

Le courrier du CNRS 44

Auteur(s) : CNRS

Les folios

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

52 Fichier(s)

Les relations du document

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

Citer cette page

CNRS, Le courrier du CNRS 44, 1982-03

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

Consulté le 16/12/2025 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/139>

Présentation

Date(s)1982-03

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

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

Information générales

LangueFrançais

CollationA4

Informations éditoriales

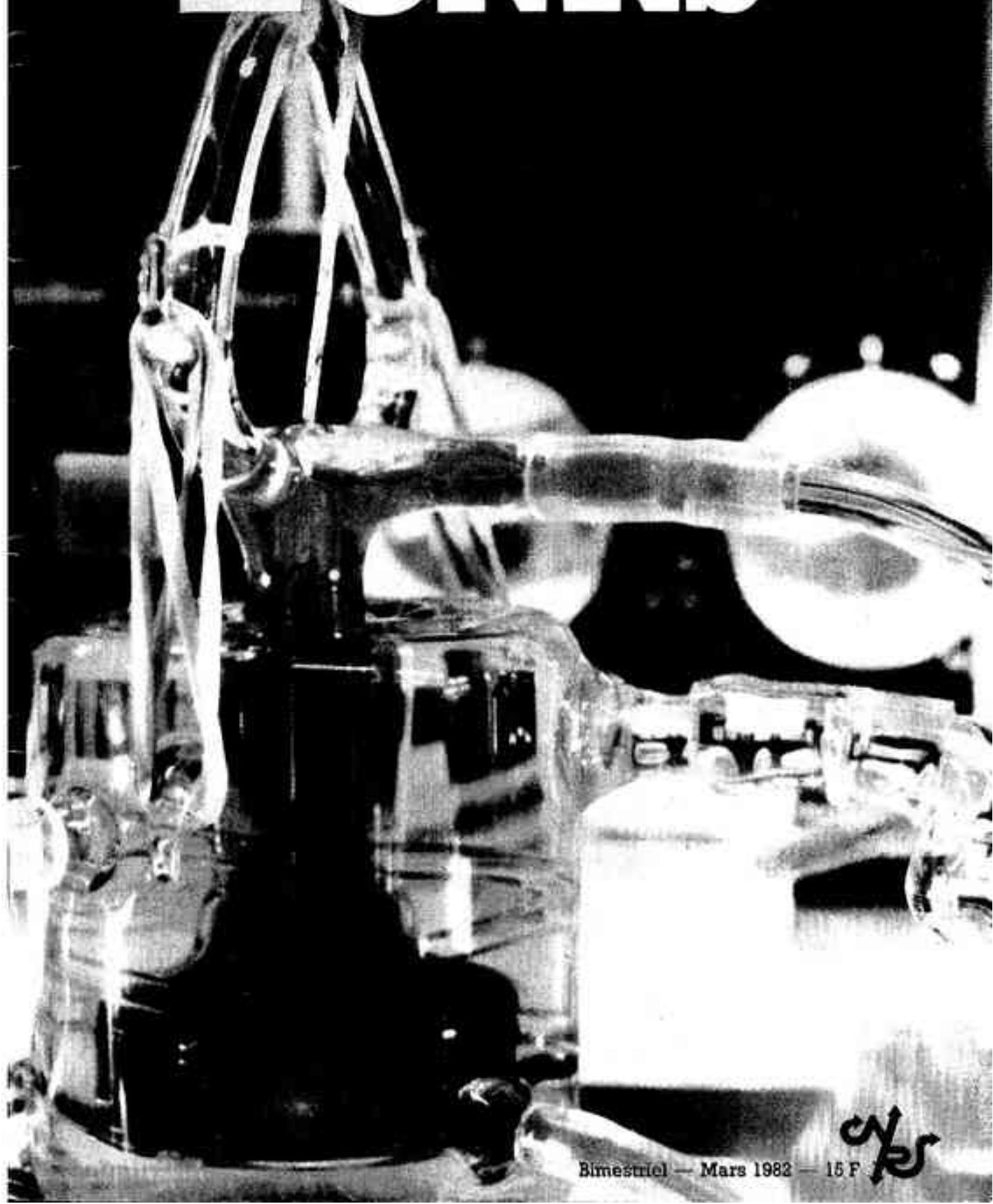
N° ISSN0153-985x

Description & Analyse

Nombre de pages52

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

LE COURRIER DU CNRS



Bimestriel — Mars 1982 — 15 F

cnrs

Centre national de la recherche scientifique

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

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :
Wladimir Mercouroff

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION :
Martine Chabrier-Elkik

LA VIE DES LABORATOIRES :
Véronique Brossollet

ENTRETIENS :
Monique Mounier

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

Abonnement et vente au numéro, le numéro 15 F.
Abonnement annuel : 55 F (voir bulletin p. 27-34).

Tout changement d'adresse doit être signalé au secrétariat de rédaction.

Revue bimestrielle comportant 5 numéros par an qui paraîtront ainsi pour l'année 1982 : n° 44 - mars, n° 45 - mai, n° 46 - juillet, n° 47 - septembre, n° 48 - novembre.

Nous remercions les auteurs et les organismes qui ont participé à la rédaction de ce numéro.

Les intertitres et les chapeaux introductifs ont été rédigés par le secrétariat de rédaction.

Les textes et illustrations peuvent être reproduits sous réserve de l'autorisation du directeur de la publication -

DIRECTION ARTISTIQUE : Prest'Agence, 75 rue de Villiers, 92200 Neuilly sur Seine.

RÉALISATION ALLPRINT, 8 rue Antoine Chantin, 75014 Paris.

C.P.A.D. 303 - ISBN 2-222-03068-4 - ISSN 0153-985 X. © Centre national de la recherche scientifique.



Page 1 de couverture :
La synthèse de l'UDM3. Vue partielle de l'installation : dispositif d'injection des réactifs (voir p. 6).

Page 4 de couverture :
Fête à l'an 2000. Sarath Sa - Cotes moyen 2e anniv - Groupe scolaire Jean Zay - Châlons-en-Champagne. 36 pris. Ce dessin a été réalisé pour le concours scolaire organisé à l'occasion des Assises de la recherche et de la technologie de la région Centre. (voir encadré p. 47).

CNRS
Dépôt des archives
Bâtiment 19
1, avenue de la Terrasse
91198 Gif-sur-Yvette

Editorial	4	Après le colloque	Claude Fréjacques
Le point	6	Synthèse de l'UDMH, carburant de la fusée Ariane	Henri Delalu, Alain Marchand, Roger Cohen-Adad
Réflexion sur	14	Le travail, l'emploi et les qualifications	Jean-Jacques Silvestre
A la découverte	18	L'aquifère karstique : un domaine perméable original	Claude Drogue
A la recherche	24	Une civilisation du palmier à sucre en Asie	Guy Lubeigt
A propos	36	Molécules interstellaires : le développement en France de l'astronomie en ondes millimétriques	Alain Baudry
Dossier	42	Programme interdisciplinaire de recherches sur les sciences pour l'énergie et les matières premières (PIRSEM)	Le groupe de direction du PIRSEM
Rencontre	47	Une journée « portes ouvertes »	Janine Rondest
Bibliographie	48	Les Éditions du CNRS	

Après le colloque

Lorsque paraîtra le Courrier du CNRS, les discussions et les négociations pour la mise en application des recommandations du Colloque auront commencé. Je souhaite dès maintenant vous indiquer les orientations principales que j'ai retenues ainsi que le calendrier prévisible des décisions à prendre.

Tout d'abord il y a l'affirmation de l'utilité sociale et de la dignité du métier de chercheur - reconnu par un statut - et la volonté de faire croître les moyens consacrés en France à la recherche scientifique et technique. La contre-partie est notre responsabilité vis-à-vis de la communauté nationale et internationale, la nécessité, outre la quête de la connaissance qui est notre fonction principale, de faire savoir ce que nous faisons et pas seulement dans le milieu scientifique, et de valoriser partout où cela est raisonnable les acquis des études effectuées avec les moyens mis à notre disposition par le pays.

La loi d'orientation et de programmation de la recherche scientifique et technique en France doit être déposée à la session de printemps du Parlement. Elle doit définir la finalité de cet effort, les grandes lignes des besoins en formation par et pour la recherche, les principes généraux du statut du personnel de recherche des établissements publics - un statut de fonction publique avec toutes les dérogations nécessaires à la spécificité de notre métier de chercheur - les missions et les principes d'organisation des établissements publics de recherche, enfin la croissance des moyens jusqu'en 1985, à savoir une croissance de 4,5 % par an du personnel de recherche et une croissance en volume du budget public civil de recherche scientifique et technique de 17,8 % par an.

En ce qui concerne le CNRS nous aurons, dans le cadre défini par cette loi d'orientation et de programmation, à adapter à notre organisme les principes généraux ainsi définis. Cela fera l'objet de discussions et de négociations et devrait aboutir avant l'été à un nouveau statut du CNRS remplaçant celui de septembre 1979, ainsi qu'à un nouveau statut du personnel et à de nouvelles procédures internes à notre maison.

J'ai retenu le souci de démocratisation aux différents niveaux de décision, des laboratoires à la base, aux instances du Comité national et au Conseil d'administration. Des représentants élus du personnel devraient siéger avec voix pleine et entière au Conseil d'administration du CNRS.

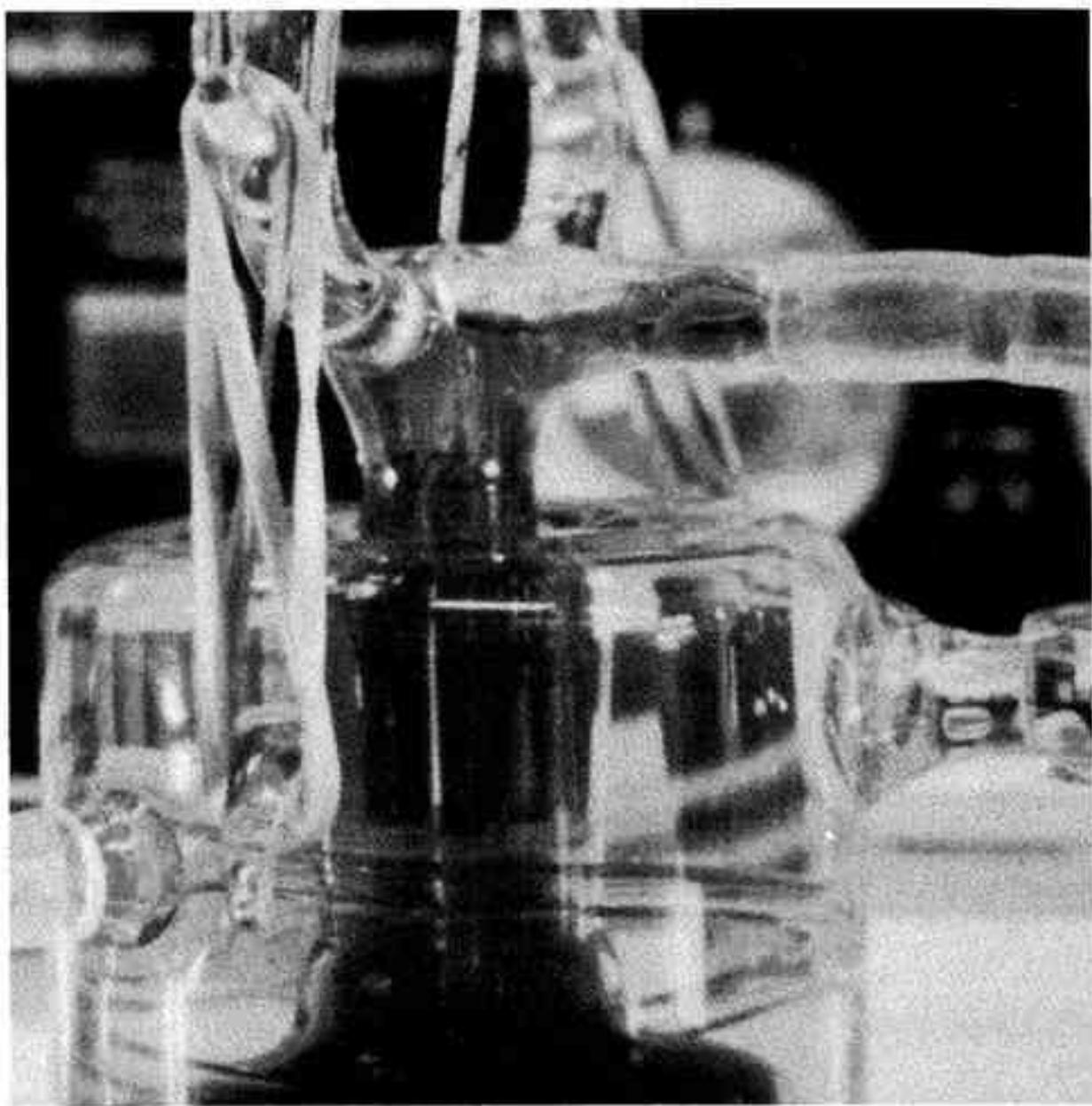
L'aspect régional devra être affirmé en liaison avec les Comités consultatifs régionaux de la recherche scientifique et technique placés auprès des Etablissements publics régionaux. Une animation régionale propre dotée de moyens sera entreprise, ainsi que la décentralisation des procédures et actes administratifs. Par contre l'évaluation des chercheurs et des formations de recherche devrait rester au niveau national, et nous avons eu la satisfaction de voir que les procédures du Comité national étaient généralement considérées comme un modèle certes perfectible mais valable, pour cette évaluation. Une liaison étroite et réciproque avec les universités devra être maintenue.

Le souci de valorisation est d'abord un état d'esprit qui doit être partagé par chacun d'entre nous, suivant les particularités de son domaine. Nous devrons définir les formes de participation aux programmes mobilisateurs du Ministère de la recherche et de la technologie qui apporteront de nouveaux éclairages et de nouveaux besoins en recherche de connaissances de base. La recherche fondamentale autonome restera de toute façon largement majoritaire dans notre maison.

Vous voyez que l'après-colloque nous trace un avenir plein de promesses et de responsabilités. J'appelle chacun d'entre vous à s'engager dans cet avenir avec toute l'ardeur et l'imagination qui sont celles des vrais chercheurs.



Claude FREJACQUES
Président du CNRS



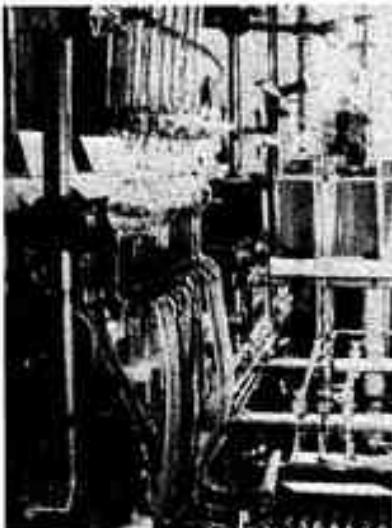
Synthèse de l'UDMH, carburant de la fusée Ariane

La mise au point d'un nouveau procédé de synthèse de l'UDMH, propérgol de la fusée Ariane, va permettre par la création d'une unité de fabrication à l'échelle industrielle de résoudre les problèmes d'approvisionnement de ce carburant.

Henri DELALU - Alain MARCHAND - Roger COHEN-ADAD

La diméthylhydrazine asymétrique, communément désignée sous le sigle UDMH (unsymmetrical dimethyl hydrazine) est une molécule simple du point de vue chimique. Elle n'en suscite pas moins un intérêt très vif en raison de l'une de ses utilisations spécifiques : celle de carburant pour la fusée Ariane. C'est en effet l'UDMH qui, associée au peroxyde d'azote, alimente les deux premiers étages du lanceur de satellites. Initialement, l'UDMH nécessaire aux essais et à la mise au point des moteurs « Viking » de la fusée était fabriquée par une société américaine, la FMC corporation. Mais l'utilisation, dans le procédé de synthèse mis au point par cette firme, d'un produit dangereux aux propriétés cancérogènes (la diméthylnitrosamine) a entraîné aux alentours de 1975 la fermeture de l'usine de Baltimore qui produisait l'UDMH.

Les responsables du Centre national d'études spatiales (CNES) se sont alors trouvé devant un problème d'approvisionnement en carburant pour Ariane. Ils l'ont résolu momentanément par des achats effectués à l'URSS, tout en cherchant un laboratoire français capable de mettre au point une méthode de synthèse non polluante de l'UDMH. Le choix s'est porté sur le laboratoire de physico-chimie minérale associé au CNRS à Villeurbanne, qui travaillait



sur des molécules appartenant à la même famille que la diméthylhydrazine et avait donc les compétences pour résoudre le problème posé. C'est ainsi qu'est né et qu'a été développé un nouveau procédé de synthèse de cette molécule stratégique qu'est l'UDMH.

Intérêt de l'UDMH en propulsion

Quelle que soit la nature de l'ergol utilisé, la réaction de combustion donne naissance à des gaz qui se détendent dans une tuyère de Laval, en fournissant un effort propulsif appelé poussée. Si la tuyère est « adaptée », c'est-à-dire si la pression de sortie des gaz est égale à la pression extérieure, la poussée F est égale au produit du débit massique par la vitesse d'éjection :

$$F = U \cdot \frac{dm}{dt}$$

et l'impulsion totale fournie à l'engin est exprimée par la somme, étendue à toute la durée de la combustion :

$$I = \int F dt$$

La qualité énergétique d'un propérgol est caractérisée par l'impulsion spécifique I_s , rapport de l'impulsion totale au poids de carburant consommé ; elle est proportionnelle à la vitesse d'éjection des gaz :

$$I_s = \frac{1}{mg} = \frac{U}{g} \text{ (unité: s·m)}$$

Pour des propérgols liquides, cette vitesse dépend essentiellement de la nature du couple oxydo-réducteur utilisé, de la technologie et des conditions de fonctionnement du moteur. En fait, il s'agit de transformer avec le meilleur rendement possible l'énergie thermique libérée par la réaction en énergie cinétique.

Parmi les différents couples, c'est l'hydrogène liquide qui, associé au fluor ou à l'oxygène, présente les vitesses d'éjection les plus élevées : en moyenne et par rapport au vide : 4500 m.s⁻¹ avec le fluor comme oxydant, 4300 m.s⁻¹ avec l'oxygène alors que ces vitesses sont de l'ordre de 3000 m.s⁻¹ pour les propérgols à base d'hydrazine et de peroxyde d'azote. Ces valeurs, élevées pour les couples faisant intervenir l'hydrogène, sont dues essentiellement aux chaleurs de réaction très importantes et à la faible masse moléculaire des produits de combustion.

Malgré une vitesse d'éjection moins élevée, le couple (UDMH ; peroxyde d'azote) présente de nombreux avantages :

- une densité beaucoup plus élevée que

□ Henri Delalu est attaché de recherche du CNRS au laboratoire de physico-chimie minérale

□ Alain Marchand est ingénieur du CNRS au laboratoire de physico-chimie minérale

□ Roger Cohen-Adad, professeur à l'université de Lyon 1, dirige le laboratoire de physico-chimie minérale de Villeurbanne (EA 116).



Lancement d'Ariane 404, 20 décembre 1981 à 1 h 29 GMT à partir du Centre spatial de Kourou (Guyane française) - Document ESA/CNES - Photo CNES/Service optique du CSG.

LA MISSION D'ARIANE

Le lanceur Ariane dont le développement a commencé en 1973 est le fruit de la coopération de dix pays européens parmi lesquels la France a assumé un rôle prépondérant sur le plan technique en étant le maître d'œuvre du programme, par l'intermédiaire du Centre national d'études spatiales, et sur le plan financier en contribuant aux deux tiers des dépenses. Il est destiné, en priorité, à doter l'Europe d'un moyen autonome de lancement de ses satellites d'application et, également, à répondre au besoin des pays tiers ou d'organismes internationaux.

