ozone joue également un rôle important dans le bilan thermique de l'atmosphère moyenne. L'équilibre de ce bilan est principalement régi d'une part, par l'échauffement dû à l'absorption de l'ultra-violet solaire par l'ozone et, d'autre part, par les émissions thermiques infrarouges de l'ozone, du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Une altération de la couche d'ozone pourrait avoir des conséquences dramatiques pour la biosphère : modification climatique et augmentation du rayonnement ultra-violet.

Les effets du rayonnement ultra-violet sur l'homme sont relativement bien connus : effet cancérogène sur la peau de certains sujets génétiquement prédisposés, effet bénéfique pour le métabolisme de la vitamine

D. Mais le rôle biologique du rayonnement ultra-violet n'est pas restreint à l'homme. Ce rayonnement agit aussi sur les micro-organismes (effet bactéricide) et les végétaux (par le biais de la photosynthèse). Ainsi, une variation du flux solaire parvenant sur la terre peut avoir des conséquences directes sur l'homme mais peut aussi modifier l'équilibre écologique de la terre.

L'impact climatique d'une altération de la couche d'ozone peut se schématiser en deux points. Une variation de la quantité totale d'ozone changerait le flux radiatif parvenant au sol et modifierait ainsi la température globale de la terre. En fait, il faut envisager, pour ce type d'analyse, la totalité du système des composés atmosphériques. Par des effets de compensation, cette variation de température induite par une variation de la quantité totale d'ozone apparaît comme très faible. D'autre part, la localisation de l'ozone en une couche située autour de vingt-vingt-cinq kilomètres d'altitude conduit à une modification du champ de température dans ce domaine d'altitudes (stratosphère), induit un changement dans la circulation stratosphérique et influence ainsi le climat.

Cycle de Chapman

Les conséquences de l'activité humaine sur l'ozone atmosphérique ont fait l'objet de nombreuses controverses au cours des années soixante-dix. Les premières craintes de destruction ont porté

sur l'émission des oxydes d'azote par les avions supersoniques stratosphériques. Puis, plus récemment l'attention s'est tournée vers la pollution due aux chlorofluorométhanes (fréons) utilisés comme réfrigérants ou comme gaz propulseurs dans les bombes aérosols. En fait, la contamination de l'ozone par la biosphère ne date pas de l'ère industrielle. En effet, le protoxyde d'azote, N_2O est produit naturellement lors de la nitrification ou de la dénitrification par les bactéries du sol ; de même le chlorure de méthyle CH_3Cl est un constituant naturel de la fumée de combustion sans flamme.

L'équilibre de l'ozone est avant tout régi par le cycle de Chapman (1930). L'oxygène moléculaire, O_2 est photodissocié par le rayonnement ultra-violet solaire de longueur d'onde inférieure à 240 nm. Les atomes d'oxygène ainsi obtenus s'associent avec l'oxygène moléculaire pour former l'ozone. L'ozone peut soit se photodissocier, soit reformer de l'oxygène moléculaire par association avec un atome d'oxygène. Ce mécanisme de recombinaison décrit pour une atmosphère d'oxygène pur est également efficace pour la destruction de l'ozone, dans le cas de réactions catalytiques en présence de composés tels que NO , OH , ClO . La chimie des composés atmosphériques est très complexe ; ainsi, pour tenter de décrire l'équilibre actuel de l'ozone, les modèles photochimiques font intervenir une cinquantaine d'espèces chimiques dans plus de cent cinquante réactions. Certaines de ces espèces n'ont pas encore été formellement détectées dans la stra-

□ Nicole Monnanteuil, assistante à l'Université des sciences et techniques de Lille, travaille au Laboratoire de spectroscopie hertzienne (L.A. 249), Université de Lille I, UER de physique fondamentale, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.

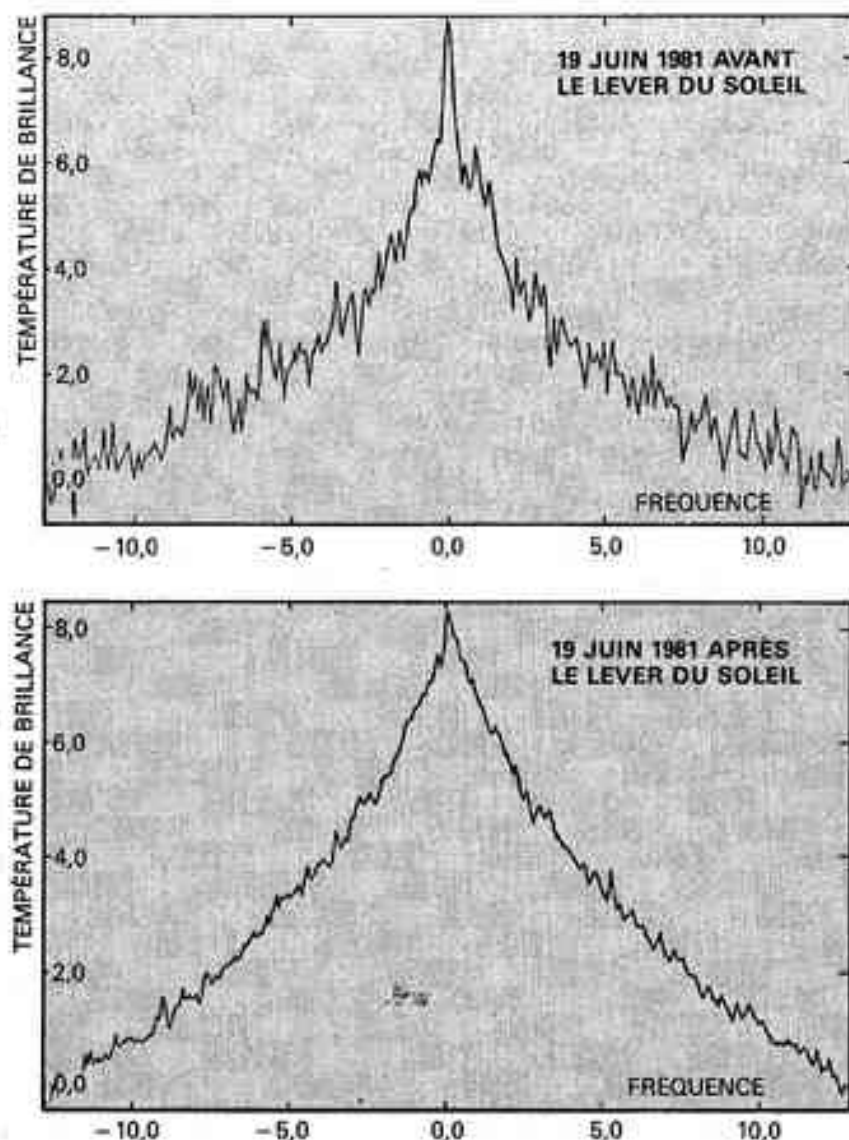


Fig. 1 — Spectres d'émission de l'ozone atmosphérique enregistrés à l'observatoire de Bordeaux à l'aide du radiotélescope P.O.M. La fréquence centrale est de 110,836 GHz et correspond à la fréquence de la transition de rotation $6_{0,6}-6_{1,3}$. La largeur spectrale analysée est de 25,6 MHz. L'intensité d'émission est exprimée en température, par référence à l'émission du corps noir. Ces deux spectres, enregistrés au cours de la même journée illustrent bien la variation naturelle journalière de l'ozone. Le pic de l'émission enregistré de nuit est plus étroit que celui enregistré après le lever du soleil. On peut interpréter cela qualitativement à l'aide de la figure 2 : il y a plus d'ozone la nuit que le jour dans les zones d'altitude où l'émission est étroite, c'est-à-dire pour les altitudes supérieures à une cinquantaine de kilomètres.

mosphère (par exemple HNO_3 , HOCl ...).

Même si l'équilibre actuel de l'ozone n'est pas encore parfaitement compris, quelques résultats semblent maintenant admis. L'augmentation des vols stratosphériques ne contribue qu'à une augmentation de la quantité totale d'ozone. Le rejet des composés chlorés dans l'atmosphère conduirait à une modification de la distribution de l'ozone en fonction de l'altitude : l'ozone pourrait augmenter dans la basse

stratosphère mais diminuer aux altitudes supérieures. La plus grande diminution d'ozone est prédite vers quarante kilomètres.

Méthodes d'observation et de mesure de l'ozone

Il est donc important de connaître avec précision la quantité d'ozone présente dans l'atmosphère, d'évaluer sa distribution verticale et d'en étudier les variations au

cours du temps. Les méthodes de mesure à distance actuellement développées sont bien souvent fondées sur la spectrométrie d'absorption (ou d'émission) et font appel, pour l'interprétation des mesures obtenues, aux résultats de la spectroscopie moléculaire : fréquence, intensité, forme des raies d'absorption. C'est dans ce cadre que se situent les études sur l'ozone actuellement entreprises au Laboratoire de spectroscopie hertzienne de Lille dans le domaine des ondes millimétriques, c'est-à-dire pour des fréquences de l'ordre de la centaine de GHz*. Ces travaux ont bénéficié du soutien du CNRS dans le cadre de l'ATP « Interface de la physique atomique et moléculaire-physique de l'atmosphère ». Cette étude de laboratoire a permis la restitution du profil vertical de concentration de l'ozone atmosphérique à partir de mesures effectuées par J. de la Noë sur le radiotélescope P.O.M. disponible à l'Observatoire de Bordeaux. Cette opération P.O.M. (Petite opération de radioastronomie millimétrique) déjà décrite par Alain Baudry : « Molécules interstellaires : le développement en France de l'astronomie en ondes millimétriques » le *Courrier du CNRS* n° 44, a amené l'installation d'un récepteur hétérodyne refroidi sur une des antennes de l'interféromètre de l'Observatoire de Bordeaux. Ce télescope a permis, pour la première fois en France, d'appliquer les techniques de détection radioastronomique à l'étude de l'ozone atmosphérique.