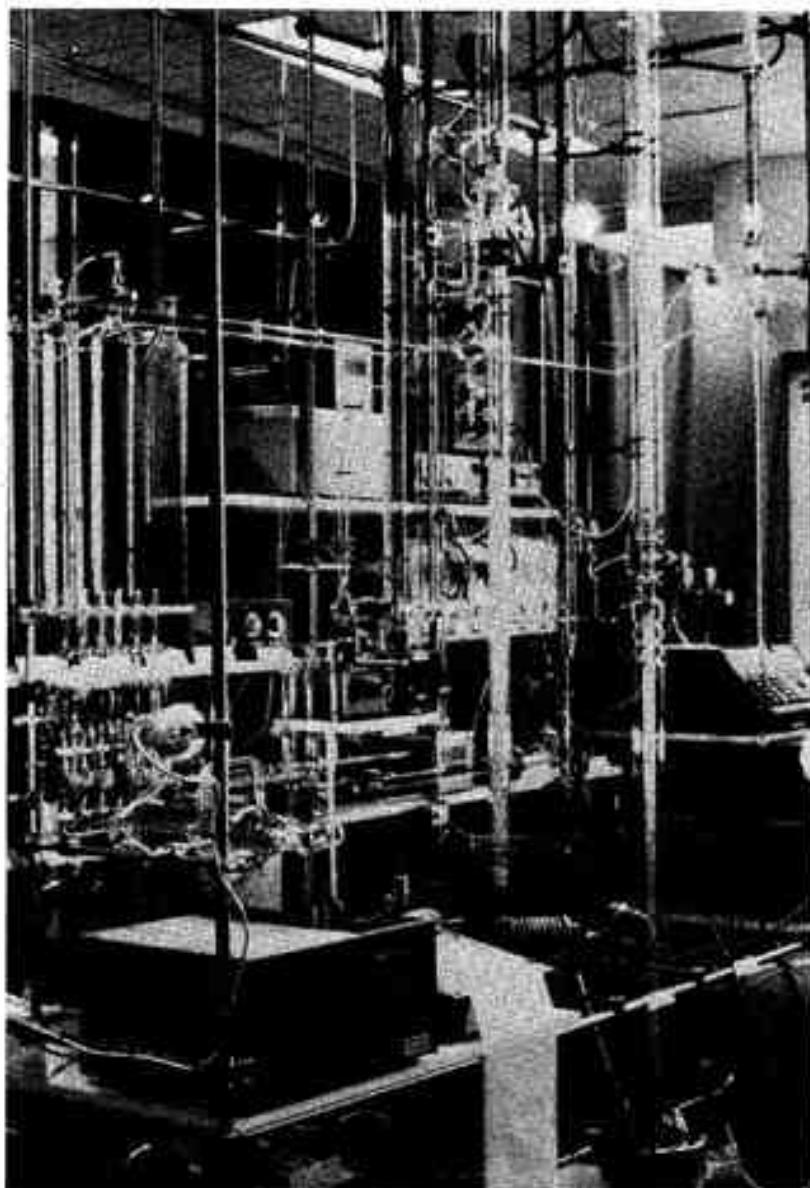
Haut de quarante-sept mètres et pesant deux cent dix tonnes au décollage, le lanceur Ariane est de conception classique, triétage. Les deux premiers étages font appel à un système propulsif à propellants stockables (UDMH et N₂O₄) basé sur le moteur Viking de six cents kilos newtons de poussée, dont quatre exemplaires équipent le premier étage et un seul le second étage. Le troisième étage utilise le couple de propellants à haute énergie : oxygène et hydrogène liquides et est propulsé par un moteur de soixante kilos newtons de poussée dans le vide. Au-dessus du troisième étage se trouve la case à équipements qui contient tous les équipements électroniques destinés à assurer les fonctions vitales de la mission : le guidage, le pilotage, le déroulement de la séquence de vol, la localisation... La case à équipements est surmontée par une coiffe de huit mètres de haut qui assure la protection du satellite contre l'échauffement aérodynamique et est larguée pendant le vol du second étage.

La mission principale d'Ariane consiste à injecter un satellite d'une masse pouvant aller jusqu'à 1850 kg sur orbite de transfert géostationnaire, c'est-à-dire de forte excentricité dont le périphège est situé à environ 200 km d'altitude et l'apogée à 36 000 km. Les satellites d'application sont munis d'un moteur d'apogée qui, actionné par télécommande à l'apogée de l'orbite de transfert transforme celle-ci en orbite circulaire à 36 000 km, position sur laquelle le satellite, tournant à la même vitesse que la terre est apparemment immobile ou « géostationnaire ».

Le programme de développement d'Ariane s'est terminé le 20 décembre 1981 par le quatrième lancement de qualification, dont trois ont été couronnés de succès. Le lanceur a pu être ainsi mis à la disposition des utilisateurs opérationnels. Une première série de sept lancements, réalisés dans un cadre institutionnel proche de celui du développement, sera effectuée en 1982 et 1983, après quoi la production, la commercialisation et le lancement des véhicules opérationnels seront effectués par l'intermédiaire de la Société Arianespace, constituée à ces fins par le CNES, les industriels participant au programme et des banques.

Parallèlement à cette phase de production opérationnelle, un programme de développement complémentaire est en cours. Dans une première étape, il aboutira au véhicule Ariane 3 qui, à partir du milieu de 1983, permettra de placer 2550 kg en orbite de transfert grâce à l'adjonction de deux propulseurs d'appoint et l'augmentation de la masse d'ergols du troisième étage. Cet accroissement de capacité permettra notamment d'effectuer le lancement simultané de deux satellites de 1180 kg correspondant aux satellites régionaux de télécommunication, à l'aide du système de lancement double Sylda.

Une seconde étape encore plus importante d'amélioration sera franchie à la fin de 1985 avec le lanceur Ariane 4 dont le développement a été décidé en janvier 1982. Le lanceur se caractérise par un allongement du premier étage permettant d'augmenter de 50 % sa masse d'ergols et par l'utilisation de deux ou quatre propulseurs d'appoint qui sont, soit les propulseurs à poudre développés pour Ariane 3, soit des propulseurs à liquides de 37,5 tonnes de propellants, propulsés par un moteur Viking. On obtient ainsi six configurations de lanceur dont les performances, sur l'orbite de transfert, varient de 2000 à 4300 kg offrant ainsi une grande flexibilité et assurant un coefficient de remplissage élevé. La version Ariane 4 dispose également d'une coiffe de plus grand diamètre pour répondre aux exigences des utilisateurs. Ariane 4 utilisera le second ensemble de lancement qui est en cours de réalisation sur la base de Kourou, au centre spatial guyanais.



Vue générale de l'installation (voir p. 12).

PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'UDMH (I)

formule brute	$C_2H_8N_2$
formule développée	$CH_3>N-N-H$
masse moléculaire	60,09
état physique	liquide incolore hygroscopique
densité	0,7861 à 25 °C
point de fusion	- 57,23 °C
point triple	- 57,21 °C
point d'ébullition	62,2 °C
pression critique	54 bars
température critique	250 °C
conductivité thermique	$0,48 \cdot 10^{-2}$ cal/cm.s °C
chaleur spécifique molaire	39,21 cal / °C.mole
chaleur de combustion	473 Kcal/mole
chaleur de formation	11,27 Kcal/mole
chaleur de vaporisation	8368 cal/mole
indice de réfraction	1,4056 à 25°C

(1) Handbook of the properties of Unsym-Dimethylhydrazine
RW Lawrence - Aerojet - General Corporation - USA 1958.

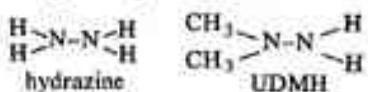
celle de l'hydrogène (0,8 au lieu de 0,07), ce qui diminue considérablement le volume des réservoirs et par conséquent les effets de freinage aérodynamique dans les basses couches de l'atmosphère ;

- l'UDMH est liquide à température ambiante ($T_{40} = 62,2^\circ\text{C}$). Il en est de même du peroxyde d'azote (N_2O_4), à condition de le stocker sous une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique ($T_{40} = 21^\circ\text{C}$ sous 1 atm) tandis que l'hydrogène et l'oxygène sont liquides sous la pression atmosphérique à très basse température (respectivement -253°C et -188°C);
- le mélange (UDMH ; N_2O_4) est hypergolique, c'est-à-dire qu'il s'enflamme spontanément dès que les constituants sont mis en contact.

L'ensemble de ces caractéristiques fait que les propergols à base d'hydrazine et de peroxyde d'azote sont souvent utilisés pour la propulsion des étages inférieurs des fusées et les missions dans l'espace de longue durée ; le couple hydrogène-oxygène est plus spécialement réservé aux étages supérieurs.

Synthèse de l'UDMH

UDMH ($\text{CH}_3)_2\text{NNH}_2$ est un dérivé disubstitué asymétrique de l'hydrazine. Cette molécule se caractérise par un pont azote-azote et un degré d'oxydation égal à -2.



Or, dans la nature ou dans les produits usuels, l'azote se trouve à des degrés d'oxydation différents compris entre +5 dans les nitrates et -3 dans l'ammoniac et les amines. Dans ces conditions, les voies possibles pour la synthèse sont la réduction d'un composé plus oxydé ou, inversement, l'oxydation de l'ammoniac et des amines. Mais, dans tous les cas, il faut engendrer une liaison azote-azote.

Parmi les méthodes de synthèse, la plus couramment utilisée, jusqu'à ces dernières années aux Etats-Unis était la réduction catalytique de la dyméthylnitrosamine par l'hydrogène. Mais, en raison des propriétés hautement cancérogènes des dérivés N-nitrosés, un autre procédé a été recherché et le choix s'est fixé sur une méthode dérivée du procédé Raschig de synthèse de l'hydrazine. Elle présente l'avantage d'être transposable à d'autres hydrazines substituées.

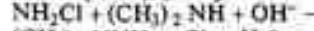
et ne semble pas présenter de risques pour l'environnement.

La préparation est effectuée en deux étapes :

- élaboration de la monochloramine (NH_2Cl) par action de l'hypochlorite de sodium (OCl^-) sur une solution d'ammonium et de chlorure d'ammonium :



- formation de l'UDMH par action de la monochloramine sur la diméthylamine : $[\text{CH}_3)_2\text{NH}]$



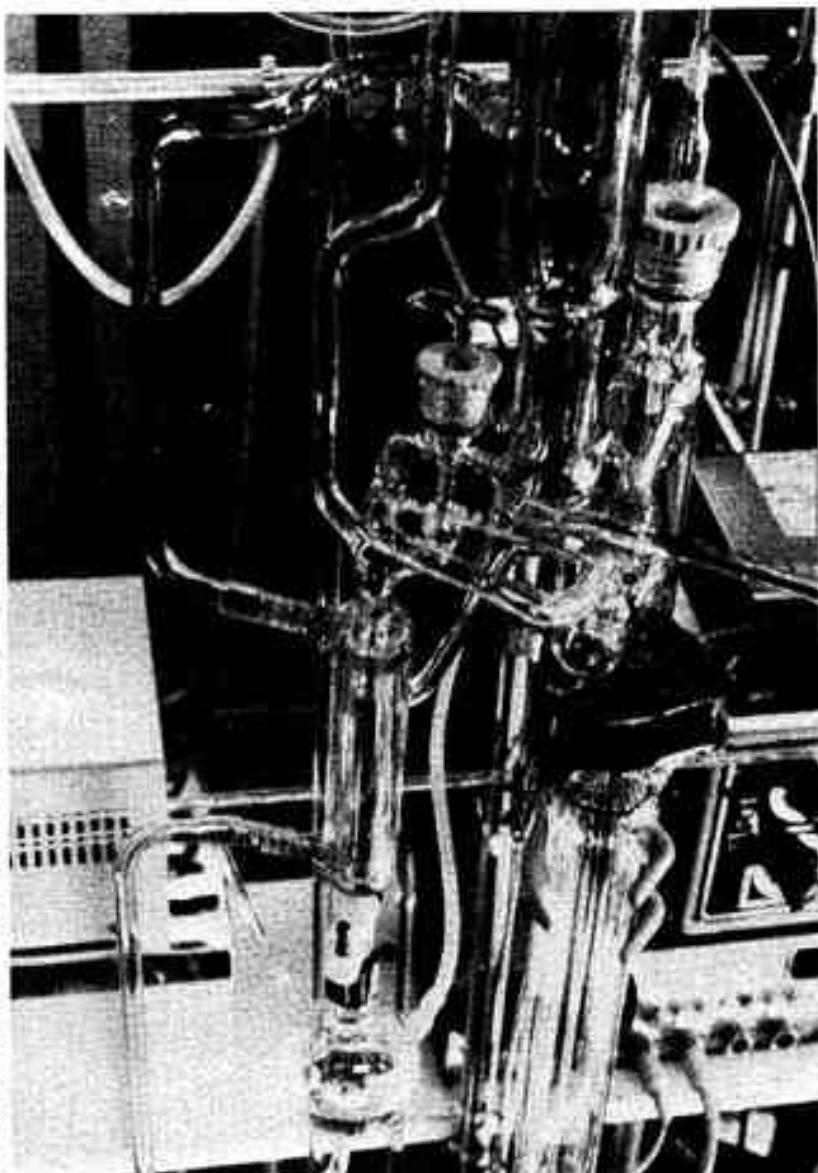
La préparation de NH_2Cl est effectuée dans un réacteur agité continu. Le milieu dont le pH est fixé à 9,7 par addition de chlorure d'ammonium est maintenu à -8°C en raison de l'instabilité de la monochloramine. Le rendement de la réaction par rapport à OCl^- est alors voisin de 100 %. Au mélange réactionnel précédent, on additionne une solution concentrée de soude de manière à neutraliser le chlorure d'ammonium et à augmenter le pH. La diméthylamine est ajoutée en excès de manière à privilégier les réactions de synthèse au détriment des réactions secondaires. Le mélange est immédiatement injecté dans un réacteur, type « piston », de façon à éviter au maximum le contact entre l'UDMH naissante et la monochloramine et à limiter la dégradation spontanée de la monochloramine (voir schéma). La réaction (catalysée par les ions hydroxyles) s'effectue vers 80°C et sous pression (8 bars). Le rendement évalué par rapport à la monochloramine est voisin de 90 %. Au sortir des réacteurs de synthèse, on obtient une solution qui contient essentiellement l'UDMH (3 à 4 %), les réactifs volatils en excès, de l'eau et des constituants solides dissous.

Le mélange est traité en deux temps :
• une distillation sous pression (stripping) qui permet de chasser les volatils ;

- une rectification sous la pression atmosphérique de la solution résiduelle épuisée en ammoniac et diméthylamine qui fournit, en tête de colonne, de l'UDMH d'une teneur supérieure à 99 % et en pied de colonne des résidus épuisés en UDMH qui sont traités avant rejet.

Les constituants volatils (NH_3 et $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$) condensés en tête de colonne de stripping sont séparés sous pression (25 bars) en vue de leur recyclage.

Les difficultés de la préparation se situent à deux niveaux :



• au niveau de la synthèse, car les conditions réactionnelles sont difficiles à maîtriser et le rendement chute très rapidement dès que l'on s'écarte des conditions optimales. En effet, les hydrazines apparaissent toujours comme des termes intermédiaires dans

des chaînes réactionnelles complexes et il y a toujours compétition entre réactions de formation et de dégradation. La figure 1 donne une idée simplifiée des différentes réactions que l'on peut observer, dans le milieu réactionnel en fonction du pH. Théoriquement, on

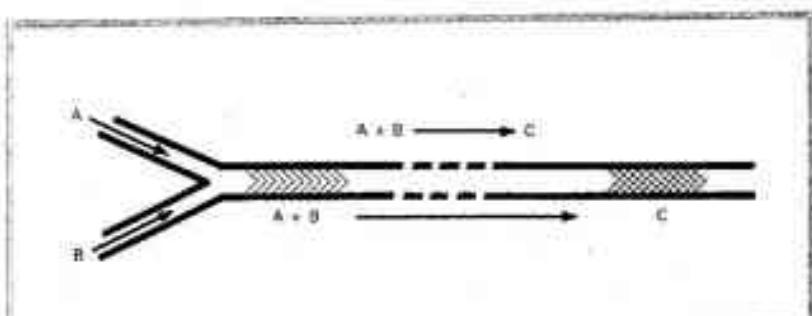
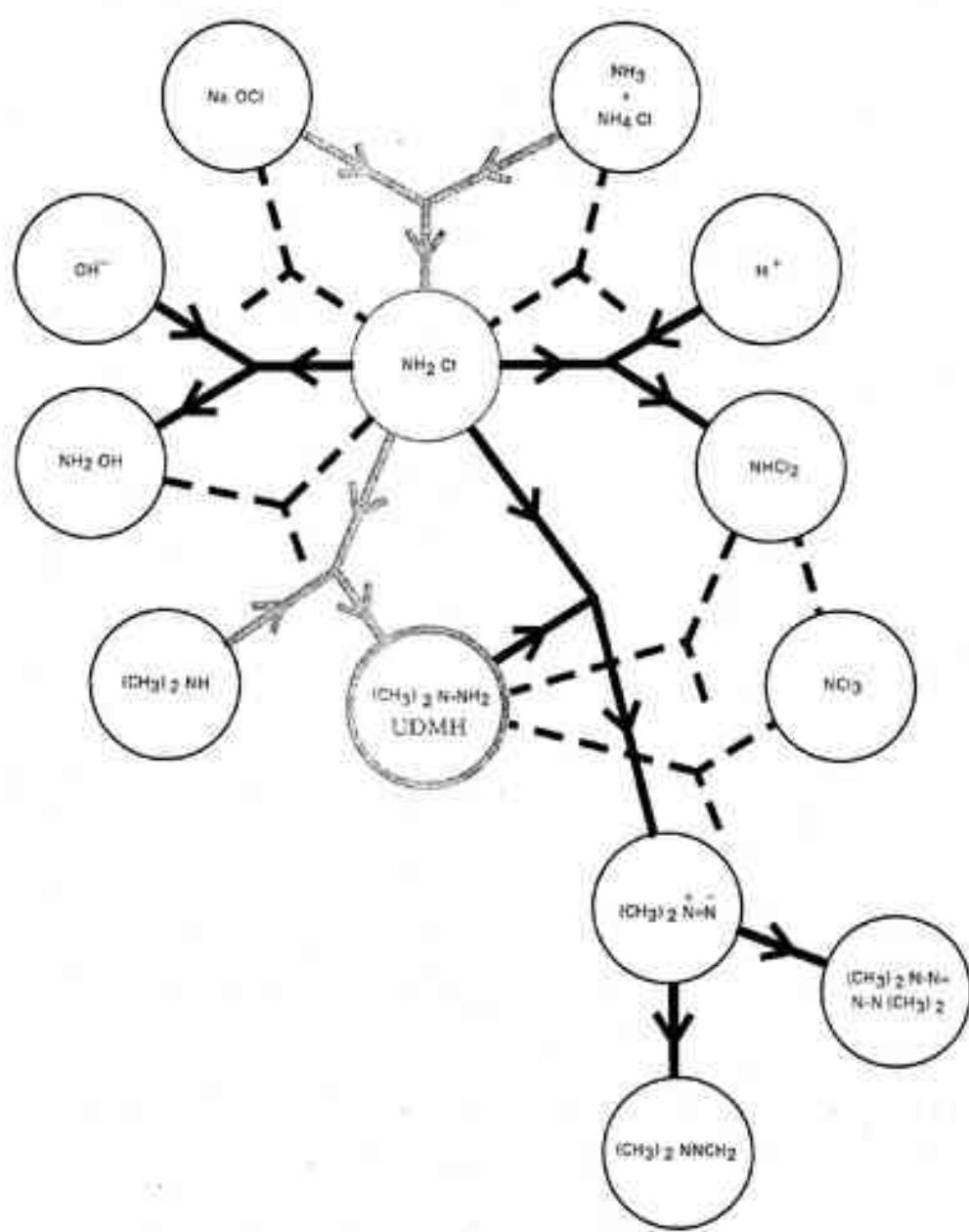


Schéma de principe d'un réacteur « type piston ». Les réactifs (A) et (B) sont injectés par l'un des orifices du tube. Le front de réaction évolue tout le long du tube. A l'autre extrémité, la réaction est terminée (C). La longueur du réacteur tubulaire est fonction des vitesses de réaction.