L'observation de composés atmosphériques peut se faire suivant deux méthodes différentes. En absorption, la technique consiste à mesurer l'absorption du rayonnement solaire à une fréquence caractéristique du composé étudié. En émission, la mesure porte sur l'émission thermique propre de l'atmosphère à une fréquence caractéristique du composé. A titre d'exemple, la figure 1 montre les spectres d'émission enregistrés le 19 juin 1983 avant et après le lever du soleil. La bande totale d'analyse du signal est de 25,6 MHz*, centrée sur 110,836 GHz*, fréquence d'une transition de rotation pure de l'ozone (transition $6_{0,6}-6_{1,3}$). Cette bande d'analyse est couverte par un système de deux cent cinquante-six canaux de 100 kHz* de résolution chacun. Aux fréquences considérées, l'intensité de l'émission

* 1 GHz = 10^9 Hz 1 MHz = 10^6 Hz 1 kHz = 10^3 Hz

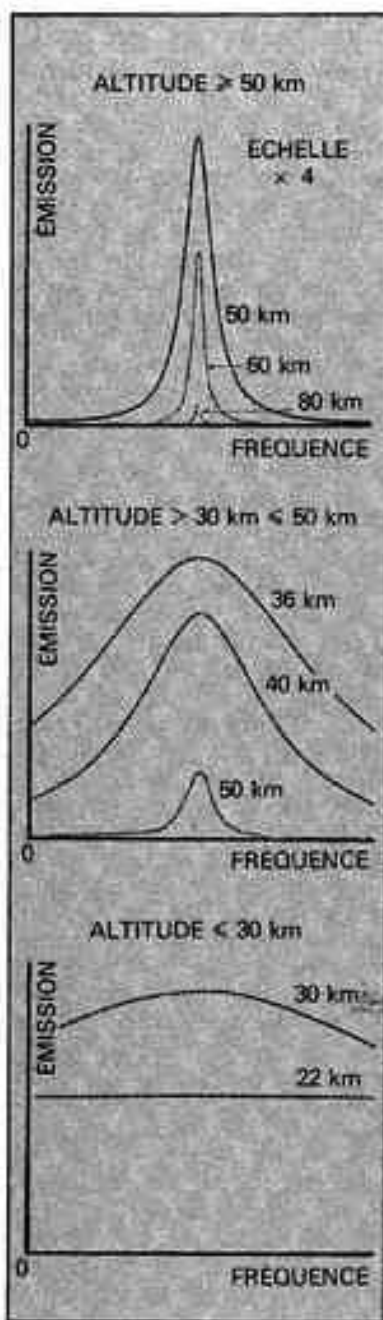


Fig. 2 — Figures d'émission calculées correspondant à des couches atmosphériques de 2 km d'épaisseur situées à différentes altitudes. La plage de fréquence représentée couvre 25,6 MHz et est centrée sur la fréquence d'une transition d'ozone (110,836 GHz). Chaque couche, située à l'altitude Z est homogène et peut être assimilée à une cellule de laboratoire à la température $T(Z)$ où règne la pression $P(Z)$ et qui contient une densité d'ozone $n(Z)$. Pour les valeurs de température, pression et densité d'ozone, on se réfère aux figures 3 et 5. Les spectres observés depuis le sol, comme ceux de la figure 1, peuvent être interprétés comme une "superposition" des différentes émissions montrées ici. Chaque raie d'émission est comparable aux enregistrements obtenus en laboratoire (cf. figure 4).

est décrite usuellement en termes de température de brillance (T.B. en ° Kelvin) par référence au rayonnement du corps noir. Il faut noter que les intensités d'émission des spectres de la figure 1 ne sont pas à prendre comme des valeurs absolues : la position du zéro de l'échelle est fixée par la procédure d'observation.

On peut interpréter les spectres enregistrés au niveau du sol en considérant l'atmosphère comme stratifiée. Chaque couche est caractérisée par une pression, une température et une densité d'ozone, il lui correspond alors une figure (ou raie) d'émission. Les spectres observés au niveau du sol peuvent être regardés comme une "superposition" de ces différentes figures d'émission. La figure 2 montre quelques exemples de raies d'émission centrées sur la fréquence 110,836 GHz, la plage de fréquence représentée correspond à 25,6 MHz. Chaque figure d'émission correspond à une couche de deux kilomètres d'épaisseur. On pourra se reporter à la figure 3 pour associer les valeurs de pression et de température à chacune des couches et à la figure 5 pour retrouver les valeurs de densité d'ozone correspondantes.

Etude en ondes millimétriques des figures d'absorption de l'ozone

Les différentes figures d'émission reportées sur la figure 2 sont en fait le tracé d'une même fonction dont deux paramètres varient avec l'altitude : la valeur maximum, au centre de la raie qui est fonction de la densité d'ozone, et la largeur à mi-hauteur qui dépend à la fois de la pression et de la température. On comprend bien alors que pour restituer le profil de concentration d'ozone en fonction de l'altitude à partir des spectres observés au sol, il est nécessaire de connaître avec précision la dépendance avec la pression et la température de la largeur de la raie étudiée. C'est ainsi qu'est entreprise, au Laboratoire de spectroscopie hertzienne de Lille, une étude expérimentale des variations des formes des raies millimétriques de l'ozone en fonction de la pression, de la température et du rapport de mélange ozone - gaz étranger. Au laboratoire, les spectres sont mesurés en absorption : une source de rayonnement millimétrique (klystron) irradie une cellule dont la température est contrôlée et

qui enferme un mélange d'ozone et de gaz étranger (oxygène, azote, air). Les pressions d'ozone et du mélange sont mesurées très précisément. La fréquence de la source du rayonnement est balayée au voisinage de la fréquence d'une transition d'ozone. Un exemple d'enregistrement du signal détecté est montré sur la figure 4. Pour comparaison, apparaît aussi sur cette figure, le spectre calculé ; on peut ainsi noter l'excellent accord entre la mesure et le calcul. Ce type d'enregistrement est effectué de manière systématique pour des pressions différentes, des températures différentes, des rapports de mélange ozone - gaz étranger différents. On détermine à partir de ces mesures un certain nombre de paramètres à l'aide desquels on peut calculer la forme d'une raie d'ozone pour toutes valeurs du couple (pression, température) dans le domaine correspondant aux valeurs rencontrées dans l'atmosphère.

L'exploitation des spectres atmosphériques de la figure 1 a été menée en considérant une atmosphère stratifiée de quarante-cinq couches de deux kilomètres d'épaisseur. Le profil de concentration d'ozone avec l'altitude a été décrit par un modèle à six paramètres, et on a déterminé les valeurs de ces paramètres qui minimisent l'écart entre émission calculée et émission mesurée. Ce calcul a conduit aux profils de concentration de la figure 5. La différence de forme de ces profils aux altitudes supérieures provient de la variation diurne de l'ozone : durant la nuit, le taux de dissociation de l'ozone est considérablement réduit alors que l'oxygène atomique de la mésosphère se recombine très rapidement avec l'oxygène moléculaire. Il faut noter que, compte tenu de la largeur de bande analysée, 25,6 MHz, le spectre observé est peu sensible à la distribution d'ozone pour des altitudes inférieures à trente-cinq kilomètres. Il suffit pour s'en convaincre de se reporter à la figure 2 où l'on voit que les raies d'émission correspondant à chaque couche atmosphérique s'aplatissent lorsque l'altitude décroît. Les profils de concentration correspondant aux altitudes inférieures à trente-cinq kilomètres sont donc reportés en pointillés sur la figure 5.