**SYNTHESE
DE LA
DIMETHYLHYDRAZINE ASYMETRIQUE**

Fig. 1 - En couleur : schéma de base de la synthèse de l'UDMH $(CH_3)_2N-NH_2$. En noir et pointillés : réactions secondaires.

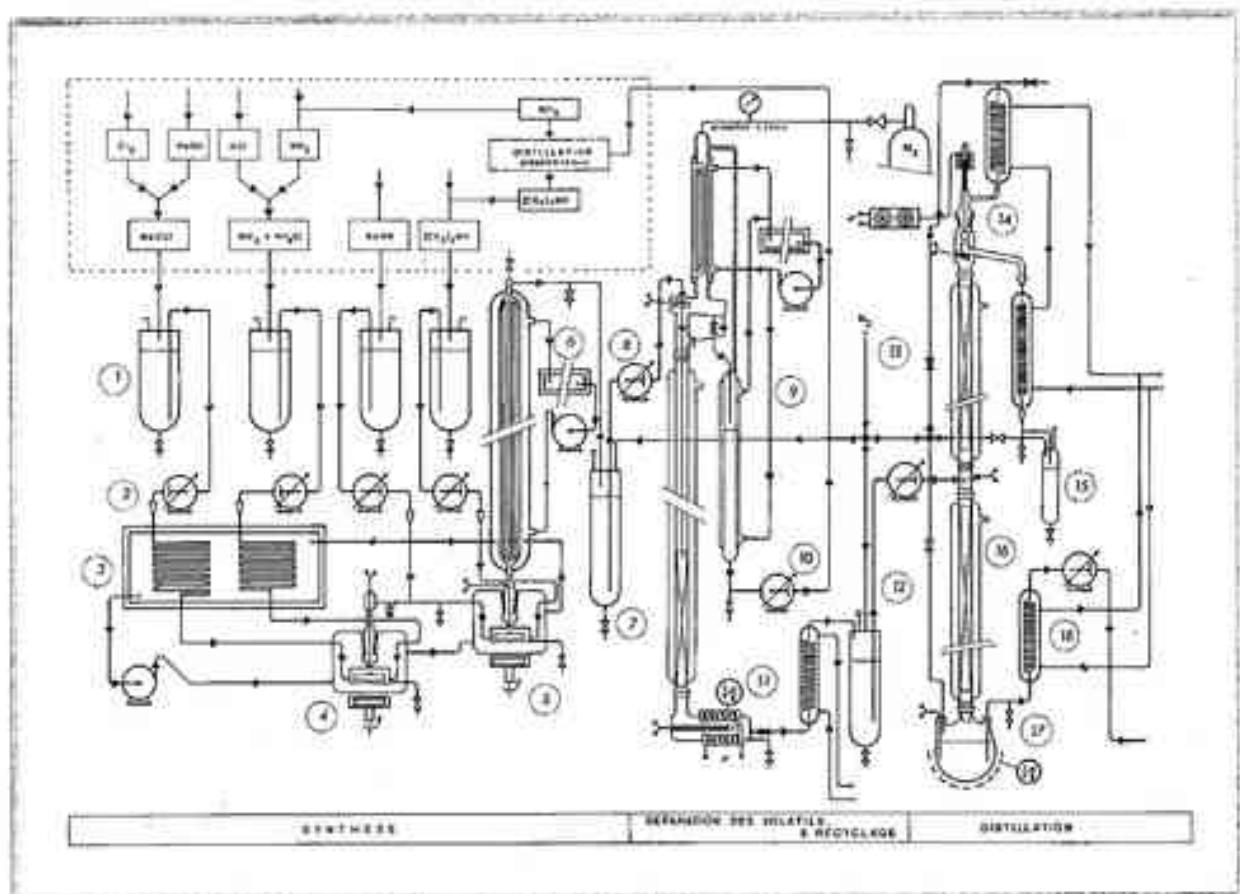
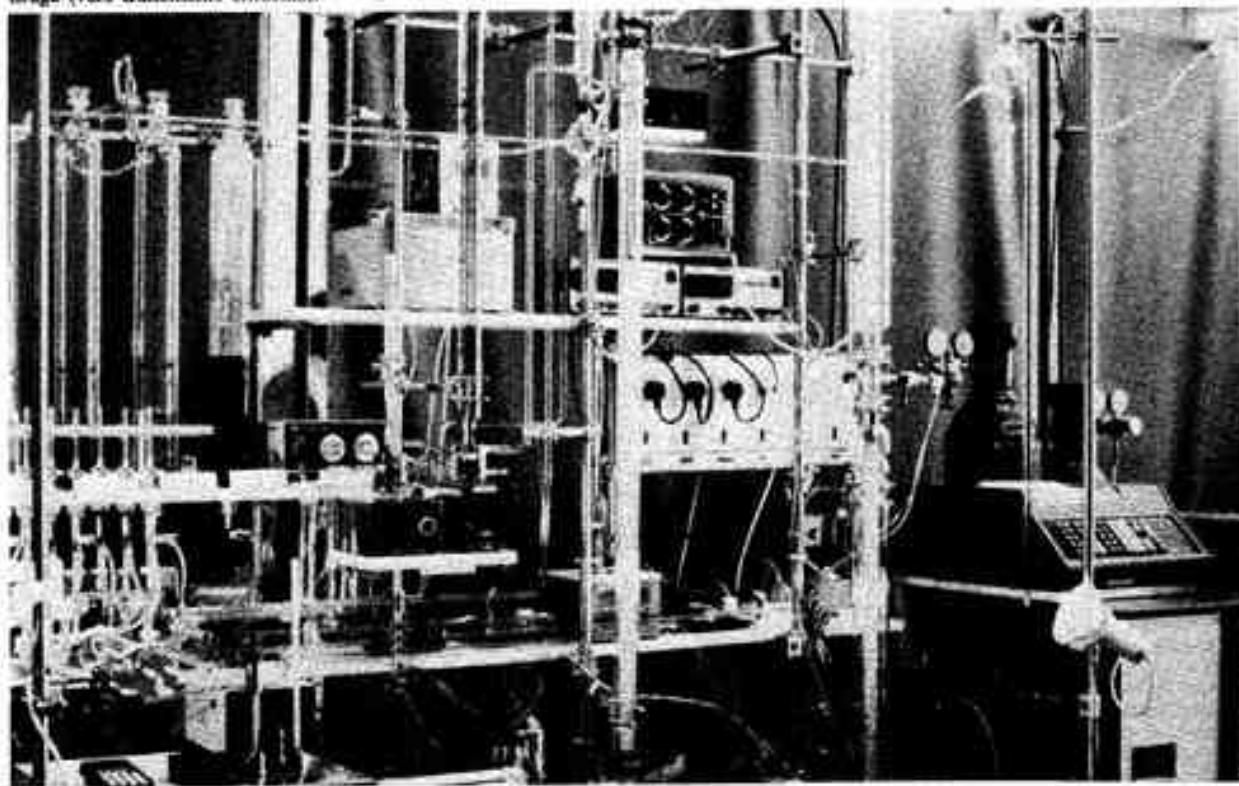


Fig. 2 – Installation en laboratoire de fabrication en continu d'UDMH. (1) Réservoirs réactifs – (2) Pompe doseuse d'alimentation – (3) Echangeur thermique basse température – (4) Réacteur agité continu thermostatisé (synthèse NH_2Cl) – (5) Mélangeur basse température – (6) Réacteur « piston » thermostatisé (synthèse UDMH) – (7) Réservoirs tampon (solutions de synthèse) – (8) Pompe doseuse injection « stripping » – (9) Colonne de stripping (pression 3,5 bars) – (10) Soutirage des volatils ($\text{NH}_3 + (\text{CH}_3)_2\text{NH}$) vers recyclage – (11) Echangeur thermique, réservoir tampon (solutions épuisées en volatils) – (12) Pompe doseuse, alimentation distillation – (13) Colonne rectification – (14) Tête de reflux à gaz électromagnétique – (15) Recette UDMH – (16) Colonne épuisement – (17) Bouilleur – (18) Soutirage (vers traitements effluents).



devrait obtenir de l'hydrazine N_2H_4 par action directe de NH_2Cl sur NH_3 . En fait, les vitesses de formation de l'UDMH et de N_2H_4 sont très différentes (rapport voisin de 300 à 100°C) et dans ces conditions l'hydrazine n'est pas décelable dans les produits réactionnels. En changeant le nombre ou la nature des groupements substitués de l'amine, on peut transposer la synthèse à la préparation d'autres hydrazines substituées asymétriques. Seules les vitesses de réaction varient, celles-ci étant essentiellement liées à la nucléophilie de l'amine et à sa configuration spatiale.

L'étape utile de formation de l'UDMH correspond à une réaction bimoléculaire dont la vitesse est indépendante de la concentration en soude jusqu'à $pH = 12,5$. Au-delà, la réaction est catalysée par les ions OH^- et la constante de vitesse est une fonction linéaire de l'activité des ions hydroxyles. L'effet catalytique peut s'expliquer en admettant qu'en milieu basique concentré les ions OH^- sont susceptibles d'arracher un proton à NH_2Cl pour conduire suivant un équilibre de dissociation à la formation d'ions chloramides $NHCl^-$.

$NH_2Cl + OH^- \rightleftharpoons NHCl^- + H_2O$
Un modèle réactionnel élaboré en supposant que la diméthylamine réagit simultanément sur la monochloramine et l'ion chloramide permet de traduire quantitativement tous les phénomènes observés de $pH 12$ à 15.

La monochloramine située au centre du schéma (figure 1) et qui est le produit clef de la synthèse n'est stable qu'à basse température et dans un domaine très étroit de pH . Par exemple en milieu faiblement basique, elle se décompose spontanément suivant des réactions auto-catalytiques de désmutation pour conduire successivement à la formation de dichloramine $NHCl_2$, puis de trichloramine NCl_3 . En milieu basique, il y a substitution de OH^- à Cl^- avec formation d'hydroxylamine NH_2OH . Celle-ci, instable dans les conditions de synthèse, réagit, à son tour, sur la monochloramine pour donner de l'oxyde azoteux N_2O , de l'ammoniac NH_3 et de l'azote moléculaire.

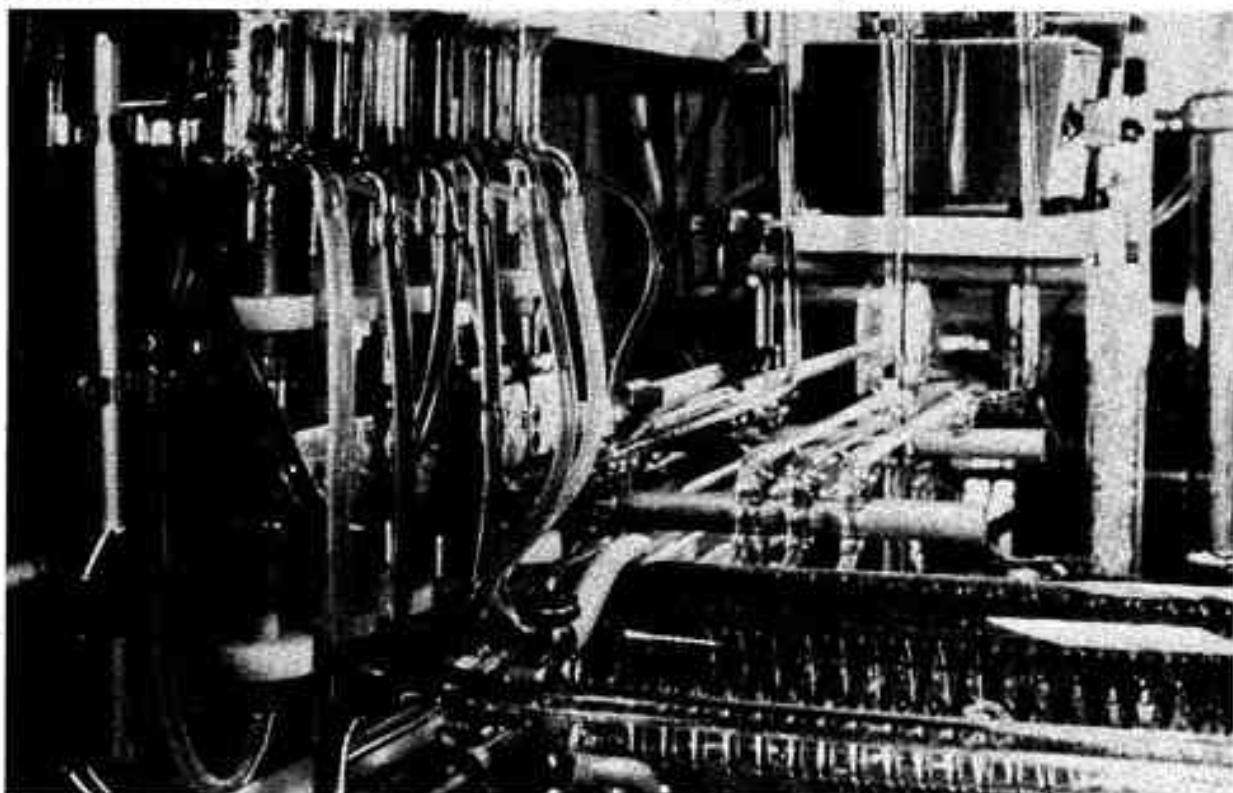
D'autre part, au fur et à mesure que l'UDMH se forme, elle est partiellement oxydée par la monochloramine pour conduire à un intermédiaire réactionnel de diméthylidiazéne $(CH_3)_2N=N$. Celui-ci, suivant le pH , se dimérisé pour conduire à la formation de tétraméthyltétrazéne -2 $(CH_3)_2N-N-N-(CH_3)_2$ ou subit une transposition ($pH > 12$) et, après une suite de réactions complexes, aboutit à la formation de formaldéhyde diméthylhydrazone $(CH_3)_2N-N=CH_2$, de méthane CH_4 et d'azote moléculaire.

La mise au point du procédé a donc nécessité une étude cinétique approfon-

die des différentes réactions et l'établissement d'un modèle cinétique global dont la résolution numérique a conduit aux conditions optimales de formation.

- Au niveau de la séparation, car les solutions de synthèse sont diluées, ce qui entraîne des opérations d'extraction délicates la détermination des conditions optimales de séparation de l'UDMH des solutions de synthèse a nécessité une étude des différents équilibres liquide-vapeur qui interviennent au cours des opérations d'extraction de l'UDMH et de recyclage des réactifs en excès. Les conditions opératoires de synthèse et de séparation ont été vérifiées sur une installation pilote de laboratoire de fabrication en continu (fig. 2).

L'application industrielle a été étudiée en coopération avec la Société nationale des poudres et explosifs (SNPE) et la Société européenne de propulsion (SEP). Elle a abouti à la construction à Vernon (Eure) à la SEP d'une unité pilote industrielle d'une capacité de production de 2,7 kg/h (teneur UDMH 99,3 %) dont la recette a été effectuée par le Centre national d'étude spatiales (CNES), fin janvier 1980. La construction d'une usine d'UDMH sur le site de la Société nationale des poudres et explosifs à Toulouse vient d'être décidée par le CNES. Cette unité doit entrer en phase active de production en juin 1983.



Le travail, l'emploi et les qualifications

Les recherches sur le travail, l'emploi et les qualifications ont connu un essor notable en France depuis la fin des années soixante. Deux orientations novatrices qualifient, entre autre, ce développement : l'importance croissante de la collaboration active entre économistes et sociologues ; l'intérêt porté aux comparaisons internationales. Le CNRS a largement contribué à ces progrès qui appellent et justifient des programmes ambitieux pour les années à venir.

Jean-Jacques SILVESTRE

Les recherches sur le travail, l'emploi et les qualifications ont connu au cours des dix dernières années des évolutions importantes. Ne pouvant entrer dans le détail des changements sur tel ou tel point particulier (salaire, chômage, qualifications...), seules les tendances plus générales dans lesquels ces changements s'inscrivent seront décrites : la mise en évidence des systèmes d'interdépendance ; la recherche d'approches pluridisciplinaires principalement économiques et sociologiques. La reconnaissance de ces tendances et la recherche de solutions aux problèmes nouveaux qui se trouvent posés ont conduit certaines équipes et notamment des formations propres ou associées au CNRS à développer un nouveau champ de recherche : les comparaisons internationales.

Elargissement des champs de recherche et enrichissement des perspectives théoriques

Deux tendances générales affectent depuis plusieurs années la démarche des chercheurs dans le domaine du travail, de l'emploi et des qualifications.

Les chercheurs mettent de plus en plus souvent l'accent sur les systèmes d'interdépendance dans lesquels s'inscrivent les problèmes précis qu'ils étudient. Par exemple le chômage n'est plus uniquement étudié isolément du système des emplois mais comme un révélateur de l'ensemble du fonctionnement du marché du travail.

□ Jean-Jacques Silvestre, maître de recherche au CNRS, travaille au laboratoire d'économie et de sociologie du travail à Aix-en-Provence.

Les analyses du chômage prennent alors en compte aussi bien les stratégies des firmes et la nature du tissu industriel que les processus de précarisation dans le système des emplois lui-même de certaines catégories de main d'œuvre (femmes, jeunes...). La même tendance se manifeste dans un domaine qui a occupé une place importante au cours de ces dernières années : l'étude des conditions de travail et l'analyse des politiques de restructuration des tâches dans les entreprises. Les recherches dans ce domaine ont certes apporté des informations nouvelles sur des points précis qui avaient été jusqu'ici trop peu étudiés. Elles ont ainsi attiré l'attention sur la diversité de situations de travail au sein de catégories (notamment la catégorie des ouvriers spécialisés) que d'autres critères de classification – salaire, qualification – présentaient comme homogènes. Elles ont également montré les liens que les conditions de travail et la nature des tâches effectuées ont avec les pratiques organisationnelles des entreprises, les relations entre partenaires sociaux, les politiques de promotion et de développement de la qualification, etc... La prise en compte de ces interdépendances a également montré sa fécondité dans le domaine des salaires. Des observations effectuées dans les entreprises ont ainsi révélé que les différences de salaires étaient étroitement liées aux pratiques en matière de recrutement et d'avancement dans les emplois les plus qualifiés ainsi qu'aux relations de commandement à tous les niveaux de la hiérarchie. Un tel élargissement de l'approche d'un problème qui est fréquemment au centre du débat social permet à la fois de mieux percevoir la complexité des enjeux et de réduire la portée des prises de position trop démagogiques.

Les recherches des économistes et des sociologues sur les problèmes évoqués amorcent une convergence. La première raison est que les économistes du travail ont connu sur des sujets précis et sensibles des échecs importants : par exemple, l'échec des théories de l'investissement éducatif et de leur application aux problèmes posés par les travailleurs marginaux (notamment les noirs aux Etats-Unis) ont conduit à l'émergence des théories du dualisme du marché du travail (séparation du marché du travail entre un secteur d'emploi précaire et un secteur protégé). Dans un tout autre domaine, les économistes ont rencontré des difficultés croissantes pour comprendre les causes du maintien de fortes pressions à la hausse des salaires au cours des périodes de chômage élevé. Les économistes du travail sont donc de plus en plus incités à enrichir leurs modèles et même à inflechir leurs questions en prenant largement en compte les catégories de l'analyse sociologique. On observe en même temps un développement de la recherche sociologique dans des domaines situés de fait au cœur de la vie économique des sociétés industrielles les plus développées. L'importance prise par l'analyse organisationnelle est sans doute un bon exemple d'une telle évolution. Il faut également évoquer l'étude des phénomènes de marginalité ou l'intérêt porté, de tout temps, par les sociologues aux rapports entre technologie et travail dont les transformations sont au centre de l'analyse de la crise actuelle aussi bien en terme de productivité que d'emploi.

Notons enfin que de nombreuses recherches récentes sur les problèmes de qualification ou de mobilité de la main d'œuvre associent des variables traditionnellement considérées comme éco-



Les robots n'ont pas encore totalement remplacé les ouvriers sur les chaînes automobiles japonaises.

nomiques (nature des produits et des marchés) des données technologiques (production en continu, à la chaîne ou à l'unité) et des méthodes plus directement issues des recherches sur l'organisation des entreprises. Il en va de même, pour les recherches sur les réseaux d'accès aux emplois (ou à l'inverse sur les facteurs qui favorisent un chômage de longue durée) qui prennent certes toujours en compte les caractéristiques des individus généralement reconnus comme économiquement valorisés (éducation, expérience, etc...) mais leur associent des données tout aussi importantes sur le tissu social dans lequel ces individus sont insérés (voir encadré : Les réseaux d'accès à l'emploi). Les entreprises ou les institutions qui offrent des emplois sont alors étudiées à travers leurs besoins en qualifications et leur place dans un ensemble de rela-

tions stables qui définissent leur environnement.

Cette articulation croissante entre la démarche de l'économiste et celle du sociologue favorise le développement d'un champ de recherche jusqu'ici insuffisamment développé en France : les recherches dans le domaine des relations professionnelles. On constate en effet de plus en plus que de nombreux problèmes tenant aux conditions ou à la durée du travail, aux salaires ou même au niveau de l'emploi ne trouvent une solution qu'à travers la médiation active du contrat, de la négociation et, dans certains cas, du conflit. Les recherches qui se fixent pour objectif la compréhension des réalités et même la prévision d'évolutions à moyen terme ou à long terme, prennent alors nécessairement en compte les mécanismes contractuels eux-mêmes et les

environnements qui les orientent. On peut citer à ce sujet les recherches menées sur les transformations des systèmes de classification dans les entreprises, les travaux concernant les conflits d'emploi et naturellement l'étude des compromis prévisibles ou déjà atteints en matière de réduction ou d'aménagement du temps de travail.

Ces évolutions conduisent les chercheurs à poser de plus en plus fréquemment un problème central pour l'avenir du domaine de recherche évoqué ici : l'articulation entre les résultats dégagés à partir d'observations micro-économiques ou micro-sociologiques et les synthèses qui privilient les grands agrégats ou les transformations de la structure sociale (voir encadré : Relations micro-économie - macro-économie). Un décalage important apparaît en effet entre le nombre et la

qualité des recherches menées au cours des dernières années au niveau d'entreprises, d'unités localisées, de populations particulières, etc... et la difficulté d'en intégrer les résultats les plus significatifs dans des schémas d'analyse plus globaux ou a fortiori dans des modèles d'aide à la décision utiles aux planificateurs ou aux politiques. Un tel état de fait ne peut en aucun cas permettre de conclure à l'inutilité de recherches précises, longues et minutieuses menées sur le terrain. Il appelle au contraire à un effort accru en vue du dépassement de cette contradiction notamment par des travaux théoriques ou la construction de modèles plus réalistes.

Le développement des comparaisons internationales

Un tel développement n'est pas surprenant dans la mesure où le débat social ainsi que l'information dans le sens le plus large du terme mettent fréquemment en avant des différences que l'on sait importantes entre pays dans le domaine de l'emploi, des salaires, des relations entre partenaires sociaux ou de la productivité du travail (voir encadré : Quelques exemples de différences entre pays). Il est donc logique que des chercheurs tentent de comprendre quelle est l'ampleur et quelles sont les causes de telles différences. Des travaux se sont ainsi développés au cours des années récentes sur les comparaisons entre la France et l'Allemagne dans le domaine des salaires et de la formation de la main d'œuvre ; entre la France et le Royaume-Uni dans le domaine de l'organisation des entreprises ou des relations professionnelles ; entre la France et les Etats-Unis sur les problèmes d'emploi et de comportement des salariés face à la crise économique, etc...

De tels travaux permettent de repérer les facteurs qui favorisent dans tel pays plutôt que dans tel autre pays certains comportements économiques ou sociaux : ampleur considérable du chômage des jeunes ou au contraire vulnérabilité de la main d'œuvre âgée ; inégalité des salaires, forte ou faible, entre catégories de main d'œuvre (hommes-femmes ; manuels - non manuels) ; nature et fréquence des conflits du travail, etc... L'intérêt des comparaisons internationales ne se limite pas toutefois à cette fonction de diagnostics, aussi importante soit-elle notamment pour l'aide à la décision. En effet les comparaisons entre pays permettent semble-t-il de mieux maîtriser, métho-

diquement et théoriquement, les problèmes nouveaux déjà évoqués plus haut.

Elles permettent par exemple de mieux saisir, à partir d'une approche quasi expérimentale, les lois ou tout au moins les principes les plus élémentaires qui régissent les interdépendances entre diverses dimensions : comment certaines structures du système d'éducation sont plus généralement associées à certaines pratiques en matière de qualification dans les entreprises ; comment certaines lois qui régissent les différences de salaires, importance de l'ancienneté et de l'âge ou accent mis sur le diplôme ou la fonction, vont de pair avec certains types de stratégies syndicales ou de comportements des employeurs. Les comparaisons internationales permettent également, dans la mesure où elles révèlent des différences importantes, de mieux comprendre comment s'articulent dans le domaine du travail, de sa rémunération et de son usage, les logiques économiques et sociologiques. La variabilité des situations observées en matière de formation, de mobilité, d'organisation hiérarchique des entreprises, d'écart de salaires ou d'inégalité face au chômage permet de montrer qu'un niveau comparable d'efficacité économique peut aller de pair avec des pratiques institutionnelles et sociales très différentes. On constate toutefois que cette relative autonomie de l'organisation sociale par rapport à l'économie n'exclut pas l'existence de certaines lois qui naissent de la nécessaire cohérence que ces pratiques (en matière de formation, d'action syndicale, d'organisation du travail ou de système de rémunération) doivent avoir entre elles. Il semble également, bien que cet aspect soit encore très mal connu, que certaines configurations institutionnelles ou certains types de relations entre l'économie et le social favorisent la réalisation des gains de

productivité ou vont de pair avec un meilleur usage des innovations technologiques. Les comparaisons internationales dans le domaine du travail rejoignent alors un champ de recherche plus large sur l'analyse de la crise et de ses « sorties possibles » dans les pays capitalistes industrialisés.

Les comparaisons internationales peuvent enfin favoriser certains progrès vers une meilleure articulation entre les recherches micro-économiques et les travaux des macro-économistes. Ces recherches permettent par exemple de souligner l'influence des politiques d'entreprises, publiques ou privées, en matière d'emploi ou de salaire, sur la façon dont les économies nationales réagissent à certains changements auxquels sont confrontés tous les pays industrialisés. Seules les comparaisons internationales approfondies et réalisées au niveau des entreprises permettent ainsi de comprendre comment, indépendamment des choix effectués par les pouvoirs publics dont l'importance n'est pas négligeable, des économies comme celles du Japon, de l'Allemagne ou de la France ont réagi (dans le domaine de l'emploi, de la mobilité des travailleurs ou du pouvoir d'achat) aux premiers chocs de la crise de 1973. De telles comparaisons sont également indispensables si l'on veut comprendre comment évoluent actuellement, dans ces différents pays, les formes de régulation globales du marché du travail.

Il serait sans doute illusoire de penser que les comparaisons internationales constituent la clé magique qui permettra d'accéder à une connaissance parfaite et au développement d'une action enfin efficace dans des domaines aussi complexes et aussi sensibles. Les comparaisons ne sont ici qu'un outil qui doit être apprécié par rapport à son efficacité dans un champ de recherche précis qui est ici celui du travail.



Vue générale de la salle des ordinateurs du Centre interdisciplinaire régional de calcul électronique d'Orsay.

Les réalités que l'on peut observer dans le domaine du travail, de son usage et à sa rémunération, demeurent malgré les tendances homogénéisantes de l'échange économique très diverses. Certes, de nombreuses formes sont communes à tous les pays : écarts de salaire entre hommes et femmes et entre travailleurs manuels et non manuels ; hiérarchie entre les niveaux d'éducation ; inégalité face au chômage. Toutefois, les différences que l'on peut observer entre pays sont beaucoup plus considérables que tous les changements que l'on a pu connaître dans un pays quel qu'il soit au cours des périodes où l'expansion économique était rapide (voir encadré : La disparité de salaires). L'existence de telles différences ne signifie pas que les observations effectuées par les chercheurs soient directement utilisables pour transférer entre pays les institutions qui apparaissent comme efficaces et les pratiques qui donnent les meilleurs résultats. On peut même constater l'existence d'une attitude de résignation de la part des responsables de toutes origines devant l'explicitation des interdépendances complexes qui rendent compte d'une situation donnée et qui conditionnent son évolution dans le temps. En même temps, la comparaison internationale tend à devenir, notamment vis-à-vis de pays comme les Etats-Unis, l'Allemagne et plus récemment le Japon, une pratique de plus en plus répandue. Le développement d'une telle demande sociale émanant de l'ensemble des partenaires sociaux pour la comparaison entre pays justifie à lui seul une réflexion plus systématique sur ses méthodes, des implications théoriques et ses conséquences pratiques.

La recherche sur les problèmes du travail n'échappe pas à la situation d'incertitude et dans certains cas de crise, dans laquelle se trouve actuellement l'ensemble des pays industrialisés. Une telle situation se manifeste notamment par l'absence d'un modèle de référence, théorique ou empirique, susceptible de polariser la réflexion et de susciter des actions à partir d'objectifs clairement définis. Ces incertitudes sont encore accrues par l'importance des forces, technologiques, sociales, économiques, qui suscitent et appellent des changements profonds. La recherche ne peut répondre positivement à ces défis que par la conjonction d'un enrichissement de ses outils théoriques et d'un élargissement de son champ d'observation. Elle doit en avoir l'ambition et les moyens.

LES RESEAUX D'ACCÈS A L'EMPLOI

Cette notion très générale de réseaux d'accès à l'emploi met l'accent sur l'importance des proximités professionnelles ou sociales, voire politiques ou religieuses, pour comprendre les configurations multiples qui marquent l'insertion professionnelle de diverses catégories de main d'œuvre dans les entreprises : jeunes débutants, femmes reprenant une activité, chômeurs. Elle met également l'accent sur l'importance des formes, nouvelles ou coutumières, prises par la vie sociale dans les quartiers, les villes ou les professions pour une analyse des stratégies de réussite ou d'échec des personnes à la recherche d'un emploi ou des entreprises qui manifestent des exigences spécifiques en matière de qualification, mais aussi de comportements individuels et collectifs des travailleurs qu'elles recrutent. Les réseaux d'accès à l'emploi ont été enfin sensiblement transformés au cours des années récentes par le développement d'institutions qui leur impriment leur propre logique : travail intérimaire ; stages ou embauches financés par l'Etat ; réseaux de l'Agence nationale pour l'emploi, etc...

RELATIONS MICRO-ECONOMIE - MACRO-ECONOMIE

Cette nécessité d'une articulation entre les connaissances dégagées au niveau micro-économique et le « fonctionnement » des synthèses macro-économiques apparaît dans le domaine crucial des relations entre niveau de l'emploi et niveau de la production. On constate par exemple que l'élasticité de l'emploi national à la production nationale est un paramètre macro-économique dont les variations dans le temps et dans l'espace (selon les pays) renvoient à l'aggrégation complexe et encore mal connue de comportements qui ne sont intelligibles qu'au niveau des secteurs économiques, des entités géographiques voire d'entreprises particulières. Il en va de même pour toute prévision relative aux effets d'une réduction de la durée du travail sur le nombre d'emplois disponibles ou du nombre d'emplois disponibles sur le niveau observé du chômage.

QUELQUES EXEMPLES DE DIFFÉRENCES ENTRE PAYS

On peut illustrer l'importance des différences entre pays par deux exemples significatifs qui relèvent, l'un des modes de détermination des salaires, l'autre de la formation des structures de qualification. Considérons trois pays industriels développés que sont l'Allemagne, la France et le Japon. Il existe dans ces trois pays une tendance générale à payer, en moyenne, de plus hauts salaires aux salariés ayant accumulé une grande ancienneté dans leur entreprise qu'aux salariés récemment recrutés. Cette tendance se manifeste toutefois de façon très différente dans les trois pays. Ainsi le rapport du salaire moyen des travailleurs de l'ensemble de l'industrie ayant plus de 20 ans d'ancienneté dans leur entreprise à celui des travailleurs récemment recrutés est de 2,20 au Japon ; 1,55 en France et 1,20 en Allemagne. D'autres comparaisons dans le domaine des qualifications montrent que le nombre de travailleurs non-manuels pour cent travailleurs manuels dans les grands établissements industriels (plus de mille salariés) varie de 41 en Allemagne à 54 en France et à 67 au Japon. Les résultats d'enquêtes comparatives réalisées entre entreprises spécialement choisies pour leur comparabilité technologique ou économique confirment voire renforcent l'ampleur de ces différences.

LA DISPARITE DE SALAIRES

On peut prendre deux exemples significatifs : les différences de salaires entre travailleurs manuels et non manuels ; les différences de salaires entre hommes et femmes. Le premier écart est en moyenne de 65 % en France (dans l'industrie) en faveur des travailleurs non-manuels contre seulement 30 % en Allemagne. Mettre fin à une telle dévalorisation relative des salaires ouvriers français (pour un salaire moyen supposé comparable dans les deux pays) supposerait l'application systématique par le gouvernement et les partenaires sociaux d'une politique de rattrapage qui ne pouvait se concevoir qu'à très long terme lorsque le pouvoir d'achat moyen augmentait de 4 à 5 % par an et dont l'issu s'éloigne encore plus dans le temps en période de croissance ralentie. Le même problème se pose si l'on considère ce que représenterait pour un pays comme le Japon le fait de ramener le rapport des salaires moyens des femmes à celui des hommes de sa valeur actuelle (0,50) à celle que l'on observe dans un pays comme la France (0,70).

BIBLIOGRAPHIE

Colloque de Bourdon : *La division du travail*, Éditions Galilée, Paris, 1978.
L. Maler : *Le marché local du travail*, Éditions du CNRS, Paris, 1980.
M. Maurice, F. Sellié, J.J. Silvestre : *Politiques d'éducation et organisation industrielle en France et en Allemagne*, Presses universitaires de France, Paris, 1982 (à paraître).
F. Michon : *Chômeurs et chômage*, Presses universitaires de France, Paris, 1973.
F. Sellié : *Les relations industrielles*, Presses universitaires de France, Paris, 1976.
J.J. Silvestre : *Les inégalités de salaires*, Presses universitaires de France, Paris, 1978.

L'aquifère karstique : un domaine perméable original

Les roches calcaires karstifiées, très répandues à la surface du globe, renferment fréquemment des ressources en eaux souterraines d'un grand intérêt économique, mais dont les mécanismes d'écoulement sont complexes. Cette complexité est due à la structure interne particulière de ces aquifères. On peut actuellement en proposer une représentation géométrique simple, qui permet de mieux comprendre les principaux caractères de leur fonctionnement.

Claude DROGUE

Les eaux souterraines sont soumises à des conditions de gisement très diverses selon la nature des roches qui les renferment. Celles-ci peuvent cependant être regroupées en deux types : les roches poreuses qui sont souvent des roches meubles (sables, graviers) et les roches fissurées : roches cohérentes découpées par des réseaux de fentes. Parmi les roches fissurées, il en est de très communes qui peuvent constituer des aquifères à caractères spécifiques : il s'agit des roches calcaires, formées essentiellement de carbonate de calcium. Ces roches, en effet, sont relativement solubles dans l'eau sous certaines conditions et de ce fait, il peut se développer en surface une morphologie particulière et en profondeur des vides quelquefois de grandes dimensions. Il se forme alors un karst, désigné ainsi d'après la transcription allemande du terme slovène de *kras*, nom d'une région du Nord-Ouest de la Yougoslavie où ces phénomènes sont particulièrement spectaculaires.

Les historiques des recherches hydrogéologiques relatives aux terrains poreux d'une part et karstiques d'autre part, sont très différentes. Les terrains poreux ont fait l'objet très tôt de travaux scientifiques approfondis. Une des premières études est celle réalisée par H. Darcy en 1854 : cet ingénieur, chargé de l'alimentation en eau potable de la ville de Dijon, démontre alors que le volume débité (au travers d'un

massif de sable) est proportionnel à la charge et en raison inverse de l'épaisseur de la couche traversée. Cette observation, traduisant un écoulement laminaire, base de l'hydrodynamique souterraine des milieux poreux, a depuis été suivie d'un très grand nombre d'autres travaux. Les mécanismes d'écoulements souterrains sont aujourd'hui assez bien connus et les méthodes de prospection et d'exploitation de ces eaux, présentent souvent une très bonne efficacité.

Il n'en est pas de même pour les aquifères karstiques. Les recherches, basées sur les démarches quantitatives furent abordées plus tardivement, notamment par H. Schoeller, G. Castany, P.E. Lamoreaux, etc... et ce n'est que depuis une quinzaine d'années environ que des études systématiques ont pu être entreprises. Ces études sont en France particulièrement développées à l'université de Montpellier et au laboratoire souterrain du CNRS (Moulis, Ariège). Elles ont permis de reconnaître et de définir quantitativement certains aspects fondamentaux de l'hydrogéologie des milieux karstiques, à l'aide d'approches variées et complémentaires (géologie structurale, hydrodynamique, physico-chimie et biologie du milieu souterrain). Pour cela, outre les études réalisées sur-divers aquifères, en France et à l'étranger, il a été mis en place des dispositifs d'expérimentation sur le terrain, qui constituent pour la recherche, à l'heure actuelle, un ensemble de moyens sans équivalent. Il s'agit : en Languedoc, du bassin témoin de Saugras qui avait été retenu pour notre pays par la décennie hydrologique internationale et des périmètres expérimentaux de Terrieu, Corconne et Conqueyrac ; en Ariège, du bassin du Baget.

□ Claude Drogue, professeur d'hydrogéologie à l'université des sciences et techniques du Languedoc (Montpellier), est directeur du laboratoire souterrain du CNRS (Moulis). Il assume actuellement la responsabilité du projet pilote « Ressources en eau des zones karstiques dans la région méditerranéenne » du programme hydrologique international de l'UNESCO.