La méthode d'observation de l'ozone atmosphérique rapportée ici présente tous les avantages des mesures effectuées depuis le sol, notamment la possibilité d'opérer

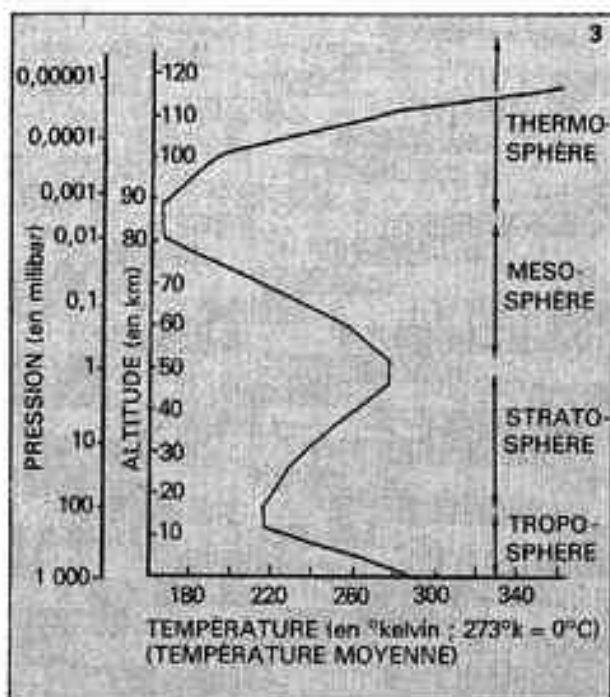
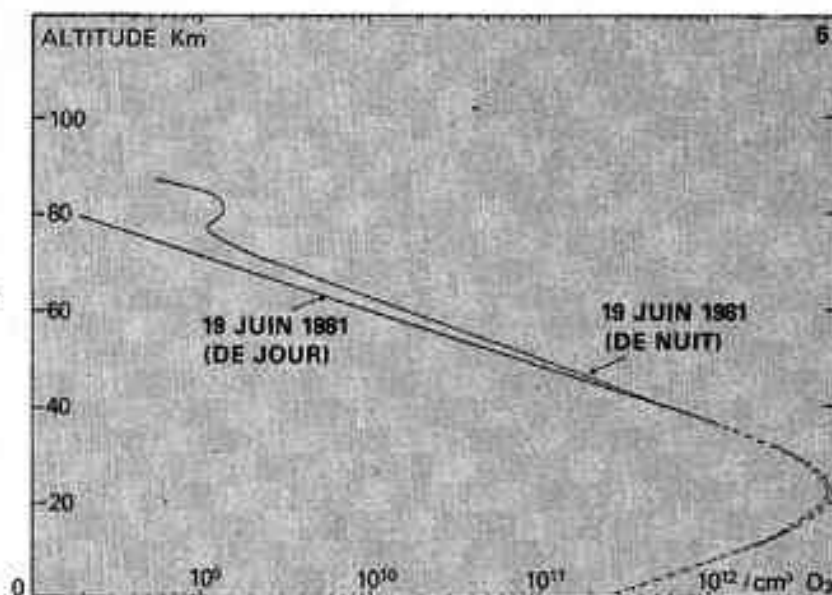
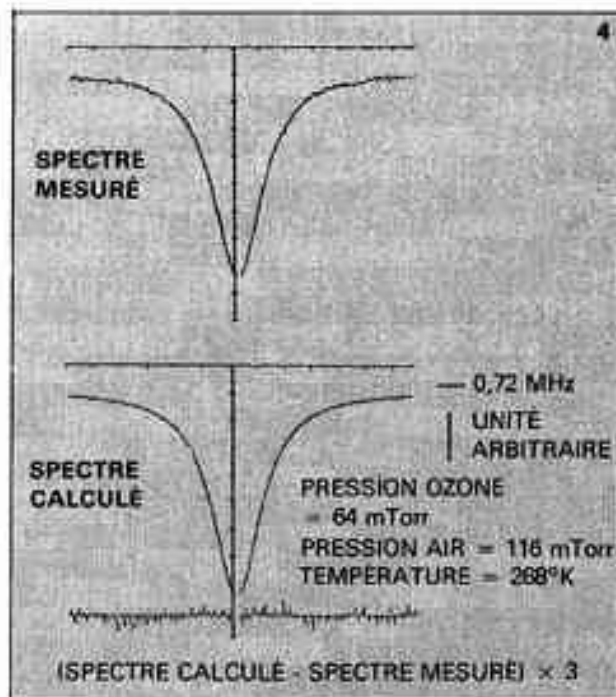


Fig. 3 — Paramètres physiques de l'atmosphère : pression et température moyennes en fonction de l'altitude.

Fig. 4 — Exemple de spectre d'absorption de l'ozone mesuré en laboratoire. Comparaison avec le calcul. La fréquence centrale est de 96,228 GHz et correspond à la transition de rotation $2_{0,2} - 2_{1,1}$. La largeur spectrale analysée est de 9 MHz. Cet enregistrement correspond à l'absorption du rayonnement microondes par un mélange d'ozone et d'air à la température de 268°K, les pressions respectives de l'ozone et de l'air étant de 64 mTorr et 116 mTorr (1 mTorr = 1 (millitorr) = 10^{-3} Torr ; 1 Torr = pression correspondant à 1 mm de mercure ; 1 atmosphère = 1 013 millibars = 760 Torr).

Les conditions de pression et température correspondent grossièrement aux conditions atmosphériques à 55-60 km d'altitude mais la densité d'ozone est 1 000 000 fois plus élevée que dans l'atmosphère. S'il n'est pas possible de retrouver en laboratoire des conditions strictement identiques aux conditions atmosphériques, il est toutefois possible de modéliser les phénomènes afin d'extrapoler les résultats de laboratoire aux conditions réelles de l'atmosphère.

Fig. 5 — Profils de concentration de l'ozone en fonction de l'altitude. Ces profils ont été obtenus par calcul à partir des spectres de la figure 1. Les pointillés correspondent au domaine d'altitude pour lequel les figures d'émission de l'ozone sont aplaties (cf. figure 2) ; les spectres sont donc peu sensibles à la quantité d'ozone présente à ces altitudes. On retrouve bien sur ces profils l'augmentation naturelle nocturne de l'ozone aux altitudes supérieures. Cette augmentation peut s'interpréter par la diminution du taux de photodissociation de l'ozone.



une surveillance quasi-continue. L'utilisation du domaine des longueurs d'onde millimétriques permet en outre une observation de jour comme de nuit, dans un domaine d'altitude pratiquement inaccessible depuis le sol. Ces mesures apparaissent donc comme complémentaires de celles obtenues par Lidar ou spectrométrie d'absorption infra-rouge, ces techniques ne pouvant explorer depuis le sol que les altitudes inférieures à quarante kilomètres environ. Les spectres atmosphériques présentés ici et leur interprétation entrent dans le cadre d'une campagne d'intercomparaison de diverses méthodes de mesure de l'ozone atmosphérique. Cette campagne,

dirigée par M.L. Chanin, a été présentée dans « Images de l'Environnement » ; supplément au n° 52 du *Courrier du C.N.R.S.* (« Conséquences pour l'environnement de recherches analytiques sur l'ozone atmosphérique » par M.L. Chanin). La participation à cette campagne concrétise la collaboration établie entre géophysiciens, radio-astronomes et spectroscopistes.

BIBLIOGRAPHIE PROPOSÉE PAR LE CIST

Le Centre de documentation scientifique et technique du CNRS propose de fournir aux lecteurs intéressés une bibliographie comportant les 100 références les plus récentes signalées dans la base de données PASCAL (voir bout de commande p. 30).

Les débuts de l'imprimerie en Extrême-Orient

L'invention de l'imprimerie en Extrême-Orient précède de plus de six siècles les techniques d'imprimerie européennes, mais son histoire reste peu connue en Occident. Des informations concrètes et précises sur ce sujet nous sont données par ces deux textes.

Jean-Pierre DRÈGE - Mitchiko ISHIGAMI-IAGOLNITZER

La naissance de l'imprimerie en Chine

Contrairement aux origines de l'imprimerie en Occident, les débuts de la xylographie, c'est-à-dire de l'impression de textes et de figures avec des planches gravées en relief, en Chine, restent mystérieux et difficiles à fixer dans une période précise. Le fait même que les plus anciens xylographes que l'on possède ne soient pas chinois a conduit certains à suggérer que la xylographie pouvait ne pas avoir débuté en Chine. Il est vrai que les plus anciens textes, dont la datation est certaine, reproduits par xylographie, ont été découverts au Japon : ce sont les "dharani du million de stupa", datant de 764-770. On sait aussi que le pèlerin bouddhiste chinois Yijing déclara en 692 avoir vu imprimer en Inde des images sur

papier. Les techniques de fabrication du papier, originaires de Chine, n'ayant pénétré en Inde qu'au cours du VII^e siècle, il est à croire que les techniques d'impression sont elles aussi venues de Chine. Les techniques de reproduction et de multiplication de l'écrit, prenant leurs sources dans les techniques des sceaux et des estampages d'inscriptions sur pierre, profitèrent des transformations qui affectèrent la forme du livre et s'étendirent peu à peu à l'ensemble de la production livresque.

Les formes du livre et la xylographie

En Europe, c'est l'utilisation du papier comme support qui a rendu

possible l'imprimerie. En Chine, le papier existait depuis le I^{er} ou le II^e siècle avant notre ère et avait remplacé de manière presque exclusive la soie et le bois depuis le III^e siècle de notre ère. La question du support n'a pas été déterminante en Chine. En revanche, c'est la forme du livre qui, au moment même où la xylographie se répand, se met à changer.

Au rouleau manuscrit, se substituent, au VIII^e siècle, plusieurs formes nouvelles de livres aux feuilles pliées ou découpées. C'est surtout dans le domaine des livres pratiques, diffusés sur les marchés à l'usage du plus grand nombre que ces formes s'imposent. Le livre devient alors aisément portable et d'usage individuel. Les imprimeurs, souvent égale-



Sûtra bouddhique, xylographie du IX^e siècle. Bibliothèque Nationale. Peilliot chinois 4501.