Les recherches intensives sur l'hydrogéologie du karst sont donc relativement récentes, pourtant les roches calcaires sont d'un grand intérêt (fig. 1). Elles représentent près de 8 % des terres émergées (Europe 14 %, bassin méditerranéen près de 25 %) et renferment certainement plus de 15 % des ressources en eaux souterraines du globe. Dans certaines régions méditerranéennes par exemple, les eaux d'origine karstique sont pratiquement les seules encore sous-exploitées (Grèce, Liban, Yougoslavie, etc...). C'est-à-dire l'intérêt de l'étude de ce type de ressources en eau. Les objectifs des travaux poursuivis sont de reconnaître les lois contrôlant les écoulements souterrains. Ceci ne peut se faire que dans la mesure où l'on a pu définir précisément au préalable la structure géométrique du réseau perméable : c'est-à-dire l'agencement et la répartition des vides représentant l'architecture interne du domaine conducteur.

C'est une architecture très particulière dont l'originalité s'explique par la nature de la roche et les caractères des divers processus qui interviennent dans sa genèse. Il paraît donc utile de présenter une description synthétique de cette genèse.

Genèse du magasin karstique

Les roches calcaires, constituées essentiellement de carbonate de calcium, sont relativement solubles dans l'eau si celle-ci est chargée en gaz carbonique. Or l'eau de pluie, traversant les premières couches d'un sol, peut s'enrichir en gaz carbonique du fait de l'activité végétale racinaire. Elle pourra donc être très agressive vis-à-vis de la roche. Deux cas peuvent alors se présenter ; soit la roche est

compacte, imperméable, l'eau ne pourra dans ce cas que provoquer une dissolution superficielle ; soit la roche est fissurée avec des fentes suffisamment ouvertes (4 à 5 microns d'après C. Louis), l'eau pénétrera alors au sein du milieu et développera ainsi en profondeur des vides par dissolution.

Les magasins karstiques sont donc à l'origine des magasins à perméabilité de fentes, par conséquent, leur structure géométrique sera très dépendante de la nature, de l'organisation et de la distribution du réseau fissuré original. Ces fentes sont en général d'origine tectonique. Elles accompagnent les déformations subies par les matériaux de l'écorce terrestre et les déplacements relatifs de deux compartiments d'une fracture sont liés à la position de cette fracture dans le champ des contraintes tectoniques. En particulier les plans les plus proches d'une position normale à la direction d'allongement pourront subir une ouverture maximale, alors que ceux qui seront perpendiculaires

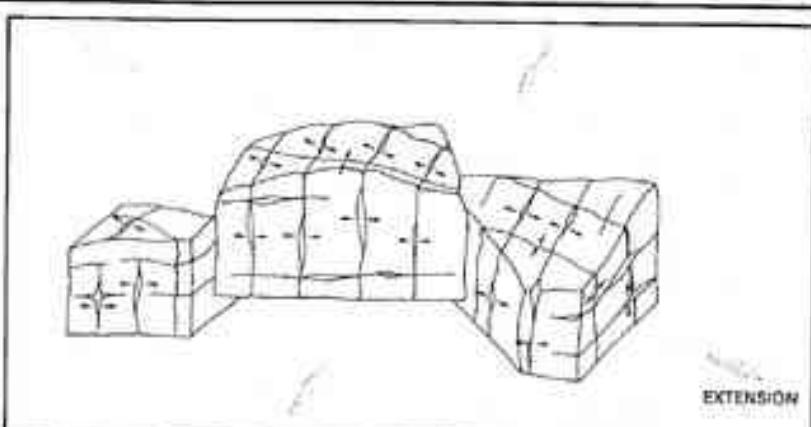


Fig. 2 - Les mouvements en fermeture ou ouverture sur des plans de fractures soumises à des contraintes tectoniques peuvent se produire sur tous types de roches rigides, comme ici sur des roches éruptives d'une région de Californie, d'après R.J. Mc Laughlin.

RESSOURCES EN EAU DES TERRAINS CALCAIRES

Dans notre pays, le renouvellement des eaux souterraines, c'est-à-dire le flux des nappes, est annuellement, d'après G. Castany, de 100 à 110 milliards de m^3 ; ceci pour tous les aquifères confondus. Nous pouvons estimer que les roches calcaires (fissurées et karstiques) participent à ce bilan pour 20 à 25 milliards de m^3 .

En ce qui concerne la consommation – toujours à l'échelle annuelle – elle est globalement de 5 milliards de m^3 dont 1,5 à 2 milliards pour les seuls aquifères calcaires.

L'importance relative des ressources en eau karstique est variable selon les régions. Par exemple, dans le Nord de la France, région Artois-Picardie, les ressources en eau disponibles sont essentiellement celles des calcaires carbonifères karstifiés et de la craie, d'ailleurs exploitées de façon très intensive. Sur la façade méditerranéenne (Roussillon, Languedoc, Provence et Côte d'Azur) une étude récente a montré que l'utilisation actuelle des eaux karstiques est de 700 millions de m^3 par an pour une ressource de 2,5 milliards de m^3 . Il est reconnu ici, que l'exploitation raisonnée de ces eaux est un des éléments majeurs des projets d'aménagement ou de développement, car elles représentent près de 60 % de toutes les eaux souterraines utilisables. L'importance économique des aquifères carbonatés est donc très grande, sinon essentielle dans certains cas.

Outre leur intérêt du point de vue qualitatif, les eaux karstiques présentent, comme les autres eaux souterraines, par rapport aux eaux de surface, l'avantage d'une meilleure qualité. Mais les aquifères karstiques sont très vulnérables aux contaminations. L'occupation accélérée des espaces, les activités industrielles, l'emploi des engrangements chimiques en agriculture, pour ne citer que quelques facteurs, contribuent à mettre en danger, de façon pressante, les eaux karstiques. La mise en exploitation optimale d'une ressource en eau inclut donc sa protection vis-à-vis des pollutions, conjointement à la gestion du capital qu'elle représente. Pour cela, il faut disposer de connaissances précises sur les conditions de gisement et les mécanismes régissant les écoulements souterrains. La recherche fondamentale permet de fournir les éléments indispensables au praticien pour qu'il puisse élaborer les méthodes et les moyens de travail qui lui sont nécessaires.



Fig. 1 - Répartition schématisée des régions carbonatées en France continentale. A noter que dans le bassin de Paris, il s'agit de faciès peu karstifiés pouvant présenter une porosité matricielle importante.

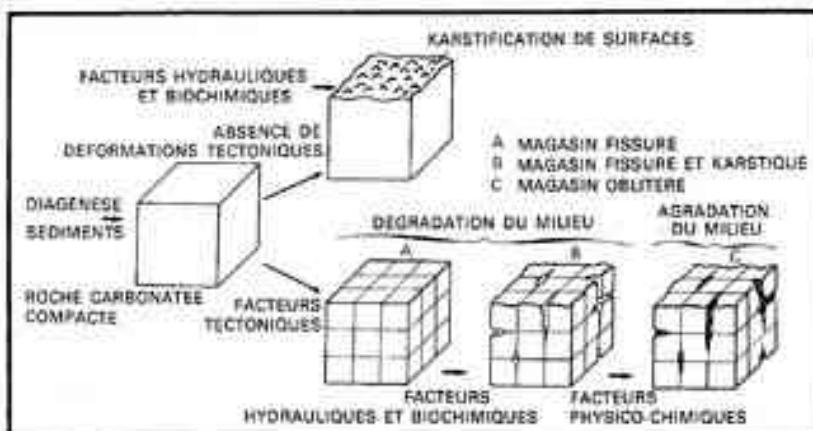


Fig. 3 - Genèse d'un magasin karstique. La géodynamique interne (tectonique) et externe (hydraulique, biochimie) provoquent une dégradation du milieu avec mise en place d'une perméabilité secondaire, par fracturation et dissolution. La reversibilité de certains processus peut avoir pour conséquence une oblitération de cette perméabilité. Au cours de son évolution, le magasin peut ainsi devenir partiellement ou totalement stérile. Ce phénomène est à prendre en compte lors de l'exploration hydrogéologique (ceci s'applique également en recherche pétrolière, sur les gisements d'hydrocarbures en milieu karstique comme on en rencontre en Espagne, Italie, Hongrie et en Union Soviétique).

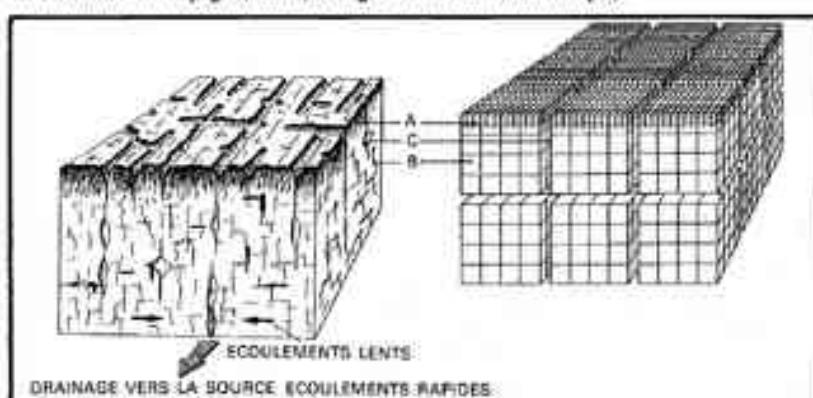


Fig. 4 - Le magasin karstique et sa représentation géométrique. A - Zone supérieure aérienne, très perméable, facilitant l'infiltration des eaux de pluie. B - Blocs à réseaux de fentes, peu perméables, siège d'écoulements lents. C - Conduits karstiques, très perméables, à écoulements rapides : système drainant de l'aquifère.



- Examen, dans un forage, de la karstification à l'aide d'une caméra de télévision immergée. La vision est axiale et plongeante, la profondeur est de 50 m sous le niveau d'eau.

au raccourcissement subiront des efforts de serrage donc de fermeture (fig. 2).

Ainsi des fractures, bien définies tectoniquement, seront préférentiellement favorables par leur ouverture à la pénétration de l'eau et faciliteront donc la dissolution ou karstification profonde. Ceci a été vérifié par divers travaux récents.

Au cours de phases tectoniques successives, les contraintes peuvent se modifier en direction et intensité, ainsi la karstification intéressera dans le temps, des fractures d'orientations différentes. Mais ce qui apparaît essentiel, c'est qu'en général, les magasins karstiques importants se développent à la faveur des grands mouvements de distension, au cours desquels les roches sont soumises à des efforts d'étirement. Il faut tout de même préciser, que le processus de karstification sur fentes ouvertes, est compliquée par l'action d'autres facteurs tels que la pétrographie de la roche (plus ou moins grande solubilité) et les variations de débit et d'agressivité de l'eau dans le temps et l'espace (fig. 3).

Sur un même massif, la karstification peut avoir été plus ou moins active au cours des périodes géologiques. Dans le Sud de la France, en Languedoc notamment, les magasins karstiques sur les calcaires de la fin du Secondaire ont pu se développer sur plus de 120 millions d'années et ont connu des phases de récession très marquées ou de formation intensive. Ainsi, au cours des périodes chaudes et humides du Tertiaire la karstification, aujourd'hui en partie oblitérée par les karstifications plus récentes, a dû être particulièrement active.

Actuellement, le phénomène de karstification se poursuit de façon notable. Dans les Alpes de Provence, près des Gorges du Verdon, on a pu estimer que sur un massif de 300 à 400 km², les eaux souterraines emportent annuellement par dissolution environ 20 000 tonnes de calcaires. En Languedoc, sur un bassin témoin (bassin de Saugues de la décennie hydrologique internationale) avec les conditions climatiques actuelles, qui ne sont pas optimales car la production des sols en gaz carbonique est modeste, la masse calcaire perdrait cependant par millénaire 1,3 % de son volume par dissolution. Ceci est une rapidité considérable à l'échelle des temps géologiques.

La conséquence de cette dissolution intense peut être la réalisation d'un magasin karstique en quelques millions, ou même en quelques centaines de milliers d'années, (certains magasins kar-

tiques ont pu vraisemblablement se former en moins de 500 000 ans) avec le creusement de vides profonds parfois de grandes dimensions (la célèbre Mammoth Cave aux Etats-Unis atteint une longueur totale reconnue à ce jour de 344 km d'après le géologue A.N. Palmer).

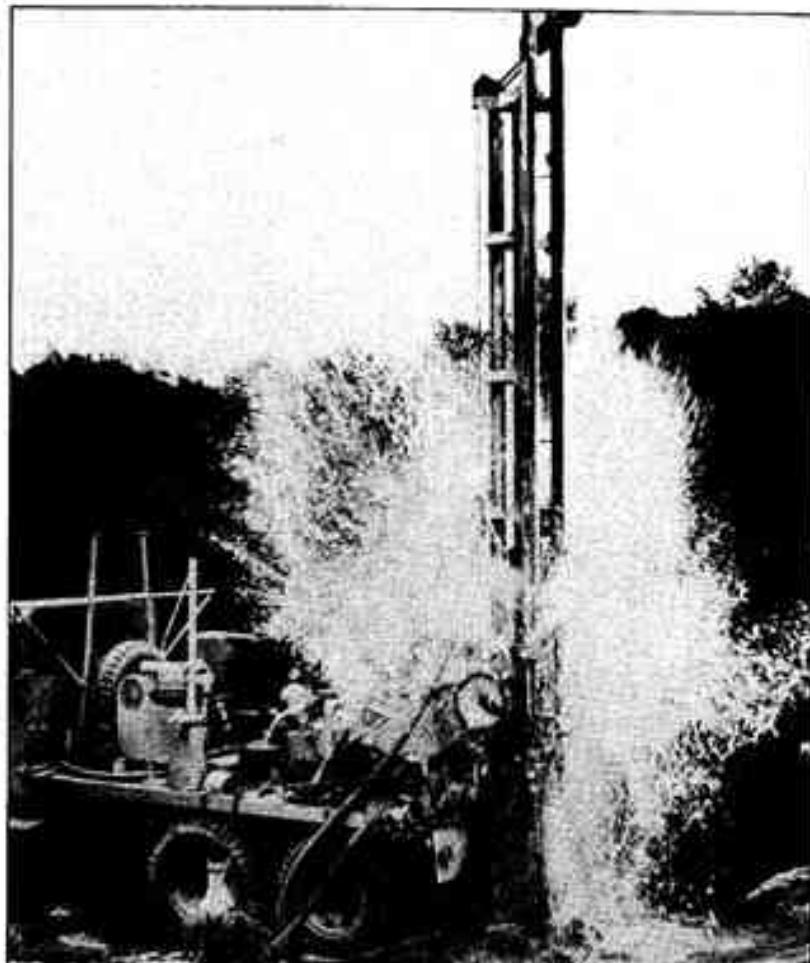
Les effets combinés des différents facteurs de karstification rendent l'étude du magasin karstique délicate. Cependant, dans un certain nombre de cas, le rôle directeur de la fracturation apparaît clairement comme signalé plus haut, ce qui justifie l'importance des études tectoniques en hydrogéologie du karst. Ces études se font à l'aide de deux approches complémentaires : relevés directs à l'affleurement, sur carottes ou en travaux souterrains, pour la définition de la genèse et de la nature des fractures ; et étude sur clichés aériens pour l'analyse globale des champs de fracturation. Les documents, tracés à partir des clichés aériens, sont traités au banc d'optique en lumière cohérente ou après digitalisation sur ordinateur. Le but est d'obtenir une caractérisation numérique des champs de fractures pour permettre une description quantitative de la géométrie du magasin.

Des éléments acquis actuellement laissent entrevoir un développement des connaissances dans ce sens. Ainsi les champs de fractures sur les massifs calcaires des grands causses du Massif Central, possèdent dans leur organisation le double aspect mathématique, aléatoire et déterministe, qui caractérise les phénomènes régionalisés définis par M. Matheron. Le traitement des données de fracturation par les méthodes de la géostatistique est donc possible. On a ainsi à disposition des outils d'analyse adaptés au problème posé.

Architecture de l'aquifère : ses conséquences sur les écoulements souterrains

Les divers facteurs de la karstification et notamment la dissolution différentielle sur fractures, conduisent à la mise en place de vides de toutes dimensions ; de la fente micrométrique ou millimétrique au conduit ou chenal karstique, métrique. Seule la reconnaissance directe par forages, peut permettre d'identifier la distribution de ces différents vides dans le magasin.

En fait, les résultats d'un certain nombre d'études définissent en schématisant, deux domaines hydrauliquement bien distincts ; les conduits à per-



— Jaillissement, sous l'effet d'un soufflage à l'air comprimé sur un forage venant d'atteindre, à 60 m de profondeur, un conduit karstique.

méabilité (ou conductivité hydraulique) élevée et les fentes à faible perméabilité. L'ensemble est disposé en réseaux interconnectés de maillages différents (fig. 4). Les conduits relativement peu nombreux, confèrent cependant localement à la roche des perméabilités de 10^3 à 10^8 fois supérieures à celles dues aux seules fentes. Ces perméabilités sont les plus élevées que l'on puisse trouver dans le sous-sol, ce qui explique les débits parfois considérables, de certaines sources karstiques. (La fontaine de Vaucluse débite jusqu'à 150 m³ seconde pour ne citer que la source française la plus importante).

La juxtaposition de secteur à perméabilités aussi dissemblables dans un même aquifère est l'une des caractéristiques essentielles du karst, et se manifeste dans son fonctionnement hydraulique. Deux paramètres permettent d'en situer l'originalité : les vitesses d'écoulement et les célérités de déplacement d'ondes.

Ainsi, sur les conduits, les vitesses apparentes d'infiltration et de circulations profondes sont élevées : jusqu'à 500 m/h. Mais dans les réseaux de fentes adjacents les vitesses peuvent être par contre inférieures à quelques décimètres ou même quelques centimètres par jour (valeurs semblables à celles relevées en milieux poreux).

Pas ailleurs, si en un point quelconque d'un aquifère, on modifie la pression hydrostatique, cette perturbation se propage avec une célérité proportionnelle, toutes choses égales par ailleurs, à la perméabilité du milieu. Dans le karst, les célérités seront très diverses du fait de l'hétérogénéité. On a pu mesurer sur plusieurs kilomètres, des célérités apparentes de 60 km/h (en réseaux karstiques) et de 2 m/jour dans les systèmes de fentes.



- L'étude du fonctionnement hydraulique d'un aquifère karstique passe, quand c'est possible, par l'analyse précise du débit des sources (déversoir triangulaire mince paroi, bassin témoin de Saugras).



- Ecoulement d'un forage, atteignant sous une couverture imperméable, un karst profond artésien. Le débit naturel est voisin de 200 l/s (Algérie).

Ondes de marées et gradients géothermiques

Pour illustrer ces propriétés hydrauliques, voici deux exemples : l'effet sur un aquifère des marées océaniques et les perturbations des gradients géothermiques par les circulations d'eau.

Les variations répétées du niveau d'un plan d'eau libre au contact d'un massif karstique peuvent provoquer dans celui-ci une série de modifications de pression dont l'amplitude et le déphasage par rapport au mouvement du plan d'eau seront liés à la perméabilité de la roche. Ce phénomène peut être observé sur les massifs karstiques littoraux en présence d'un phénomène de marée.

Les fluctuations, approximativement sinusoïdales de l'océan, pourront être perçues dans l'aquifère loin de la côte, s'il s'agit de zones très karstifiées et seront amorties à proximité immédiate du littoral dans les réseaux de fentes. Ce type d'étude a été effectué au Sud du Portugal, sur des forages situés à 1,5 km de l'océan et en Yougoslavie jusqu'à des distances de 3,5 km de l'Adriatique (fig. 5).