□ Jean-Pierre Drège, membre de l'Ecole française d'Extrême-Orient, travaille à l'équipe de recherche sur « Les manuscrits de Dunhuang et matériaux connexes » (ERA 438), 22 avenue du Président Wilson, 75116 Paris.



Sûtra du Diamant, xylographie gravée Lei-Yanmei, 944-950. Bibliothèque Nationale. Pelliot chinois 4515.

ment papetiers, vont ainsi allier une plus grande maniabilité du livre à la multiplication des textes par la xylographie.

La technique de la xylographie

Le procédé de reproduction de l'écrit par la xylographie n'a pas retenu l'attention des écrivains ou des chroniqueurs chinois, pas plus que celles des Européens qui se sont rendus en Chine au XIII^e siècle. Il faut attendre Matteo Ricci, à la fin du XVI^e siècle, pour se rendre compte de la rapidité, de la simplicité et de la grande diffusion de la xylographie.

Le texte à reproduire est gravé à l'envers et en relief sur des planches de bois (poirier ou jujubier). La planche est ensuite encrée, puis on applique les feuilles de papier que l'on fait adhérer avec un frotton. La rapidité du procédé permet de tirer plusieurs milliers de feuilles par jour. L'opération terminée, les planches sont conservées (ou vendues) et tirées à nouveau à la demande. L'absence de presse, au contraire de l'imprimerie occidentale, ralentit l'usure des planches, et rend à vrai dire impropre le terme d'"imprimerie", utilisé par commodité.

Les dates

Les documents chinois "imprimés" les plus anciens qui subsistent ne sont pas antérieurs au IX^e siècle. Ce sont le Sûtra du Diamant, *Jingang jing*, imprimé en 868 et deux calendriers de 877 et 882, tous documents découverts à Dunhuang et conservés à la British Library. Mais, au IX^e siècle, selon les sources historiques, l'imprimerie est une activité commerciale déjà répandue. Précisément, en 835, un ordre impérial interdit l'impression privée et la vente, sur les marchés, de calendriers qui anticipent la promulgation du calendrier officiel par l'empereur. Si l'on retient qu'au début du VII^e siècle, les taoïstes imprimaient des charmes par xylographie, il est tout-à-fait concevable que l'on ait imprimé des textes au début du VIII^e siècle. La xylographie paraît d'abord avoir été d'usage religieux ou commercial. Ce n'est qu'au X^e siècle que commencent les grandes impressions d'Etat qui marquent l'adoption de la xylographie pour la diffusion des textes, en particulier les "Classiques" et les Histoires officielles, mais surtout pour leur fixation et leur préservation.

La diversification des techniques d'impression

La xylographie est devenue peu à peu le moyen privilégié de diffusion de l'écrit sous toutes ses formes. Sa souplesse rend possible la reproduction d'illustrations dans le texte ou d'œuvres calligraphiques.

Parallèlement à la xylographie, d'autres essais de reproduction voient rapidement le jour. Au XI^e siècle, un nommé Bi Sheng inaugure un procédé d'impression avec des caractères mobiles de terre cuite. Aux XIII^e-XIV^e siècles, Wang Zhen imprime deux ouvrages avec des caractères mobiles de bois. Sa technique sera suivie pendant plusieurs siècles, avec de vastes entreprises d'édition (encyclopédies, gazettes, etc.). De plus, elle se répand dans les pays sinisés (Corée, Japon) ou dans les marches, chez les Turcs ouïgours dont l'écriture est plus propre à l'emploi des caractères mobiles.

D'autres modes d'impression à caractères mobiles métalliques voient aussi le jour, utilisant le cuivre, surtout pour le papier-monnaie aux XII^e-XIII^e siècles, mais aussi l'étain ou le plomb. Des essais sans lendemain auront lieu avec des

caractères de porcelaine. Les caractères mobiles de cuivre reçoivent leur consécration avec l'impression, dans la première moitié du XVIII^e siècle d'une vaste encyclopédie en 10 000 chapitres, le *Gujin tushu jicheng*, totalisant cent millions de caractères pour lesquels près de 250 000 types sont gravés.

Toutefois, l'emploi des caractères mobiles ne surpassa jamais la xylographie, jusqu'à l'adoption des techniques d'impression occidentales à partir du XIX^e siècle. Beaucoup d'essais sont le fait isolé de particuliers, ou bien, lorsqu'il s'agit de l'État, sont d'une durée relativement courte. L'usage de casses tournantes, au début du XIV^e siècle, tout en réduisant la manipulation, ne supprime pas totalement les inconvénients dus aux milliers de caractères que le typographe doit avoir sous la main.

Pour une histoire de l'imprimerie

On se demande souvent pourquoi l'imprimerie en Chine ne paraît pas avoir eu le même retentissement qu'en Occident. En Chine, point de révolution de l'imprimé, la xylographie met plus de deux siècles pour couvrir intégralement la production du livre. Les obstacles à ce développement initial sont plus de nature psychologique qu'économique.

Pour les classes lettrées, il importe plus de conserver les textes que de les diffuser. Le livre imprimé est d'abord un livre populaire : dictionnaires, opuscules de divination, brefs textes sacrés, formules magiques, etc. La réserve des lettrés se traduit par le silence des historiens officiels concernant cette innovation. Et, quand la xylographie est devenue d'usage courant, elle n'attire plus l'attention.

Malgré l'absence d'archives et le mutisme des textes historiques, on peut pourtant constater la diffusion dont elle est l'objet surtout à partir du X^e siècle. La découverte à Kharakhoto (à l'ouest de l'actuelle Mongolie intérieure), ville ruinée du petit royaume tangout des Xi Xia (1032-1127) d'un grand nombre de xylographies en chinois et en tangout montre que certains ouvrages étaient reproduits à plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires. Une autre découverte, plus récente, dans la province du Shanxi, permet de mesurer la part prise par la dynastie kitan des Liao (947-1125) dans le développement de la xylographie.

Grâce à de telles découvertes, encore en grande partie à exploiter, c'est à partir des marges de la Chine que l'on pourra évaluer le formidable retentissement de la xylographie sur la culture chinoise, et cela cinq siècles au moins avant l'Europe.

Les « Hyakumantô-dhârani » et les débuts de la xylographie au Japon

La première mention écrite de l'existence d'un texte imprimé au Japon date de 750, mais ce texte ne nous est pas parvenu. En revanche, les imprimés les plus anciens qui existent (764-770) dans le monde et dont la datation soit sûre et scientifiquement établie sont les Hyakumantô-dhârani.

Kyakumantô-dhârani Période Nara

Ces imprimés xylographiques, conservés dans "un million" (hyakuman) de "stûpa" (tô) et reproduisant des "formules magiques" (dhârani, pluriel du mot sanskrit dhâraṇa), du sūtra de la lumière immaculée et pure de l'École du Grand Véhicule, sont traduits du sanskrit en chinois. Selon le recensement effectué en 1908, le temple Hôryûji de Nara conservait à cette date plus



Le temple Hôryûji de Nara. Temple le plus ancien du Japon, construit vers 607 après J.-C. par l'impératrice Suikô et le prince héritier Shôtoku, fidèlement aux vœux de feu l'empereur Yômei. Le temple n'a pas brûlé depuis le début du VIII^e siècle.

de 43 930 stûpa, 1 708 imprimés complets et 2 315 imprimés incomplets.

Le motif, la date et le déroulement des travaux d'impression des dhârani ainsi que la taille et le lieu de conservation des stûpa sont mentionnés clairement dans huit documents historiques rédigés à l'époque et parvenus jusqu'à nous tels que la *Suite de la Chronique du Japon* (chronique d'État) et les *Registres des faits notables du temple Tôdaiji*.

Selon ces documents, le 11 septembre 764, lors d'une confrontation armée entre le chancelier Fujiwara et l'ex-impératrice Kôken, celle-ci, redevenue impératrice,

ordonna pour pénitence ou apaisement, l'impression d'un million d'exemplaires de quatre des six dhârani promettant longévité et purification des péchés, et la construction d'autant de petits stûpa (10,5 cm × 13,5 cm) pour les contenir. Elle les fit distribuer le 26 avril 770 dans les dix principaux temples du Japon. 157 fonctionnaires et artisans y ont travaillé pendant 4 à 6 ans. La taille des stûpa (sous lesquels sont d'ailleurs indiqués la date de fabrication et le nom de l'artisan) conservés au temple Hôryûji ainsi que le texte des imprimés roulés, cachetés et enfermés dans les stûpa sont conformes à ces descriptions. Les dhârani

□ Michiko Ishigami-Iagolnitzer, chargée de recherche à l'Institut de recherche et d'histoire des textes, 40 avenue d'Iéna, 75116 Paris.

auraient été imprimées à l'aide de huit (ou plus) petites planches de bois gravées, imbibées d'encre de suie de pin et pressées sur du papier d'origines diverses. Du fait que quelques stûpa plus grands représentent chacun mille ou cent mille petits stûpa, l'on peut déduire que le nombre d'imprimés a été, sinon d'un million, du moins de plusieurs centaines de mille.

Surigyô (frottage des sûtra) Période Heian

Après les Hyakumantô-dhâranî, l'impression xylographique semble avoir été interrompue au Japon pendant plus de deux siècles. Durant la deuxième moitié de la période Heian (794-1192) les nobles de Kyôto pratiquèrent souvent le "surigyô-kuyô" ou prière et offrande des textes bouddhiques xylographiques exécutés pour la paix des âmes, la guérison des maladies ou la chute de la pluie. Dans ce but ils réalisèrent de nombreuses éditions de textes bouddhiques tels que le *Hokkêkyô* (sûtra du Lotus de la bonne loi), le *Jumyôkyô* (sûtra de la longévité), le *Yakushikkyô* (sûtra du maître des remèdes), etc. Les mentions de telles éditions se trouvent dans divers documents à partir de 1009.

Les exemplaires les plus anciens de ces éditions portent des notes manuscrites de 1053 et de 1080.

Kasuga-han (éditions Kasuga) Période Heian

Parallèlement, des temples de la région de Nara, en particulier le temple Kôfukuji, patronné par les Fujiwara alors tout puissants à la cour impériale, publièrent, pour les moines qui suivaient des cours, plusieurs éditions commentées du Jôyûshikiron (Chengweishilun, achèvement de la doctrine "rien que la conscience"), canon fondamental de de l'école Hossô (Faxiang) à laquelle appartient le Kôfukuji. Le temple shintoïste Kasuga protégeait cette école et ces éditions portent souvent la mention qu'elles lui furent offertes.

Les Hyakumantô-dhâranî, les Surigyô et les Kasuga-han constituent ainsi les premières éditions xylographiques japonaises parvenues jusqu'à nos jours.

POUR EN SAVOIR PLUS

Un colloque sur « Le livre et l'imprimerie en Extrême-Orient et en Inde » a eu lieu dans le cadre du CNRS, en mars 1983. Il était organisé par l'Institut d'Étude du Livre, l'Institut de recherche et d'histoire des textes et la Direction du Livre et de la Lecture. Les actes de ce colloque sont en cours de publication par la Société des bibliophiles de Guyenne, dans la *Revue française d'histoire du Livre*.



Un des stûpa des Hyakumantô-dhâranî. Japon, VIII^e siècle (cliché J.-P. Drègel).

無垢淨光經
自心陀羅尼
南誦薄伽伐
帝納婆納伐
底南三藏
三佛陀俱旺
那度多設多
常訶薩羅引

南二南誦薩
婆你伐羅拏
聲毗瑟迦鼻
泥引普提薩
埤也三庵引
觀智觀智五
薩婆阿伐羅
拏毗成達尼
大薩婆恒他
揭多摩庚播
刺尼七毗布
麗眠末麗八
薩婆悉陀南

摩塞訖栗帝
九跋羅跋羅
十薩婆薩婆
婆盧羯尼十
吽引薩婆尼
伐羅拏毗
瑟迦毗泥
薩婆播波
燒達尼莎
訶

Texte imprimé de la formule magique Jishinjin des Hyakumantô-dhâranî, transcrite phonétiquement du sanskrit en caractères chinois. (Tiré de Zenhachi Kobayashi : *Nihon shuppan bunkashi*, série *Nihon shoshigaku taiketsu* 1, Tokyo, librairie Seimodô, 1978.)

東漢火昌碑刻「陀羅尼經」天平寶字八年印刷の始

Le delta sous-marin du Rhône et son canyon afférent : morphologie détaillée au sondeur multifaisceaux (sea-beam)

Les sondages bathymétriques détaillés réalisés au sea-beam dans le delta sous-marin profond du Rhône et son canyon afférent révèlent des caractéristiques morphologiques tout à fait inattendues, très voisines de celles des systèmes hydrographiques continentaux.

Gilbert BELLAICHE

Les deltas sous-marins profonds (ou deep sea fans) représentent des accumulations sédimentaires souvent énormes, situées au pied des pentes continentales sous plusieurs milliers de mètres d'eau. Leur alimentation détritique (essentiellement des graviers, sables et vases), résultat des érosions continentales, est assurée le plus souvent par l'intermédiaire des canyons sous-marins qui parcourent la pente.

Le volume de ces dépôts, leur hétérogénéité et leur mode de gisement, font de ces deltas profonds, actuels ou fossiles, des structures extrêmement favorables à la formation et/ou au piégeage des hydrocarbures. D'ailleurs bon nombre d'entre eux, comme celui de Friggs en mer du Nord ou celui du Mississippi dans le golfe du Mexique, sont actuellement exploités ou exploitables.

Les dépôts liés à ces appareils sédimentaires (aussi appelés en raison de leur forme "éventails") s'organisent en une succession d'unités sédimentaires, ou "turbidites", de granulométrie très variable, dont la lithologie évoque étroitement celle des formations extrêmement répandues à terre, formées d'alternances de bancs de grès et de schistes et connues sous le nom de "flyschs". Turbidites et flyschs sont d'ailleurs considérés par les géologues comme

résultant d'un seul et même mécanisme gravitaire de dépôt : les courants de turbidité.

Le delta sous-marin profond du Rhône, situé au large du golfe du Lion, constitue l'un des appareils sédimentaires les plus représentatifs de ce type. Son étude approfondie a fait l'objet de la part du CNRS, à la fin des années soixante-dix, d'un programme de travail intitulé "PROFANS" qui a reçu l'appui des organismes de recherche pétrolière.

La morphologie de ce delta, ainsi que celle de son canyon vecteur, le canyon du Petit-Rhône, n'avait jusqu'alors donné lieu qu'à des relevés bathymétriques à l'écho-sondeur traditionnel monofaisceau à pinceau large (grand angle d'émission). Cependant, les exigences de la recherche scientifique ont rendu nécessaire une étude bathymétrique beaucoup plus précise au sea-beam, sondeur ultra-perfectionné du CNEXO, comportant seize faisceaux étroits. Les informations recueillies à bord du navire (le "Jean Charcot") sont traitées en temps réel par un miniordinateur qui fournit sur une table traçante les lignes de contour bathymétriques. Ces campagnes ont été financées par le CEPM (Comité d'Etudes Pétrolières Marines) car elles devaient également servir à préparer l'implantation de deux forages pétroliers, qui ont eu lieu très récemment dans cette zone. Elles ont abouti à l'établissement d'une carte (voir figure).

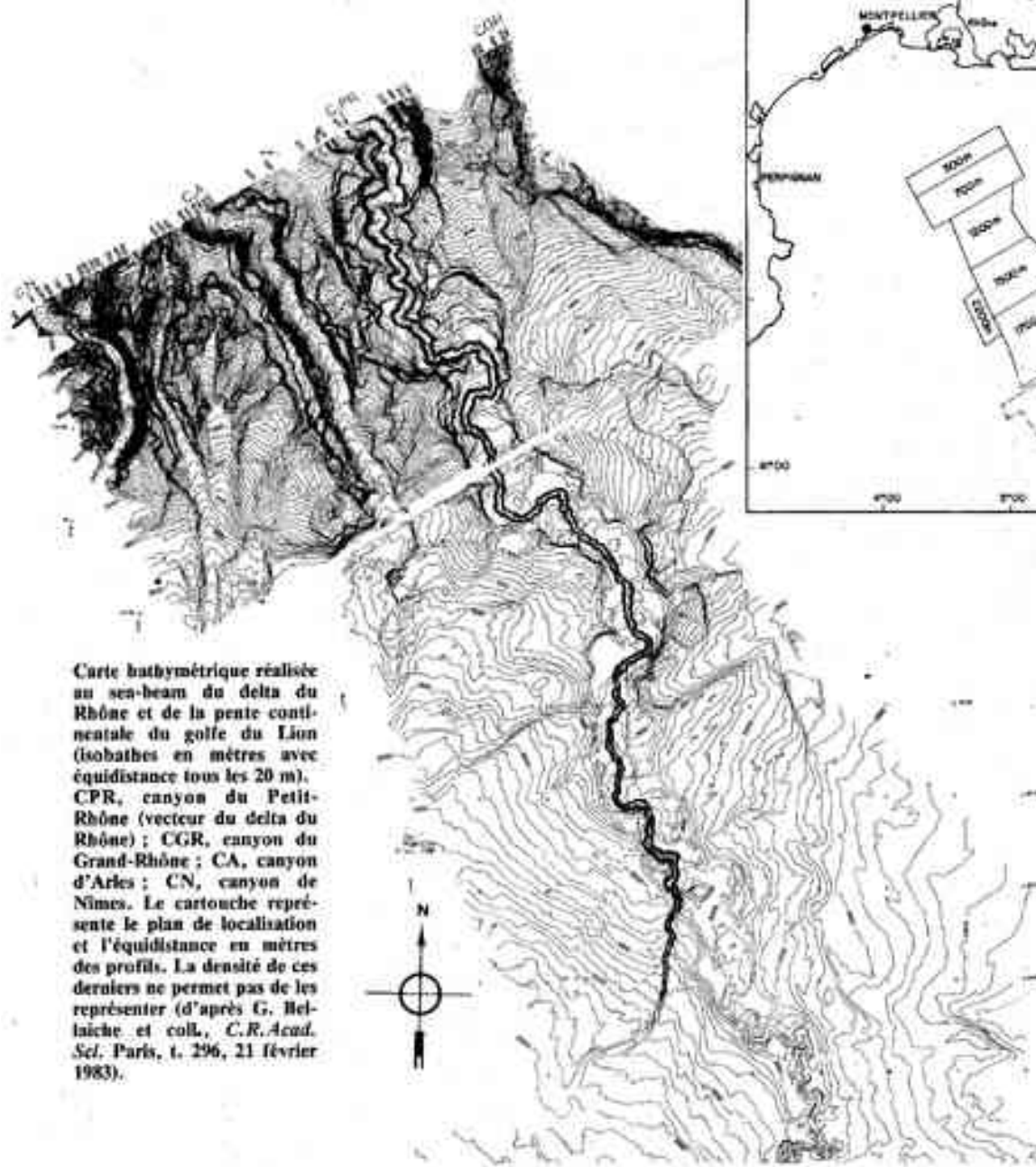
Le levé à l'origine des données repose sur un réseau de cent soixante-dix profils orientés nord-est, sud-ouest, longs de quarante à soixante