On sait que dans le sous-sol, la profondeur de la zone hétérothermique, influencée par les fluctuations de la température extérieure, est de quelques mètres au pas de temps mensuel, du fait de la seule conduction. Au-delà et toujours en conduction pure, le gradient géothermique en un point donné est stable, il est lié au flux de chaleur profonde et à la conductivité de la roche.

Lorsqu'un phénomène convectif intervient, (les circulations d'eau), le gradient thermique peut être bouleversé.

Dans le magasin karstique, les circulations sur les conduits seront donc a priori susceptibles d'avoir une incidence sur la thermique du sous-sol. Ceci est vérifié par l'expérience. En réseaux de fentes à circulations lentes, l'eau souterraine est toujours très proche d'un état d'équilibre thermique avec la roche, même lors des crues. Au droit des zones à perméabilité élevée, par contre, l'eau en circulation rapide modifie considérablement les conditions de température (fig. 6).

Une quantité importante de chaleur peut être ainsi déplacée dans l'aquifère et exportée hors du système en transitant par les sources. Finalement l'importante hétérogénéité de ces milieux pourrait laisser penser qu'une approche globale de leur fonctionnement hydraulique est impossible ce qui réduirait considérablement l'intérêt scientifique et économique des aquifères. Ce n'est

pas le cas, car il est légitime de considérer un magasin karstique comme continu si les dimensions des blocs élémentaires sont négligeables devant les dimensions des phénomènes analysés. C'est ainsi que les caractéristiques du drainage peuvent être étudiées à partir de l'analyse géologique et physique du milieu. Cette hypothèse se vérifie sur un grand nombre de travaux, notamment dans la reconstitution des débits d'un aquifère à l'aide d'un modèle mathématique conceptuel (fig. 7).

Les caractéristiques particulières de la structure et du fonctionnement de l'aquifère karstique, évoquées partiellement ici, sont les conséquences de la genèse spécifique de ces magasins. La comparaison avec les milieux poreux est tout à fait instructive. Dans ces derniers, la perméabilité se met en place en même temps que se constitue la roche, il s'agit d'une perméabilité primaire. Une évolution de cette propriété est possible, mais en général dans le sens d'une oblitération.

Dans le karst, la perméabilité est un phénomène secondaire qui apparaît après la formation de la roche. Les conduits karstiques qui réalisent le drainage concentrent les écoulements et favorisent ainsi sur eux-mêmes l'accélération de la karstification. Il y a donc auto-développement de ce drainage karstique, avec rétroaction de l'effet sur la cause.

Mais ces mécanismes ne se mettent en route et ne se poursuivent que sous certaines conditions géologiques : fracturation préalable et situation du massif calcaire permettant le transfert des eaux ; transfert sans lequel il n'y a pas exportation de matière dissoute hors du massif. Pour cela, il faut que le gradient hydraulique, imposé naturellement dans le magasin par la différence d'altitude entre l'entrée des écoulements (à la surface recevant la pluie pour un massif affleurant) et la sortie (sources ou aquifère adjacent) ne soit pas nul.

Dans les régions à forte activité tectonique, les mouvements verticaux d'un secteur peuvent à toutes époques, être importants et rapides (parfois plusieurs décimètres par millénaires). Des affaissements ou des surélévations alternées soumettront alors le karst à des phases successives de développement, de stabilisation ou de colmatage.

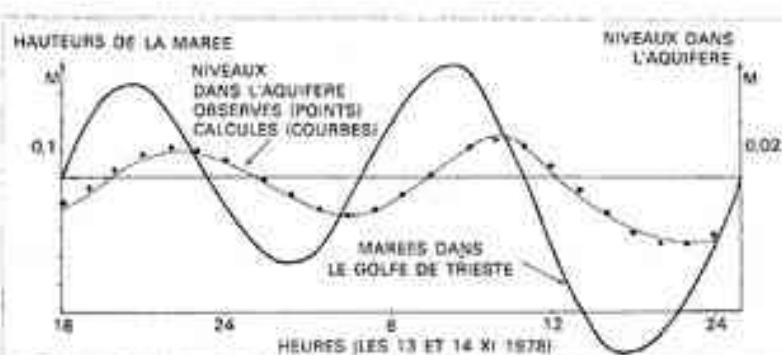


Fig. 5 - Fluctuations du niveau d'eau dans un forage situé sur un conduit karstique, à 3,5 km du littoral de la mer Adriatique (Golfe de Trieste, Yougoslavie). L'effet de marée apparaît clairement sur l'ouvrage. Le calcul de la courbe théorique est réalisé en faisant l'hypothèse de domaines très perméables (conduits) associés à des zones peu perméables (fentes).

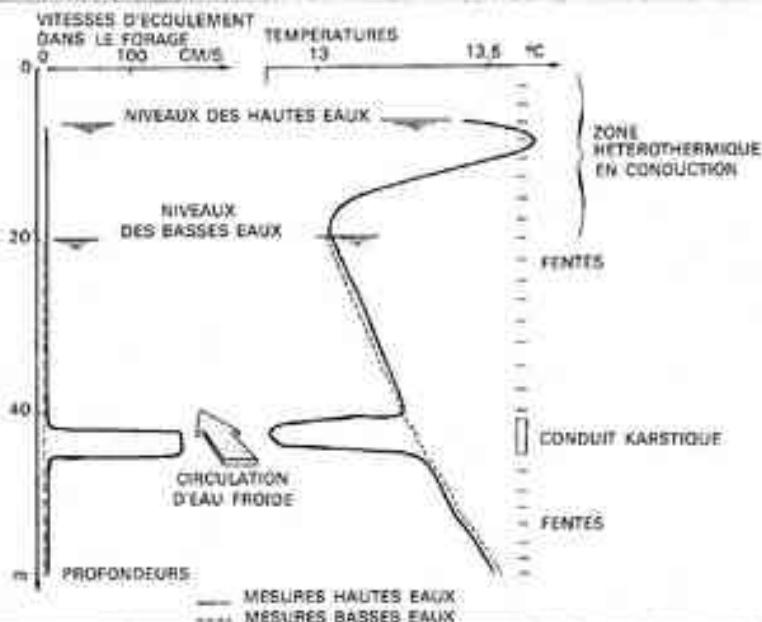


Fig. 6 - Profils thermiques en basses et hautes eaux dans un aquifère karstique. Les écoulements rapides, en crues, sur un conduit, modifient notablement les gradients de température en provoquant une intermission froide sur la courbe (mesures réalisées en hiver, eau d'infiltration à 6 °C).

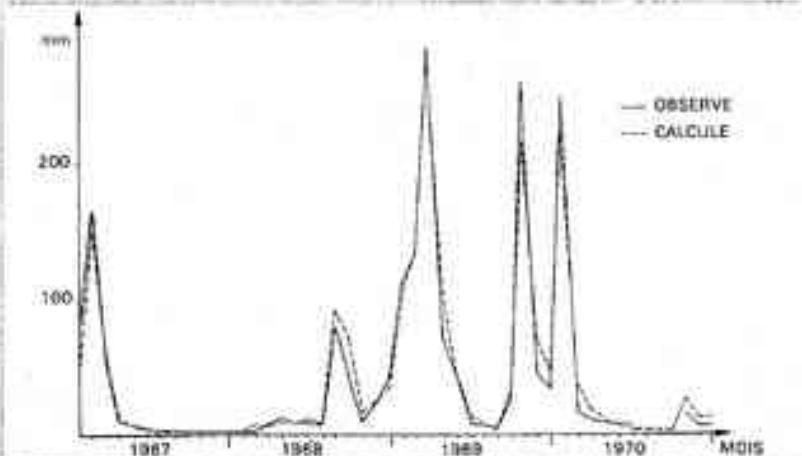


Fig. 7 - Reconstitution des débits d'une source karstique, à l'aide d'un modèle mathématique conceptuel (bassin témoin de Saugras). La pluie étant la variable d'entrée, la transformation en débit se fait par différentes fonctions (évapotranspiration, recharge de l'humidité du sol, etc.) et en considérant d'une part un écoulement rapide et turbulent (dans les conduits karstiques) et d'autre part, un écoulement lent et laminaire (dans les fentes). Le modèle utilisé, adapté au karst, est le modèle CREC élaboré par Y. Cormary et A. Guillet en hydrogéologie de surface.

Une civilisation du palmier à sucre en Asie

« Le jus de palme peut être transformé en sucre aussi doux que le miel ... La nature a créé ce produit de telle sorte qu'il ne peut être traité dans les usines. On le fabrique dans les chaumières. Là où il y a des palmiers on peut produire facilement le sucre... C'est la manière de bannir la pauvreté du sol. C'est aussi un antidote contre la misère ». (Mahatma Gandhi - 3 mai 1939).

Guy LUBEIGT

L'appellation « palmier à sucre » recouvre des réalités bien différentes : *Arenga saccharifera* (Philippines) ; *Nipa fruticans* (dans les zones deltaïques tropicales) ; *Phoenix dactylifera* et *P. sylvestris* (Inde du Sud) ou même *Cocos nucifera*, le célèbre cocotier qui, lui aussi, peut produire du sucre (plaine centrale de Thaïlande). En Birmanie, en Thaïlande, au Cambodge c'est *Borassus flabellifer*. Les *Borassus* sont aussi bien connus en Afrique Orientale, Occidentale et Équatoriale, sous le nom de Rônier (*Borassus aethiopum*) (1), ainsi qu'à Madagascar. Pour les Africains les rôniers ne présentent qu'un intérêt économique limité : on les saigne à mort pour faire le vin de palme. Les arbres poussent librement dans la savane, où

leurs fruits sirupeux sont paradoxalement très appréciés des éléphants qui participent largement à leur propagation. Bien qu'ils aient une préférence marquée pour les climats secs, (400 à 900 mm de pluies), les *Borassus* poussent aussi bien dans les régions humides (Kerala, Basse Birmanie, Cambodge) que dans les zones sèches, (Birmanie Centrale, Tamilnadu (ancien Etat de Madras), Sri Lanka, Madagascar).

Le *Borassus* : un palmier parmi les autres

Borassus flabellifer Linn, appartient à la grande famille (environ 3 000 espèces) des palmiers. Son tronc rugueux, d'allure filiforme, peut atteindre jusqu'à 35 mètres de haut. Il est généralement renflé à la base où son diamètre atteint au maximum un mètre. A quatre mètres du sol, le tronc perd sa forme conique pour prendre une forme cylindrique avec un diamètre

constant de 40 à 50 cm jusqu'au sommet. Il semble formé d'une série d'anneaux superposés qui sont en fait les cicatrices des feuilles dont la vie s'étend sur trois ans. Chaque année il en produit une douzaine. Le pétiole des feuilles qui atteint environ un mètre est bordé de grosses épines tandis que le limbe s'ouvre en un éventail à découpages allongés de 50 à 70 cm de rayon. Après sa plantation, ou sa régénération spontanée, *Borassus* grandit d'une trentaine de centimètres par an sans nécessiter de soins particuliers. Il est adulte quand apparaissent les premières inflorescences qui permettent de définir son sexe. Les palmiers femelles portent des fruits et les mâles de longues inflorescences digitées.

Les *Borassus* vivent très vieux. En Birmanie on connaît des spécimens d'au moins 150 ans. Leur résistance est légendaire : si un ouragan peut les casser il ne peut pas les déraciner à cause de leurs réseaux complexes de racines qui sont aussi bien plantés sur les di-

□ Guy Lubeigt est chargé de recherche au CNRS. Il a reçu le prix Christian Garnier 1981 de la Société de géographie pour sa contribution à l'étude de la civilisation du palmier à sucre en Asie.



(1) La variété *Borassus aethiopum* est physiquement différente de *Borassus flabellifer*. Elle présente un renflement à la partie supérieure du tronc, sous les feuilles. Mais il n'y a aucune différence notable entre leurs pelotes respectives.

◀ Vembur - Une mer de palmiers à sucre s'étend sur tout l'horizon, au-delà d'une grande dune côtière colonisée par une plantation de *Borassus*. Les baies sont constituées d'épines (photo Guy Lubeigt).

Vembur - La forêt de *Borassus* - une mer de palmiers - (région de Tiruchendur) Tamilnadu (photo Guy Lubeigt). ▶

gucties des rizières dont ils assurent la permanence, (Birmanie, Thaïlande et Cambodge), sur les bords des réservoirs dont ils maintiennent les levées de terre, (Inde du Sud), dans les régions côtières où ils fixent les dunes (Tamilnâdu), dans les régions de vents de sable et de poussières où ils protègent les sols et servent de coupe-vents (Birmanie Centrale). Doté d'une grande plasticité écologique, le même spécimen peut en outre être exploité par trois ou quatre générations de paysans : un record de production pour un entretien quasi nul et une absence totale d'investissement en engrains ou pesticides!

** Borassus flabellifer Linn.* : le palmier aux 801 usages*

Les paysans grimpeurs qui exploitent les palmiers à sucre en les escaladant une ou deux fois par jour ne se contentent pas d'en tirer une sève sucrée - dont on extraîtra le sucre - ou fermentée - consommée sous le nom de vin de palme. Ils en récoltent traditionnellement de nombreux produits et sous-produits. A tel point qu'un poème tamoul ancien, le *Tala Vilasam* (la gloire de Borassus), en énumère les 801 usages. Au Tamilnâdu, la production dominante est celle des

fruits et de la sève fermentée : *kallou*. Le mot s'applique à la sève du cocotier mais est étendu à tous les palmiers. En Inde du Sud, plusieurs tribus dravidiennes (par exemple les Kwayars) ont pour spécialité l'extraction de la sève des palmiers, pas nécessairement des Borassus, depuis des temps immémoriaux. La canne à sucre, très anciennement cultivée rendait inutile la production de sucre à partir des palmiers autrement qu'en petite quantité. Mais partout ailleurs c'est apparemment la production de sucre qui l'a emporté sur celle de la sève fermentée. Les feuilles fournissent d'excellentes toitures, des



engrais pour les champs, des lanières pour le tressage des nattes, paniers, boîtes et, traditionnellement, des feuilles pour écrire et des éventails. Toutes les parties de l'arbre, même les fruits, fournissent un excellent combustible. Les troncs ont quelquefois donné naissance à une industrie du bois (Tamilnâdu) pour les pilotis des maisons, les poutres, la charpenterie de marine et l'outillage utilitaire en bois. On en fait aussi selon les régions, des gouttières, des canalisations ou des tuyaux qui résistent dix ans (arbres mâles), ou vingt ans (arbres femelles) à la putréfaction. Tandis que les cochons et le bétail se contentent des fruits mûrs et des écorces débitées en petits morceaux (Birmanie, Indonésie), les racines et les jeunes pousses riches en protéines et en vitamines B1 et B2 sont consommées par les vieillards et les enfants (Birmanie, Tamilnâdu). En Birmanie, un million de personnes — sur trente-quatre millions d'habitants — vivent des produits et sous-produits de *Borassus*. Il y en a au moins autant dans le Tamilnâdu.

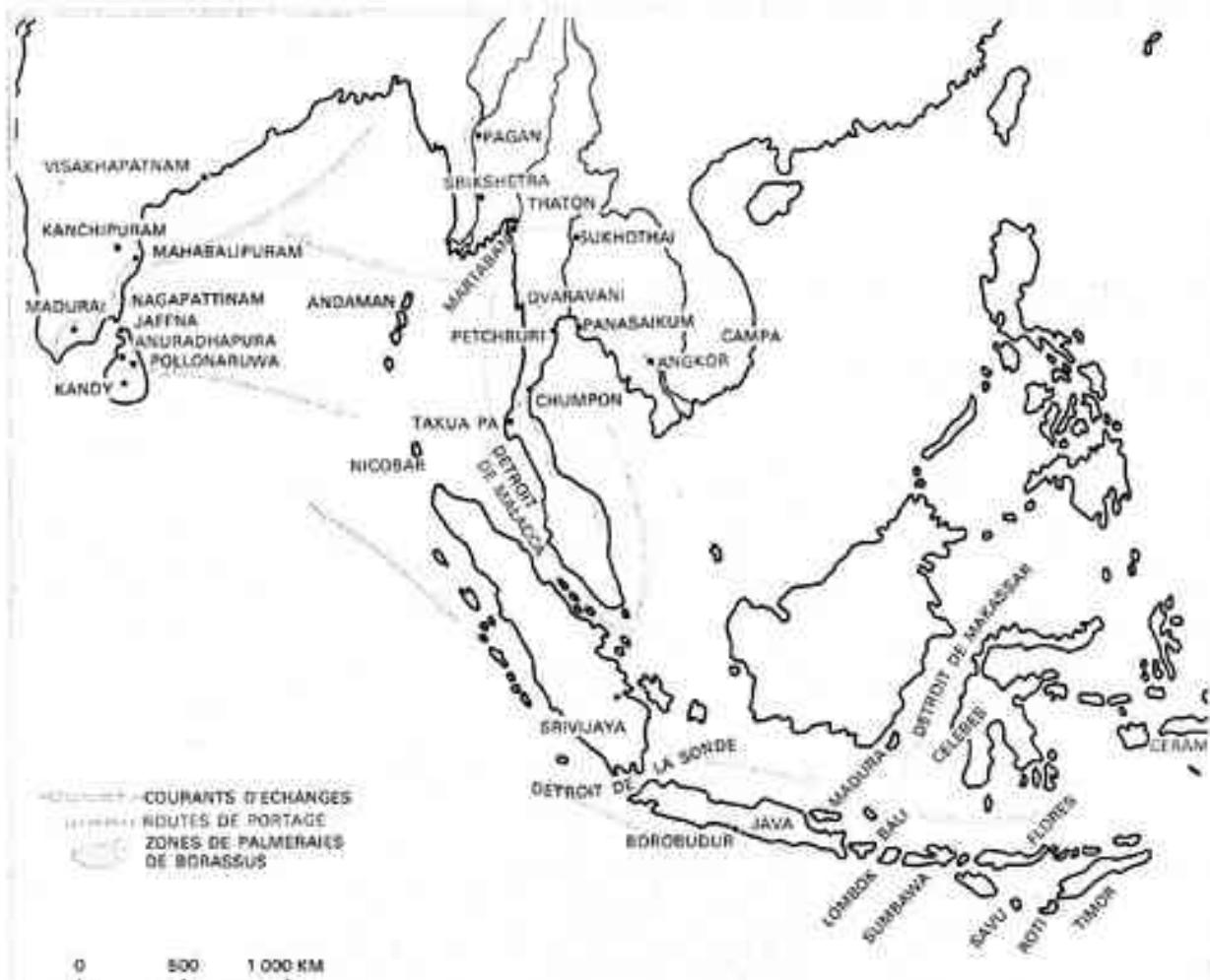
Par ailleurs, toutes les parties du palmier sont utilisées en médecine indigènes. Elles traitent entre autre : hépatite, rhumatisme, diabète, dégénérescence, asthme, diarrhée, lépre, gonorrhée, artériosclérose, hémorragie, abcès, toux, congestion, hydropisie, palpitations... Quant à la sève, elle fait engraisser, donne des forces, enrichit le sperme et le lait, favorise la production de la bile et régularise les gaz. Pour tous, malades et bien portants, *Borassus* est un palmier-miracle que les paysans-grimpeurs considèrent souvent comme un individu à part entière dont ils prennent grand soin, dont ils reçoivent beaucoup, et avec lequel ils entretiennent des relations étonnantes.