kilomètres, et espacés progressivement de l'amont vers l'aval de cinquante à deux mille six cents mètres. L'orientation des profils a été choisie de façon à être perpendiculaire aux vents et à la houle de nord-ouest dominants dans cette région (mistral). Ce choix a été guidé par les conditions d'utilisation du sea-beam ainsi que par l'orientation générale de l'éventail. Les intervalles entre les profils ont été calculés de façon à obtenir une couverture la plus jointive possible de l'ensemble de la zone explorée, ce qui n'a été rendu possible que grâce à l'excellent degré de précision fourni par les systèmes de navigation, basés sur la propagation des ondes radioélectriques émises à partir de stations terrestres fixes (système TORAN) ou mobiles (système Syledis de la CGG), cette dernière méthode fournissant une précision de l'ordre de quelques mètres. La carte obtenue peut donc être considérée comme un document entièrement objectif, le montage des différents profils ayant été réalisé sans aucun problème de raccordement, ce qui mérite d'être souligné compte tenu de l'escarpement des reliefs.

Morphologie du canyon du Petit-Rhône et de son chenal profond

Une des révélations les plus marquantes de cette carte est la très grande dissemblance morphologique entre des canyons pourtant très voisins : en effet, si la morphologie de la plupart des

□ Gilbert Bellaiche, maître de recherche au CNRS ; Groupe d'étude de la marge continentale (ERA 605), Université de Paris VI, Laboratoire de géodynamique sous-marine, BP 48, 06230 Villefranche-sur-mer.



Carte bathymétrique réalisée au sea-beam du delta du Rhône et de la pente continentale du golfe du Lion (isobathes en mètres avec équidistance tous les 20 m). CPR, canyon du Petit-Rhône (vecteur du delta du Rhône) ; CGR, canyon du Grand-Rhône ; CA, canyon d'Arles ; CN, canyon de Nîmes. Le cartouche représente le plan de localisation et l'équidistance en mètres des profils. La densité de ces derniers ne permet pas de les représenter (d'après G. Bellaiche et coll., *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 296, 21 février 1983).

canyons ainsi explorés rappelle en première approximation celle mise en évidence par le sea-beam pour les canyons d'autres régions (notamment ceux de la baie des Anges), le canyon du Petit-Rhône présente en revanche des caractéristiques tout à fait exceptionnelles. En effet, à l'instar des vallées terrestres, son cours est affecté par de larges méandres, son lit est remarquablement plat et ses parois sont en terrasses. Il est composé d'un lit majeur* méandrique à l'intérieur duquel est aménagé un lit mineur* dont les méandres sont beaucoup plus accusés. Les phénomènes d'affouillement* et de

Écho-sondage conventionnel et sea-beam

Ce n'est que dans les années trente que le sondage des fonds marins, jusqu'alors fondé sur le fil à plomb, a progressé de façon considérable grâce à l'utilisation des ondes acoustiques, d'abord sonores (détonations d'un fusil), puis ultra-sonores (magnétostriction). Le principe de cette méthode repose sur la mesure du temps de propagation de ces ondes entre la surface et le fond. Son inconvénient provient essentiellement de la largeur du cône d'ouverture du faisceau acoustique : cet angle, variant entre 30° et 60°, fournit des mesures d'autant moins précises que la profondeur est plus grande et que les fonds sont plus accidentés. Par ailleurs, ces sondeurs n'étant pas stabilisés, la précision des mesures est en outre liée aux conditions météorologiques.

Un grand pas a été franchi grâce à l'utilisation de faisceaux plus étroits, multiples et émis par des sondeurs stabilisés. Le plus moderne de ces appareils est le sea-beam : il s'agit d'un sondeur stabilisé à 16 faisceaux de 2°2/3 chacun. Les sondes acquises lors du passage du navire sont traitées en temps réel par un miniordinateur grâce à un logiciel qui fournit sur une table traçante les lignes de contour bathymétriques.

remblaiement* des parois liés à ces méandres, joints aux phénomènes de glissements sédimentaires, contribuent à altérer la symétrie de ce canyon. Un autre caractère morphologique remarquable du lit du canyon est son rétrécissement très net en direction de l'aval : large de un kilomètre à sa tête, au voisinage du rebord du plateau, il n'atteint plus que deux cent cinquante mètres à une trentaine de kilomètres plus au sud, où sa largeur tend ensuite à se stabiliser. Encore un peu plus au sud (à partir de la latitude de 42°32') ce lit change d'aspect : il apparaît affecté de méandres très resserrés, formant des coudes de l'ordre de cinq cents à mille mètres, qui lui confèrent une allure festonnée. Un tel type de morphologie ne peut être mis en évidence que grâce à l'utilisation combinée du sea-beam et d'un système de navigation extrêmement précis, seule méthode permettant un maillage de profils suffisamment dense.

Les interfluvies des canyons apparaissent largement entamés par des glissements en masse. Ces glissements peuvent être à l'origine de deux types de morphologie différents : ils peuvent être chenalisés, et dans ce cas contribuer à accroître la superficie du réseau de canyons par érosion régressive. Ils peuvent être également pelliculaires et intéresser alors de très grandes surfaces : c'est le cas du secteur situé entre le canyon du Petit-Rhône et celui du Grand-Rhône. Ce domaine est marqué par de larges cuvettes à fond plat limitées par des escarpements curvilignes remarquables de l'ordre de soixante à cent mètres. La sismique continue confirme que cette morphologie résulte d'une succession de phases de glissements pelliculaires qui ont affecté la couche la plus superficielle de la tranche sédimentaire, très nettement stratifiée dans ce secteur. Le volume de sédiments impliqués dans ces glissements est considérable puisque nous avons pu le chiffrer, pour chacun d'eux, à près de quinze milliards de mètres cubes.

A partir de la latitude de 42°12' N, le chenal de l'éventail qui simulait jusque-là entre des levées dissymétriques, disloque sa levée droite et s'oriente en direction du sud-sud-ouest, puis du sud-ouest. Cependant, le cours de l'ancien chenal en direction du sud-sud-est est toujours nettement visible. Il est encore possible d'en percevoir les méandres, les anciennes levées sédimentaires, les bras morts, et de sui-

vre son cheminement entre les dômes salifères* (résultant de la migration vers la surface de la couche salifère profonde d'âge fini-miocène), orientés pour la plupart nord-nord-ouest, sud-sud-est.

Plus au sud, la topographie générale s'adoucisant de plus en plus, le sea-beam fournit moins de renseignements sur le cours de l'ancien chenal. Cet instrument permet cependant, avec l'aide de la sismique très haute résolution (3,5 kHz) utilisée conjointement (de même que la sismique continue), de le suivre encore en direction du Sud jusqu'à un point situé à 41°38' N et 05°17' E, à partir duquel il se ramifie en un système de distribution qui serpente au sein du champ de dômes salifères.

Dans ce domaine méridional, seule l'analyse des enregistrements au sondeur 3,5 kHz permet de vérifier la présence de ce réseau de chenaux flanqués de levées sédimentaires discrètes. De même, la distinction assez délicate en coupes transversales, entre levées sédimentaires et dômes salifères, ou encore entre chenaux et cuvettes de dissolution superficielle ou dépressions liées à la migration des dômes, n'a pu être établie que grâce à la sismique continue et au sondage 3,5 kHz. Dans cette partie éloignée de l'éventail, la carte bathymétrique montre nettement que les flux détritiques d'alimentation ont été grandement influencés par les véritables barrières morphologiques constituées par les alignements des dômes salifères.

Cette carte bathymétrique met en évidence d'étonnantes éléments de similitude morphologique entre les modèles typiquement sous-marins (1) et les modèles hydrographiques continentaux. Citons notamment la présence commune de terrasses, de méandres très resserrés, de bras morts, de levées sédimentaires, de phénomènes d'affouillement et de remblaiement respectivement sur les rives concaves et convexes, d'abandon et de ramification de chenaux. Cependant, les polarités des deux systèmes de drainage sont opposées : alors que le réseau se ramifie vers l'aval dans le cas des deltas sous-marins profonds, il offre une image ramifiée à l'amont

(1) L'hypothèse d'une origine initialement continentale pour ces modèles sous-marins profonds, suivie d'un affaissement et d'une submersion, n'est pas révisée, la dernière période de dessiccation dite mésozoïque du bassin méditerranéen, terminée il y a cinq millions d'années, étant bien antérieure au modelage de l'éventail. Celui-ci, résultant d'une histoire récente, est le fruit de processus exclusivement sous-marins profonds.

dans le cas des systèmes continentaux. D'autre part, la largeur des lits diminue vers l'aval dans le premier cas mais augmente dans le deuxième. Cette particularité peut s'expliquer par la diminution des flux d'alimentation vers le large en milieu marin alors que les débits augmentent vers l'aval en milieu continental.