Un arbre traditionnel

Le *Borassus* est un arbre lié aux courants d'échanges traditionnels. L'Inde, la Chine et l'Indonésie commercent depuis des temps immémoriaux. Des courants d'échanges sont

déjà attestés au II^e siècle avant Jésus-Christ entre les royaumes de l'Inde du Sud et de l'Indonésie. On constate que les fortes densités de palmiers à sucre sont toujours situées près des régions côtières — Tamilnâdu, Jaffna, Petchburi — ou facilement accessibles par bateau — Pagan, Angkor —. Les capitales des vieux royaumes hindous aux premiers siècles — Srikshetra, Thaton, Dvaravati — et les points de transbordements des routes de portage de l'Indochine continentale sont toujours entourés de grandes palmeraies — Chumphol, Petchburi, Panasnikom/Cholburi —. Le sucre et les sous-produits de *Borassus* étaient vraisemblablement l'objet d'un trafic assez important. Mais les grosses quantités de sucre étant difficiles à transporter il était plus commode d'avoir des palmeraies près des ports maritimes ou fluviaux.

Tous les monastères bouddhiques de Birmanie et Thaïlande, sans exception, possèdent traditionnellement des palmiers *Borassus* dans leurs enclos. Il est



Les courants d'échanges entre les royaumes de l'Inde du Sud et les royaumes indiens de l'Asie du Sud-Est.

permis de penser que les religieux venus évangéliser les indochinois ont diffusé des textes canoniques pour répandre l'enseignement du Bouddha. Le support de l'écriture étant traditionnellement la feuille de palme (*ola*) de *Corypha* ou *Borassus*, les savants moines ont probablement participé à la propagation des palmiers *Borassus* en Indochine. Les premiers immigrants indiens ont apporté le palmier à sucre en Birmanie au début de l'ère chrétienne (Luce 1960) mais ils ont pu tout aussi bien ne diffuser que des améliorations techniques ou participer au développement d'une culture préexistante. Quoi qu'il en soit, il est permis de supposer que la technologie associée à l'exploitation des *Borassus* ait pu, dans une certaine mesure, encourager la sédentarisatation des pasteurs-nomades tibétobirmans en Birmanie centrale.

*Les technologies associées à l'exploitation des palmiers *Borassus* en Asie méridionale, en Indochine, et dans le monde insulindien*

Dans toutes les zones sèches où la densité des peuplements en *Borassus* le permet, les hommes ont su traditionnellement tirer de ces palmiers tout ce dont ils avaient besoin. Grâce à cette exploitation systématique rendue possible par l'utilisation de techniques souvent très élaborées, il s'est instauré un équilibre séculaire entre les habitants de ces régions et un milieu naturel parfois défavorable (sols, sécheresse). Les technologies associées à l'exploitation des palmiers *Borassus* se retrouvent partout, sous formes diverses, de l'Asie méridionale au monde insulindien.

• Les techniques d'escalade des palmiers à sucre. Pour atteindre les inflorescences productrices de sève, il faut d'abord escalader les palmiers – les arboriculteurs de ces régions sont donc tout à la fois paysans et grimpeurs – et pour ce faire, il existe au moins une demi-douzaine de techniques.

En Inde du Sud, Sri Lanka, Roti, les grimpeurs utilisent une sorte de sangle-ceinture qui leur maintient les reins et entoure le tronc. Des deux bras ils font monter par à-coups la boucle de fibre autour du tronc tout en prenant appui sur leurs plantes de pieds pour s'élancer à chaque fois. La base du palmier étant toujours assez large, certains grimpeurs utilisent une petite échelle ou un

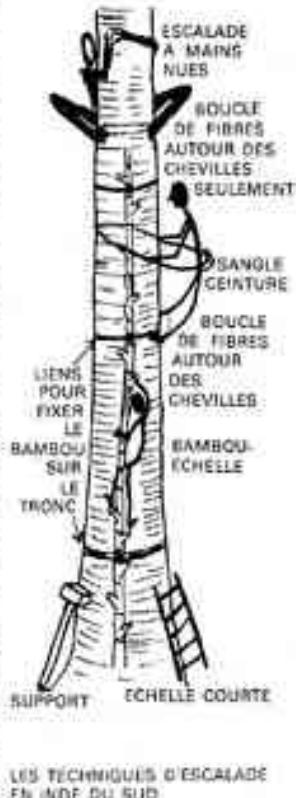
support haut d'environ un mètre avant de commencer leur ascension avec la boucle. Au Nord-Est du Cap Comorin les grimpeurs escaladent leurs palmiers à mains nues, avec une simple cordelette autour de leurs chevilles, en boucle, pour maintenir l'écartement de leurs pieds de part et d'autre du tronc.

Au Karnataka, en Thaïlande, au Cambodge et en Basse Birmanie, un très long bambou est fixé en permanence par des cordelettes. Les branches, coupées en tronçons d'une dizaine de centimètres de part et d'autre du bambou principal, servent de points d'appui pour les pieds du grimpeur, (voir croquis). Dans le district de Salem (Tamilnâdu), où pourtant les bambous sont nombreux, les grimpeurs utilisent le système de la corde de fibre autour des reins.

Dans la méthode « Birmane », le grimpeur se déplace d'arbre en arbre, portant sur l'épaule une échelle longue de 4 à 6 mètres (yin), qu'il fixe contre le tronc du palmier à l'aide de cordelettes.

Quand il arrive au sommet de cette échelle, il se hisse sur une seconde échelle (yin swé), généralement plus courte et fixée en permanence sur le tronc de l'arbre. En Inde du Sud, quand les palmiers sont encore jeunes, on utilise quelquefois des échelles (yén).

Sur l'île de Roti, deux méthodes sont utilisées en concomitance. L'une consiste à tailler des encoches dans le tronc pour faire une sorte d'escalier permanent. Cette technique, peut-être venue d'Océanie, est couramment employée pour les cocotiers dans tous les pays. Fox (1977) rapporte que selon un mythe local ces entailles ont été faites par un homme qui venait de la mer. Il est permis de se demander s'il ne s'agit pas là de réminiscences de la migration proto-austronésienne (4 000 ans avant Jésus-Christ) et de son complexe culturel. La seconde technique paraît beaucoup plus originale : des tiges de feuilles sont solidement attachées au tronc des arbres pour former une sorte d'échelle.



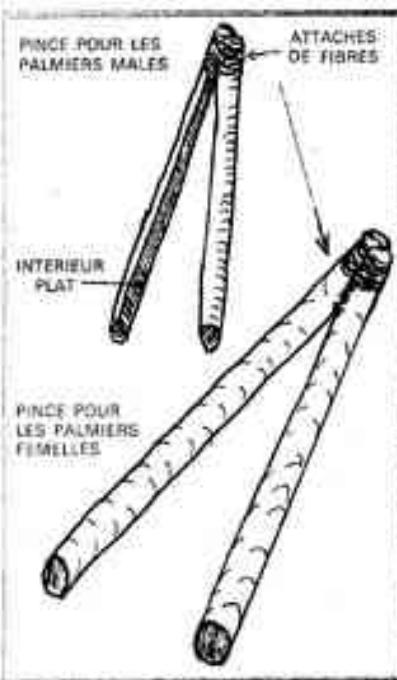
Marakkam (Tamilnâdu) – Les instruments utilisés par un grimpeur : cordelettes de fibres, trois paires de pinces, un support (photo Guy Lubelt).

• Les instruments d'exploitation. De par leur spécificité, les instruments utilisés par les grimpeurs sont particulièrement caractéristiques d'une technologie commune aux pays où les *Borassus* sont exploités. Ils sont remarquablement adaptés aux palmiers. C'est notamment le cas pour les divers couteaux, coupe-coupe ou serpes nécessaires au nettoyage des troncs, des feuilles et à l'incision des inflorescences. En outre, les *Borassus* étant sexués, certains instruments sont réservés aux mâles, et d'autres aux femelles. Les plus caractéristiques sont les pinces en bois. Pour les mâles, l'intérieur des pinces, large de trois ou quatre centimètres, est plat. Cela permet d'écraser légèrement les fragiles inflorescences pour faire venir la sève. Au contraire pour les femelles, les pinces sont cylindriques sur toute leur longueur car les spadices sont beaucoup plus épais et résistants. Les *Borassus* femelles sont l'objet des plus grands soins car ils peuvent donner d'une fois et demi à deux fois plus de sève que les mâles. Pour augmenter leur production on leur réserve l'exclusivité d'un instrument très particulier : la matraque. C'est une petite massue appelée en Birman « sôkô », qui sert à frapper les jeunes inflorescences pour accélérer la montée de la sève. Dans le Tamilnâdu la matraque est en racine de tamariner, bois très dur, mais c'est souvent le manche de la serpe qui remplit cet office (2). Les *Borassus* mâles sont bien traités en Inde du Sud : deux pinces leur sont réservées. L'une pour les premières pressions assez brutales, l'autre plus courte, pour la délicate seconde phase de l'opération qui précède l'incision de l'inflorescence. Dans les îles indonésiennes, il semble au contraire qu'une seule pince soit utilisée.

Les récipients utilisés pour recueillir la sève sont accrochés sous les inflorescences et recueillent la sève qui s'en écoule après le rafraîchissement quotidien (Tamilnâdu), ou biquotidien (Birmanie, Sri Lanka, Roti), des incisions. Il s'agit essentiellement de feuilles très sèches (Tamilnâdu, Madura, Roti, Savu), de calebasses (Tamilnâdu), d'entre-nœuds de bambous (Basse Birmanie, Thaïlande et Cambodge) et de poteries de contenances diverses (un à dix litres) en Inde du Sud, Sri Lanka et Indochine. Avant de verser la sève fraîche ou fermentée dans les divers récipients collecteurs, on la débarrasse



District de Kanyakumari (Tamilnâdu) – Deux grimpeurs expliquent la technique de pression des inflorescences de palmiers mâles, avant la mise en exploitation (photo Guy Lubcigt).



(2) Un grimpeur de Pagan précise : les « femelles sont imprévisibles. La façon dont elle travaillent dépend de la façon dont on les bat. Si elles sont bien battues elles produisent plus que les mâles ».

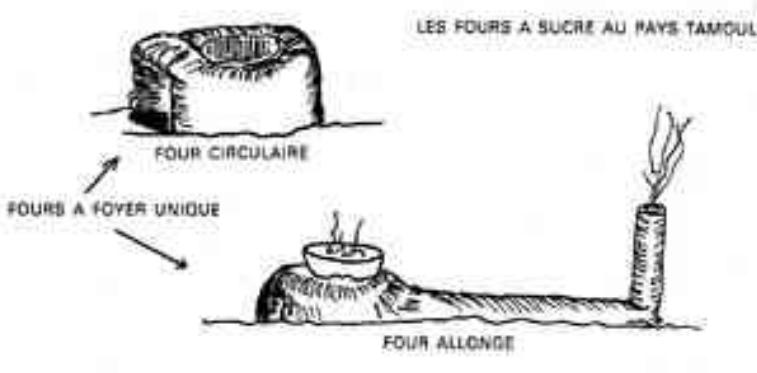


Marakkam (Tamilnâdu) – Les « pannelles » (récipients destinés à collecter la sève) sur un palmier mâle (photo Guy Lubcigt).



Marakkanam (Tamilnadu) - Après la cuisson de la sève, le sucre est versé dans des deminoix de cocos pour sécher (photo Guy Lubeigt).

DES RECIPIENTS COLLECTEURS



FOUR A FOYERS MULTIPLES



(GUY LUBEIGT)

de ses impuretés avec un filtre naturel trouvé à la base des feuilles de *Borassus*.

• La conservation de la sève : l'utilisation d'écorces spécifiques. Fox (1977) rapporte que selon les légendes de Roti, les techniques d'exploitation ont été introduites progressivement dans l'île, notamment la pratique de la saignée biquotidienne qui permet de récolter une sève non fermentée nécessaire à la fabrication du sucre. Avant cette amélioration technique les grimpeurs de Roti ne récoltaient la sève, fermentée, donc impropre à la fabrication du sucre, qu'une fois par jour. Pour empêcher la fermentation, il faut donc récolter deux fois par jour. En outre, les grimpeurs ralentissent encore le processus en versant de la chaux au fond des pots (Tamilnadu). On l'obtient à partir de coquillages récoltés en bord de mer, puis écrasés et pilés. En Asie du Sud-Est, la fermentation est traditionnellement enravée par des morceaux d'écorce placés au fond du pot. Au Cambodge il s'agit de *Shorea Cochinchinensis* ; en Thaïlande, de *Shorea Tectorum* ; en Birmanie, de *Shorea Obtusa*, (de plus en plus remplacé par le lait de chaux beaucoup plus facile à se procurer) et à Madura de *Schleichera Oleosa Merr.* Cette méthode n'est pas utilisée à Roti et à Savu.

• Les fours à sucre : des foyers multiples. La cuisson de la sève fraîche s'effectue dans des bassines ou des jarres placées sur des fours à foyers multiples, circulaires ou allongés, sensiblement identiques d'un pays à l'autre. Les plus communs, tapisssés de terre cuite, sont creusés dans le sol, (Inde du Sud, Birmanie, Ceylan, Madura, Roti, Savu, Timor) ; d'autres, plus élaborés, sont construits en brique (Birmanie, Thaïlande) au-dessus du sol. De forme allongée, ils mesurent en moyenne 0,50 m de hauteur, 1,50 m à 2 m de longueur, et 0,50 m de largeur. Les fours circulaires creusés dans le sol comportent des foyers uniques (Tamilnadu, Thaïlande du Nord) ou multiples sur lesquels sont placées les poteries destinées à la cuisson de la sève (Tamilnadu, Indonésie). Les fours allongés, avec trois à cinq foyers en ligne se terminent par de courtes cheminées hautes d'un ou deux mètres (Birmanie, Thaïlande, Tamilnadu).

• Les huttes d'exploitation : une forme d'habitat originale. L'escalade biquotidienne des *Borassus* interdit aux paysans grimpeurs de s'éloigner de leurs arbres. Pendant la saison de récolte de la sève, parfois toute l'année, ils installent les fours à sucre sous des huttes

d'exploitation construites près des palmiers. Ces abris de conceptions identiques, avec des dimensions (3 m x 5 m x 2 m50) et des toits de palmes d'aspects similaires, sont très caractéristiques des régions de fabrication du sucre où ils donnent naissance à des formes d'habitats dispersés plus ou moins temporaires, (Birmanie, Ceylan, Madura).

Les technologies associées à l'exploitation des palmiers par des communautés humaines différentes ont partout créé à la fois des économies originales et des paysages familiers. Les *Borassus* y sont aussi bien associés à des cultures sèches, (millets, arachides), qu'à des rizières ou des berges de réservoirs. Indissociables de certains paysages ils sont des traits de civilisation caractéristiques des pays Khmer, Birman, Tamoul, Cinghalais et de quelques îles indonésiennes.

Technologie et terminologie de l'exploitation des *Borassus*

Les enquêtes effectuées en Birmanie, Thaïlande, Tamilnâdu, Indonésie, ainsi que les documents consultés sur le Cambodge et Sri Lanka, démontrent une similitude complète ou partielle des techniques mises en œuvre pour l'exploitation des palmiers. Ceci tend à accréditer l'idée d'une technologie commune à l'ensemble de ces pays avec des particularités régionales plus ou moins caractérisées. Souvent la terminologie adoptée par les paysans-grimpeurs est d'origine indienne, mais ce fait n'implique pas que l'ensemble des techniques utilisées le soit aussi. Les habitants de Roti recueillaient déjà la sève de leurs palmiers avant que ne soient introduites dans l'île les techniques de l'escalade biquotidienne et de la construction des fours à sucre.

Il est généralement admis que le développement, voire l'implantation des *Borassus* dans les pays indianisés de l'Indochine continentale a pour origine l'Inde du Sud et ses anciens foyers de civilisation. Toutefois le doute est permis. On sait que le cocotier vient d'Océanie mais on n'a pas encore de certitude quant à l'origine géographique des *Borassus*. Les enquêtes effectuées au Tamilnâdu ont révélé que les grimpeurs de la caste *Shanar* (ou *Sou-*

rares à Pondicherry) reconnaissent deux variétés de palmiers à sucre : la variété « locale », *Borassus flabellifer linn.* et une variété plus grande et plus riche en feuilles, fruits et sève qui viendrait de Sri Lanka, *Borassus sundaleus becc.* où les peuplements sont particulièrement denses dans la péninsule de Jaffna. Ceci suggère une possible introduction d'une variété non autochtone en Inde du Sud. Les marchands indiens ont certes pu apporter avec eux, dans leurs pérégrinations, la technologie mise au point pour l'exploitation des divers palmiers de l'Inde du Sud (*Phoenix dactylifera* et *Sylvestris*; *Caryota urens*; *Cocos nucifera*; *Corypha umbraculifera*). Il semble bien que les plus denses palmeraies de *Borassus* se soient développées le long des routes commerciales traditionnelles entre l'Inde et l'Asie du Sud-Est. A l'inverse, les marchands indiens ont pu tout aussi bien rapporter en Inde des graines de *Borassus* et des techniques utilisées ailleurs.

En Birmanie, les stèles de donations du royaume de Pagan (X - XIV^e siècles) mentionnent très largement les palmiers à sucre. Au contraire en Inde du Sud, les stèles et inscriptions de la même période ne mentionnent pas explicitement la présence des *Borassus*. Les mots : *Tala*, *Tal*, *Talipot*, peuvent désigner de nombreux palmiers, notamment *Corypha umbraculifera*, dont les feuilles (éla) servaient traditionnellement de support à l'écriture. Une inscription de 1204, rédigée par le Roi Kulasekhara 1^{er} de la dynastie Pandya et concernant le temple de Tirupparanam situé dans la région de Madurai, nous décrit - en 343 lignes - les terres données au temple, les rizières, les canaux, le paddy, les tamarins, les terres sèches des bergers et même « l'herbe verte des rives du réservoir », par deux fois ! (*Epigraphia Indica*, volume 25, p. 127, juillet 1939). Or dans cette région la plupart des réservoirs sont actuellement bordés de *Borassus*... De nos jours encore le paysage rural du Tamilnâdu est entièrement dominé par les palmiers à sucre (symboles de l'Etat). On peut donc se demander si, du début de l'ère chrétienne jusqu'au Moyen-Age, les *Borassus* étaient aussi communément répandus en Inde du

Sud qu'ils le sont aujourd'hui ?

En 1868, le nombre des arbres producteurs de sève fermentée (to-dy) en Inde, était estimé à 1 243 711, en majorité des cocotiers, parmi lesquels on ne dénombrait que 47 810 *Borassus* (Watt 1889). Au début du XIX^e siècle, la région située au sud de Tuticorin n'était encore qu'un vaste désert de sable, une zone de lagunes et de dunes côtières. A partir de 1840 l'administration britannique y encourage les plantations de palmiers à sucre. En 1914 toute la zone était devenue « une immense forêt de palmiers ». Cette forêt de *Borassus* a maintenant fixé les dunes côtières. Elle est habitée par des communautés christianisées de grimpeurs spécialisés appartenant à la caste *Shanar* ou *Nadar*. D'où viennent les *Borassus* ? Sont-ils autochtones en Inde du Sud ou y furent-ils introduits dès l'Antiquité ? Les relations entre l'Inde méridionale et le monde insulindien sont attestées dès les II et III^e siècles de notre ère. Il est permis de penser qu'elles sont plus anciennes. Quoiqu'il en soit, les premiers éléments de réponse à la question posée pourraient être apportés par une série d'analyses palynologiques comparatives de prélèvements de sols effectués sur certains sites historiques ou proto-historiques de régions densément peuplées de *Borassus* : Pagan et Thaïton en Birmanie, Sukhothaï et Kanchanaburi en Thaïlande, Kanchipuram et Madurai dans le Tamilnâdu, Anaradhapura à Sri Lanka, etc... L'étude des pollens retrouvés permettrait sans doute de préciser le rôle éventuel de la colonisation indienne en Asie du Sud-Est.