Font exception cependant :

- les réseaux des cônes alluviaux ou ceux des basses plaines alluviales en milieu deltaïque (dont les éléments de similitude avec les deltas sous-marins profonds sont par ailleurs particulièrement frappants) dans lesquels la ramification se fait vers l'aval ;

- certains réseaux hydrographiques en milieu désertique débouchant dans des dépressions intérieures (dits "endoréiques**") où les rétrécissements observés des lits des chenaux sont liés à une diminution progressive puis à un tarissement des flux d'alimentation vers l'aval.

Ces phénomènes de "convergence" à l'échelle régionale entre les modèles sous-marins et continentaux, déjà mis en évidence à l'échelle de la microtopographie par les plongées en submersibles, constituent sans nul doute l'un des enseignements les plus remarquables des méthodes modernes d'investigation sous-marine.

Glossaire

Lit majeur : tracé d'écoulement des eaux d'un fleuve ou d'une rivière envahie par les hautes eaux.

Lit mineur : tracé d'écoulement des eaux d'un fleuve ou d'une rivière occupée en permanence par le cours d'eau.

Dôme salifère : massif de roches salifères pénétrant à l'emporte-pièce les terrains sédimentaires : la montée du sel est due à sa faible densité et à sa plasticité.

Affouillement : creusement latéral par les eaux dans les berges meubles d'une rivière, suivi parfois d'éboulement.

Remblaiement : colmatage par alluvionnement.

Endoréisme : caractère des régions dont le réseau hydrographique, bien qu'ayant un écoulement saisonnier, ne se raccorde pas au niveau de base général des mers et océans.

BIBLIOGRAPHIE

Le soudeur, sondeur à multifaisceaux du N/O « Jean Charcot », V. Renard et J.P. Allouas. *Revue Hydrographique Internationale*, Monaco, 36, 1, 1979, p. 35-71.

Ce travail résulte de la collaboration entre des équipes associées au CNRS (URA n° 605 Paris-Villefranche-sur-Mer, ERA n° 962 Perpignan), le Centre océanologique de Banyuls et le Comité d'études pédocénares marines (OSMA (P), CFP et IEP).

Les Editions du CNRS

Ces ouvrages sont disponibles chez votre libraire habituel ou à la librairie du CNRS,
295, rue Saint Jacques — 75005 Paris — Tél. : (1) 326.56.11
Ils peuvent être consultés tous les jours, sauf samedis et dimanches,
de 9 h à 12 h et de 13 h 30 à 17 h 30.

Mathématiques et Physique de base

La projection acoustique des contraintes distributionnelles — Contribution à la reconnaissance automatique de la parole — Denis Ramasse — Les contraintes distributionnelles et leur parenté avec la neutralisation ; recherche de la manifestation de cette parenté au niveau acoustique ; essai d'application à la reconnaissance automatique de la parole. — 15 × 21 / 284 p. / dos collé / 142 fig. / 6 tabl. — Prix : 142 F.

Terre, océan, atmosphère, espace

Cahier du Quatenaire/n° hors série. Paléoclimats — Journée de Bordeaux, mai 1983. 17 communications : données astronomiques sur les causes actuelles des variations saisonnières de climats et cycles climatiques, reconstitutions paléoclimatiques pour des périodes géologiques anciennes, approche astronomique de l'écologie humaine préhistorique, les données des carottes de glace de l'Antarctique, etc. — 21 × 29 / 252 p. / dos collé / 40 fig. / 13 tabl. / 1 cart. / 19 pl. fig. Co-édition : éditions du CNRS-éditions de l'IG BA — Prix : 130 F.

Cahiers de micropaléontologie I/1983 — Evidence ou réalité chez le genre *micrhystridium* — Un exemple par l'étude de quelques formes

jurassiques du Jura français. Bernard Courtinat. Deux aspects développés : une analyse bibliographique, une analyse au microscope électronique à balayage. — 21 × 27 / 44 p. / dos collé / 7 fig. / 4 tabl. / 4 pl. phot. h.t. — Prix : 45 F.

Flore descriptive des monts Nimba (Côte d'Ivoire, Guinée, Libéria) — Tome VI — Jacques-Georges Adam — Ce dernier tome comprend la famille des Cypéracées et celle des Poacées ; pour chaque espèce : description des appareils végétatifs et reproducteurs, référence au type biologique et au biotope, époques de floraison et de fructification. — 21 × 27,5 / 136 p. / broché / 16 pl. fig. — Prix : 200 F.

Sciences de la vie

L'explication dans les sciences de la vie — Direc. : Hervé Barreau — Plusieurs auteurs traitent de l'épistémologie des sciences de la vie et en particulier des raisons pour lesquelles certains types d'explication sont reconnus comme valides par les biologistes et les chercheurs médicaux. — 16 × 24 / 260 p. / broché / 7 pl. fig. — Prix : 90 F.

Le développement opératoire de l'enfant entre 6 et 12 ans — Elaboration d'un instrument d'évaluation, par Laurence Rieber, Anik de Ribaupierre, Jacques Lautrey — Analyse des conduites d'enfants de 6 à 12 ans dans plusieurs domaines de

la connaissance. Approche du problème théorique des différences dans la forme du développement cognitif. Préalables à l'utilisation de la théorie de Piaget pour la pratique de l'examen psychologique. — 16 × 24 / 192 p. / broché / 12 fig. / 70 tabl. — Prix : 100 F.

Modalités, rythmes, mécanismes de l'évolution biologique — Gradualisme phylétique ou équilibres ponctués ? — 40 communications dont 10 en anglais ; résumés français-anglais — Sous la direc. de Jean-Chaline — Mise au point sur les problèmes évolutifs, rassemblant biologistes et paléontologistes. Mise en évidence des implications des concepts actuels, des questions fondamentales posées par les rapports entre notions d'espèces biologiques et géobiologiques et par la formation des espèces dans l'espace et le temps. — 21 × 29,7 / 340 p. / broché / 99 fig. / 13 tabl. — Prix : 380 F.

Etude de la croissance et de la variabilité chez un foraminifère benthique littoral *ammoniaebecarti* (Linné) en Méditerranée occidentale — Marie-Thérèse Vénec-Peyré — Etude morphologique et biométrique afin de déterminer l'influence de la croissance et celle de l'écologie dans la variabilité de cette espèce. — 21 × 27 / 54 p. / dos collé / 13 fig. / 2 tabl. / 10 pl. phot. h.t. — Prix : 55 F.

Pathologie osseuse au Moyen Age en Provence — Pathologie de 250 squelettes provenant de 4 sites — Mise en

évidence de comportements socio-culturels par l'étude des anomalies congénitales héréditaires et du mode de traitement des fractures. Aspects ethnographiques révélés par la présence de certaines maladies infectieuses ou métaboliques. — 21 x 29 / 278 p. / dos collé / 16 fig. / 23 tabl. / 117 pl., fig. ou phot. — Prix : 240 F.

Sciences de l'homme et de la société

L'Inde et la coopération internationale — Colloque international de New-Delhi, nov. 1981 — Ouvrage collectif, 14 communications dont 13 en anglais — Expérience des entreprises indiennes dans leurs relations de coopération internationale ; comparaison de cette expérience à celle de grandes entreprises étrangères ; possibilité de développer la coopération. — 15 x 21 / 320 p. / dos collé / 24 tabl. / 1 cart. — Prix : 120 F.

Gallia préhistoire, la dénomination des objets de pierre taillée — Michel N. Brézillon — Réimpression. Systématique et nomenclature, formation du vocabulaire, vocabulaire descriptif du débitage et du façonnage, avenir de la taxonomie préhistorique ; lexique de 1 000 mots. — 22 x 28 / 432 p. / broché / 235 fig. — Prix : 100 F.



Passoire pour la cuisson à vapeur. Rénis, Nabul.

Pour la normalisation de la description des poteries — Hélène Balfet, Marie-France Fauvet-Berthelot, Susana Monzon — Système de dénomination et de description dans une double perspective : ethnologique et archéologique ; nomenclature con-

cernant les formes de poterie, la fabrication et les procédés de décoration. — 21 x 27 / 136 p. / broché / 44 pl., fig. ou photo. — Prix : 110 F.

Emile Zola, correspondance, tome IV, juin 1880-décembre 1883 — Direc. : B.H. Bakker — Les 387 lettres de ce tome témoignent d'une époque charnière de la vie de Zola, s'éloignant des domaines littéraires et, inversement, devenant de plus en plus célèbres hors de France ; ce tome révèle un Zola à la conquête de la pensée européenne. — 16 x 24 / 528 p. / relié — Edité en collaboration avec les Presses de l'Université de Montréal. — Prix : 300 F.

Histoire du droit français des origines à la Révolution — Fr. Olivier-Martin. Description des institutions de l'ancien régime fondée sur le dualisme constitué par le roi et la nation ; mise en lumière des institutions les plus caractéristiques pour chaque période. — 16 x 24 / 776 p. / relié — Réimpression de l'édition de 1948. — Prix : 190 F.

Les mobiles dans les actes juridiques du droit privé — Louis Josserand — Définition et classification des mobiles, leur influence et leur rôle ; apport des actes juridiques. — 16 x 24 / 436 p. / relié — Réimpression de l'édition de 1928. — Prix : 120 F.

Musique française XVII^e-XVIII^e siècles, Vol. II — Neuf leçons de ténors de Marc-Antoine Charpentier pour une et trois voix d'hommes avec instruments. (H 120-125, 135-137). Edmond Lemaître — Oeuvres de la maturité, ces leçons réunies en trois groupes dans le volume XXIII, se distinguent des pièces antérieures par l'importance de leur effectif monumental. — 23 x 31 / 262 p. dont 240 de musique / broché. — Prix : 190 F.

Laïcité islamique en Algérie — Henri Sanson — La laïcité islamique en tant que structure de société et dans ses applications par les statuts qu'elle institutionnalise ; approche originale d'une sociologie religieuse en termes de laïcité. — 16 x 24 / 176 p. / broché. — Prix : 80 F.

Maghrébins en France, émigrés ou immigrés ? Ouvrage collectif extrait de l'annuaire de l'Afrique du Nord, 1981. Phénomène à l'origine conjoncturel et temporaire, l'émigration maghrébine débouche aujourd'hui

sur la formation de communautés installées, stabilisées ; comment s'est réalisé un tel renversement, quelles en sont les causes, les conséquences ? 16 x 24 / 436 p. / broché / 3 fig. / 71 tabl. / 3 cart. — Prix : 120 F.

Paroisses et communes de France — Dictionnaire d'histoire administrative et démographique, Isère — direc. : J.P. Bardet — Evolution des communes de l'ancien régime à nos jours (politique, juridique, ecclésiastique, administrative, démographique) ; introduction : histoire, archives, sources diverses, cartes historiques, statistiques démographiques (présentation de chaque commune par un tableau). — 16 x 24 / 720 p. / relié / tabl. / cart. — Prix : 180 F.

La petite ville au présent et au futur — Jean-Claude Lugan — Existence des petites villes comme ensembles particularisés ? leur analyse en tant que systèmes sociaux ; réaction de ces systèmes par rapport à l'évolution sociale actuelle et aux évolutions sociales possibles. — 16 x 24 / 352 p. / broché / 5 fig. / 26 tabl. / 3 cart. — Prix : 120 F.

Cadastrés et espace rural — Approches et réalités antiques ; table ronde de Besançon, mai 1980 — direc. : Monique Clavel-Levêque — Modélisation de la recherche des cadastrés antiques ; méthodologie de l'analyse des documents planimétriques et du traitement analogique des images aériennes ; application au monde romain occidental. — 22 x 28 / 356 p. / broché / 67 fig. / 8 tabl. / 90 pl., fig. ou phot. / 3 dépliant h.t. — Prix : 400 F.

Paléorient — Volume 9/1, 1983 — Approche pluridisciplinaire de l'archéologie de l'Asie du sud-ouest (vie et conditions de vie des populations). — 21 x 29,7 / 112 p. / broché / 29 fig. / 12 tabl. / 4 cart. / 12 pl., fig. ou phot. — Prix : 145 F.

Atlas historique des villes de France sous la direction de Ch. Higounet, J.B. Marquette, Ph. Wolff — Etudes graphiques en huit couleurs de cartographie historique ; présentation de types de ville ; développement topographique avant l'ère industrielle ; plan, structure parcellaire, chronologie monumentale sur fond cadastral ancien au 1/2500^e ; notice 32 x 42 / notices, cart., légendes sous dossier — Roder



Palais et demeures de Tunis, Patio à péristyle de marbre clair.

(Aveyron) : des vestiges significatifs de l'époque préhistorique. — Prix : 48 F. — Cahors (Lot) : né aux temps gallo-romains, cité épiscopale dès le IV^e siècle, ville marchande puis place de guerre au Moyen Âge. — Prix : 48 F. — Figenc (Lot) : avant tout une ville de confins. — Prix : 48 F. — Montauban (Tarn et Garonne) : place originale dans l'histoire urbaine : né en 1144, première des villes neuves méridionales. — Prix : 48 F. — Albi (Tarn) : modeste vicus aux temps gallo-romains, essor au X^e siècle, ville immobile de 1340 à 1740. — Prix : 48 F.

Atlas linguistique et ethnographique de Bourgogne (atlas linguistique de la France par région) — Gérard Taverdet — Index permettant le report aux trois volumes concernant la Bourgogne ; référence au numéro du volume, de la carte. — 16 × 24 / 24 p. / broché. — Prix : 30 F.

Jean Moulin et le Conseil National de la Résistance — Etudes et témoignages sous la direction de François Bédarida, J.-Pierre Azéma ; textes : Daniel Cordier — Actes de la journée d'études du 9 juin 1983 regroupant historiens et acteurs : mise au point sur l'action de Jean Moulin et la genèse du conseil national de la Résistance ; l'étude faisant suite renouvelant la connaissance des années 1942-1943. — 15 × 21 / 192 p. / dos collé. — Prix : 40 F.

Palais et demeures de Tunis, XVIII^e et XIX^e siècles — Etudes d'antiquités africaines — Jacques Revault — réimpression — Fait suite au 1^{er} volume consacré au XVI^e et XVII^e siècles, aspect de l'habitat traditionnel tunisois à l'époque husseinite : transformation des palais et demeures sous la double influence de l'Italie et de la Turquie. — 21 × 27 / 644 p. / relié. — Prix : 420 F.

Palais et Maisons du Caire, II — Epoque ottomane XVI-XVIII^e siècles — Ouvrage collectif — Evolution du Caire : données démographiques, économiques, humaines et sociales ; évolution de l'architecture domestique ; contribution à une meilleure connaissance de l'espace urbain en milieu musulman. — 22 × 28 / 612 p. / relié / 4 fig. / 5 tabl. / 110 pl., fig. ou phot. / 2 dépl. h.t. / 188 pl., fig. ou phot. h.t. — Prix : 490 F — Rappel : Palais et Maisons du Caire, Vol. I : époque mamlouke. — Prix : 395 F.

XVIII^e supplément à Gallia préhistoire. La nécropole de Chenon, étude d'un ensemble dolménique charentais — Edmond Gauron, Jean Massaud — Les civilisations de Vienne-Charente et d'Artenac connues par l'architecture et le mobilier des six dolmens étudiés, étude muséologique définissant les sujets inhumés ; analyse des techniques de boucherie et étude du petit bœuf néoli-

thique par les ossements animaux. — 22 × 28 / 216 p. / broché / 18 fig. / 17 tabl. / 20 pl. fig. / 12 pl. phot. h.t. — Prix : 200 F.

Le temps chrétien de la fin de l'Antiquité au Moyen Âge - III^e-XIII^e siècles — Paris, 9-12 mars 1981 — Editeur : Jean-Marie Leroux — La civilisation chrétienne affrontée à un dilemme quasi insurmontable : comment concilier le temps cyclique, hérité du paganisme, avec le temps rectiligne, que posait l'histoire du salut — 38 communications dont 2 en italien. — 16 × 24 / 580 p. / relié. — Prix : 480 F.

Thésaurus d'histoire médiévale, documents diplomatiques et judiciaires. Introduction : Josette Meunier, Pierre-Clément Timbal — Destiné à faciliter l'indexation des documents ; ensemble de mots-clés organisé méthodiquement dans un cadre juridique (mots-clés hiérarchisés sur trois niveaux et assortis des liaisons nécessaires. — 21 × 27 / 124 p. / broché / 2 fig. — Prix : 80 F.

Les manuscrits en écriture bénéventaine de la bibliothèque capitulaire de Bénévent, Tome I : manuscrits 1-18 — Jean Mallet, André Thibaut — Historique du fonds capitulaire du XV^e au XVIII^e siècle avec présentation des manuscrits hagiographiques, homilétiques, patristiques et bibliques ; description des manuscrits ; annexes : édits, liste de dédicaces ; tableau comparatif des homéliaires. — 21 × 27 / 374 p. / relié / 16 fig. / 7 tabl. / 18 pl. phot. h.t. — Prix : 440 F.

Les Morisques et leur temps. Table ronde internationale, Montpellier, 1981 — La problématique morisque : origine, aspects culturels, religieux, sociologiques ; réactions face à ces minoritaires ; leur expulsion ; la pression inquisitoriale. — 26 communications dont 13 en espagnol. — 16 × 24 / 554 p. / broché / 8 fig. / 21 tabl. / 2 cart. — Prix : 250 F.

Les commanderies des Templiers et des Hospitaliers de Saint-Jean de Jérusalem en Saintonge et en Anais — Anne-Marie Legras — Description et histoire à partir des vestiges archéologiques et des sources écrites, notamment les archives de l'ordre de Malte ; contribution à l'histoire du Temple, de l'Hôpital et à l'histoire de ces deux provinces. — 18 × 23 / 220 p. / broché / 3 cart. / 42 pl. phot. ou fig. — Prix : 60 F.