Les palmiers à sucre fournissent tellement de produits et présentent des traits si caractéristiques que l'on peut parler à leur sujet d'un fait de civilisation. L'ancienneté des traditions qui leur est rattachée, la similarité des techniques mises en œuvre pour leur exploitation et l'importance économique qu'ils revêtent pour les hommes permettent d'intégrer les *Borassus* dans le cadre de la civilisation du végétal, puisque le métal n'apparaît que pour l'incision des inflorescences. On constate à l'évidence qu'il existe un complexe culturel du *Borassus* en Asie méridionale, en Asie du Sud-Est et dans le monde insulindien. Les enquêtes menées en Birmanie, en Thaïlande et au Tamilnâdu d'une part (Lubcigt) et d'autre part celles menées en Indonésie (Fox), sont autant de contributions à l'étude, nécessairement pluridisciplinaire, du développement et de l'aire d'extension de ce que l'on peut appeler la civilisation du palmier à sucre.

QUELQUES CHIFFRES (pour un palmier)

Production de sève quotidienne : 3 à 20 litres selon les spécimens
Durée minimum de l'exploitation : 2 mois par an
Teneur de la sève en saccharose : 9 à 16,5 %
Nombre de feuilles par arbre : 25 à 40
Production minimum de feuilles : 10 à 15 par an
Production de sucre après traitement de la sève : 40 à 100 kg par an

LE PALMIER A SUCRE DANS L'ECONOMIE DU TAMILNADU EN 1976

Etat de Tamilnadu : 131 000 km² ; 50 millions d'habitants (1980)
Symbole de l'Etat : palmyra palm (*Borassus flabellifer*)
Nombre total de palmiers *Borassus* : 40 millions
Nombre d'arbres exploités : 11 millions (6 millions pour la sève, 5 millions pour les feuilles, les fibres et autres).
Nombre de personnes vivant officiellement du palmier à sucre : 250 000
Grimpeurs : 116 000 (dont 82 000 pour le seul district de Tirunelveli)
Fabricants de sucre (femmes) : 78 000
Artisanats de la feuille : 28 000
Artisanats de la fibre : 15 000
Commerce de la sève fraîche : 6 000
Divers : 7 000
Total : 250 000

Source : Enquête du 4 mars 1979, district Headquarters of the Federation of Palm Industries and allied products - Tirunelveli (Tamilnadu).

Le *Borassus* est fortement implanté en Asie méridionale et en Asie du Sud-Est. En sanscrit c'est « *tāla* » et en Pāli « *tal* », mots que certaines langues indiennes ont conservé pour le désigner. Les Tamouls, comme les Cambodgiens en ont fait leur arbre national.

Selon B.P. Groslier, le « *thnōt* » apparaît dès le VII^e siècle dans les inscriptions khmères, mais, l'aréquier est mentionné auparavant. Ceci donne à penser que la culture du *Borassus* serait postérieure à celle de l'aréquier, mais Loce (1960), note que l'aréquier est originaire de Malaisie, que les Chinois utilisent le mot malais, et qu'on dit qu'il s'est répandu du delta de l'Irrawaddi vers le Yunnan au début du IX^e siècle.

Il apparaît que la plupart des noms désignant *Borassus* en Asie du Sud-Est sont plus ou moins dérivés du sanscrit, et présentent des analogies linguistiques accréditant une origine indienne.



Kyank Kin Ywa - Le nombre de jarres de sucre est une indication de la richesse des paysans. Les jarres sont devant la porte des maisons (cliché Guy Labeigt).



Mandalay - Le transport du sucre chez les grossistes (cliché Guy Labeigt).

LES DIFFERENTS NOMS DE *BORASSUS FLABELLIFER* L. EN ASIE (1)

INDE

Telugu : *thūdi* (toddy)
Tamoul : *panaimaram*, *panam*, *pani*
Malayalam : *pana*
Cinghalais : *tal-gaha*
Kannada : *tal*, *talé*
Indoustanî (Hindi) : *talukh*, *tār*, *tālā*, *tāl*
Bengali : *tāl*
Marathi : *tād*, *tumāt*
Gujerat : *tad*

INDOCHINE

Vietnam : *cay thôt*, *lot*
Cambodge : *thnōt*
Thaïlande : *tōn tan*, *tanōt*
Birmanie : *tan bin*
Malaisie : *lontar*

INDONESIE

/ILES DE LA SONDE - CELEBES

Sumatra : *pohan siwalant*
Java : *lontar*, *savallen*, *ental*, *tal*
Madura : *ta'al*
Lombok : *tal*
Roti : *tua-hu*
Timor : *tua-hua*, *kali*
Solor : *tuak-pokang*
Suvu : *kepac-duren*, *duwe*
Sumbawa : *ta'a*
Flores : *kori*, *koli*
Ceram : *koli-watan*
Kei : *koli*
Makassar (Célebes) : *tala-jola*
Salayar (Célebes) : *tola*

CHINE

shoo tsō-shoung

EUROPE/AFRIQUE

rônier (français)
Jagerboom (hollandais)
palmeira (portugais)
palmyra palm, toddy, toddy tree, brab-tree (anglais)

(1) Certains mots signifient seulement « palmier » sans désigner de variété. ex : *tālā* en sanscrit et *tua* en malais ; d'autres veulent dire : « boisson fermentée » sans préciser de quel palmier elle provient. ex : *toddy* en hindî.

Molécules interstellaires : le développement en France de l'astronomie en ondes millimétriques

La découverte de molécules interstellaires dans le domaine des ondes millimétriques a considérablement favorisé l'éclosion de nouveaux instruments aux Etats-Unis et en Europe.

En France, l'opération POM* a permis d'obtenir, pour la première fois, des spectres moléculaires millimétriques et d'importants résultats ont été acquis. L'opération POM prépare également les astronomes français à l'utilisation prochaine des instruments de l'Institut franco-allemand de radioastronomie millimétrique (IRAM).

Alain BAUDRY

Molécules interstellaires et astronomie millimétrique

La radioastronomie en ondes millimétriques est une branche nouvelle de l'astronomie contemporaine qui s'est développée rapidement sous l'action stimulatrice de recherches effectuées sur les nuages moléculaires de notre Galaxie. C'est dans les années 1950 et 1960 après l'identification des raies centimétriques de l'atome d'hydrogène et du radical OH que l'on a commencé à explorer à l'aide des ondes radio les propriétés physiques des nuages interstellaires (IS) distribués dans la Galaxie. Jusqu'à cette époque on

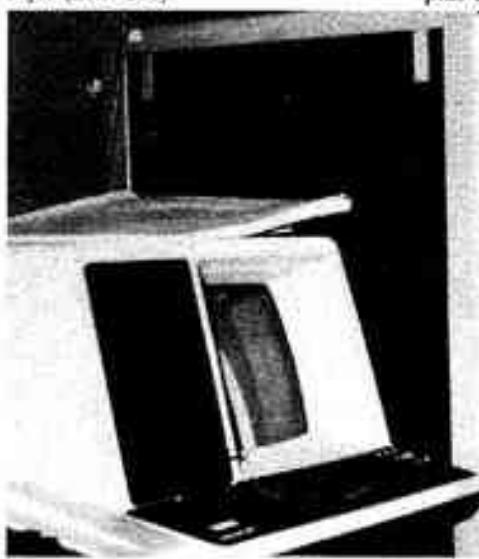
admettait que des molécules comportant plus de deux atomes ne pouvaient pas se former dans un milieu IS peu dense (densité moyenne voisine de 0,5 particule par cm^3 d'après les observations centimétriques). Mais à partir de 1970 environ, date où sont détectées les molécules NH_3 , H_2O et H_2CO , notre compréhension du milieu IS est complètement renouvelée. Ces découvertes basées sur les données de la spectroscopie moléculaire hertzienne n'ont été possibles que grâce à la réalisation de récepteurs hétérodynes sensibles dans la gamme des longueurs d'onde $\lambda = 1$ à 6 cm. Elles ont encouragé, par la suite, le développement des techniques de préparation et de montage de nouveaux diodes détectrices ainsi que la construction d'antennes de grande précision de surface pour l'observation à des longueurs d'onde plus courtes que 1 cm, domaine où aux

températures du milieu IS (10 à 150 K typiquement) (1) on s'attend à ce que de nombreuses transitions de rotation moléculaires soient excitées.

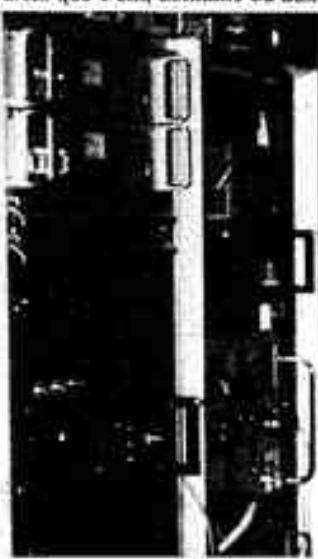
Aujourd'hui, en dépit de l'écran atmosphérique, ce sont environ 60 espèces chimiques différentes qui ont été identifiées dans le gaz IS ou dans les enveloppes d'étoiles évoluées. De nombreuses variétés isotopiques ont aussi été observées. De plus, certaines de ces molécules (OH , H_2O , SiO) émettent un rayonnement du type maser naturel (caractérisé par une raie d'émission très fine et une température de rayonnement élevée).

Les molécules IS sont rassemblées dans de vastes nuages souvent opaques à la lumière stellaire et où l'élément le plus abondant est l'hydrogène moléculaire H_2 indétectable directement dans le domaine radio. La distribution spatiale des molécules est variable selon les espèces : des nuages du monoxyde de carbone sont observés partout dans la Galaxie tandis que certaines chaînes carbonnées, HC_3N , HC_4N , HC_5N ..., ne sont observées que dans les régions les plus denses et les plus opaques du milieu IS. On pense que, en dehors de la molécule H_2 , les réactions de formation font intervenir des ions en phase gazeuse pure. L'ionisation n'est pas due au rayonnement ultra-violet des étoiles chaudes avoisinantes (ce rayonnement est arrêté par de fines poussières mêlées au gaz) mais aux protons des rayons cosmiques qui ionisent l'hydrogène moléculaire lequel réagit rapidement avec d'autres espèces

□ Alain Baudry astronome-adjoint à l'observatoire de Bordeaux est responsable du laboratoire d'astronomie et d'astrophysique (ERA 380).



Vue partielle du pupitre de commande du télescope POM et des baies contenant le spectromètre (filtres analogiques) et les alimentations et télécommandes des oscillateurs à haute et basse fréquence.



* POM : Petites observations moléculaires millimétriques.

(1) Degré Kelvin : unité de température définie par le zéro absolu (0° K = -273,15° Celsius).

moléculaires ou des atomes pour donner des ions ou des molécules neutres. Ici l'harmonisation des connaissances des spectroscopistes et des physico-chimistes est fondamentale pour la recherche de nouvelles espèces moléculaires. Réciproquement l'observation par les radioastronomes de structures spectroscopiques particulières ou de composantes spectrales étroites en fréquence ont permis d'identifier des espèces chimiques instables ou inconnues au laboratoire ; c'est le cas par exemple de C_3N , de HCO^+ ou de HCS^- .

Enfin les nuages moléculaires sont les sites privilégiés où se forment les étoiles ; l'étude des conditions d'excitation des molécules IS permet donc en principe de mieux comprendre les conditions physiques régnant dans les régions proto-stellaires.

Historique de l'opération POM

Dans ce contexte très riche où les développements techniques et les programmes observationnels et théoriques se complètent pour une meilleure compréhension du milieu IS, les radioastronomes français ne sont par restés inactifs. En même temps qu'ils ont développé des calculs théoriques – sur le transfert radiatif notamment – et effectué de nombreuses observations de l'hydrogène atomique ou du radical OH à la station de Nançay et des molécules IS dans les radio-observatoires américains ils ont su développer une instrumentation millimétrique avancée. Dès janvier 1973 un petit interféromètre constitué de deux antennes de 2,5 m et séparées de 64 m permettait d'obtenir à l'observatoire de Bordeaux des franges d'interférence en ondes millimétriques (fig. 1-a). Cet instrument unique en son genre

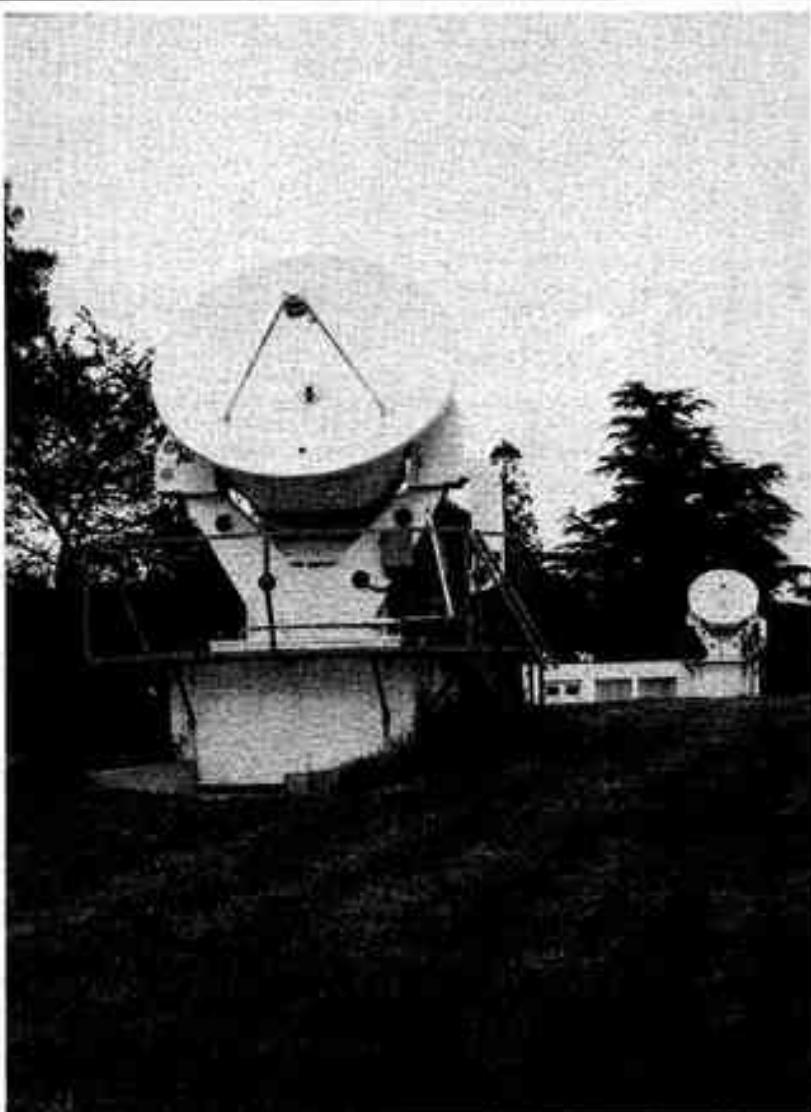


Fig. 1-a. – vue générale de l'interféromètre millimétrique de l'Observatoire de Bordeaux en fonctionnement depuis 1973 pour l'observation des planètes, du soleil et de quelques quasars à la fréquence de 35 GHz. La distance entre antennes est de 64 m. Cet interféromètre a permis de préparer un autre ensemble de trois grandes antennes millimétriques dans le cadre de l'Institut de radioastronomie millimétrique franco-allemand dont le siège est à Grenoble (voir encadré).

re, utilisé essentiellement pour l'observation du soleil, devait préparer la réalisation d'un autre projet plus ambitieux destiné à l'étude des nuages moléculaires. Ce projet, un réseau interférométrique sur ondes millimétriques, combiné avec un autre projet allemand de construction d'un grand radiotélescope a donné naissance, courant 1979, à l'Institut franco-allemand de radioastronomie millimétrique (voir encadré). L'IRAM est actuellement en plein développement et un premier radiotélescope sera vraisemblablement « li-

vré » aux observateurs en 1983.

Toutefois, devant les lenteurs du démarrage de l'IRAM et après fabrication à l'observatoire de Meudon d'un récepteur hétérodyne refroidi à 20 K et fonctionnant autour de 100 GHz, les groupes de radioastronomie millimétrique des observatoires de Bordeaux et de Meudon et de l'Ecole normale supérieure décidaient en 1978 de développer un récepteur spectral capable d'analyser les transitions moléculaires situées dans la gamme de fréquence 75 - 115 GHz. Cette opération, bapti-

sée opération POM ou Petite opération moléculaire millimétrique, utilise l'une des deux antennes de l'interféromètre de Bordeaux (fig. 1-b). Les premiers spectres des molécules IS ont été obtenus dès la fin de l'année 1979. Nos objectifs initiaux étaient de préparer les astronomes français à l'utilisation d'instruments millimétriques et de promouvoir, en attendant les grands instruments de l'IRAM, des recherches sur la structure, la cinématique ou les abondances chimiques des nuages moléculaires. Ces objectifs ont été rapidement atteints grâce à la maîtrise technique de problèmes cruciaux en ondes millimétriques : montage de diodes microscopiques nécessaires au mélange des ondes de haute fréquence ; stabilisation des fréquences d'oscillateurs ; réalisation des spectromètres.

L'INSTITUT DE RADIO-ASTRONOMIE MILLIMÉTRIQUE

Ce projet franco-allemand est l'aboutissement d'études entreprises en France et en Allemagne dans les années 1970 (voir l'article de J. Lequeux dans le Courrier du CNRS n° 34, octobre 1979, p. 47). Les radioastronomes français avaient présenté un projet d'interféromètre millimétrique, tandis que leurs collègues allemands étudiaient un radiotélescope unique de grand diamètre. Le coût de ces projets et leur complémentarité, poussaient à une réalisation commune et, après de longues négociations, l'Institut de radio-astronomie millimétrique (IRAM) fut officiellement créé le 2 avril 1979.

L'Institut a son siège à Grenoble, avec des laboratoires scientifiques et techniques, et comprend deux stations d'observation : l'une dans la Sierra Nevada, en Espagne, abritera une grande antenne de 30 m de diamètre ; l'autre sur le plateau de Bure, dans les Hautes-Alpes, sera équipée d'un interféromètre à trois antennes de 15 m de diamètre, dont l'espace entre elles pourra dépasser le kilomètre. Ces deux instruments, sans équivalent dans le monde, et pouvant travailler à des longueurs d'onde aussi courtes que 1 mm, sont complémentaires : la grande antenne permet la recherche rapide de nouvelles molécules interstellaires, tandis que l'interféromètre est adapté à la cartographie détaillée des régions les plus intéressantes.

Actuellement, la grande antenne est en cours de montage sur le site, et devrait être opérationnelle en 1983. L'interféromètre entrera en service progressivement, de 1984 à 1986. Les locaux de Grenoble sont en construction et seront achevés au cours de l'année 1982.

Le coût total du projet a été évalué à 162 millions de francs (valeur 1977), soit environ 270 millions de francs 1982. L'Institut emploiera 80 personnes dans la phase d'exploitation des instruments.

Aujourd'hui le télescope POM, qui peut être utilisé en mode d'observation totalement automatisée, est mis à la disposition de la communauté astronomique, radioastronomes ou opticiens, sur la base d'une concurrence entre programmes scientifiques jugés par un petit comité. Les recherches effectuées à Bordeaux utilisent au mieux l'originalité du télescope qui allie un faible pouvoir de résolution (4 à 5 minutes d'arc) permettant d'analyser rapidement des régions étendues, et une grande sensibilité du récepteur. Le télescope POM n'a pour l'instant qu'un seul concurrent dans l'hémisphère Nord : le

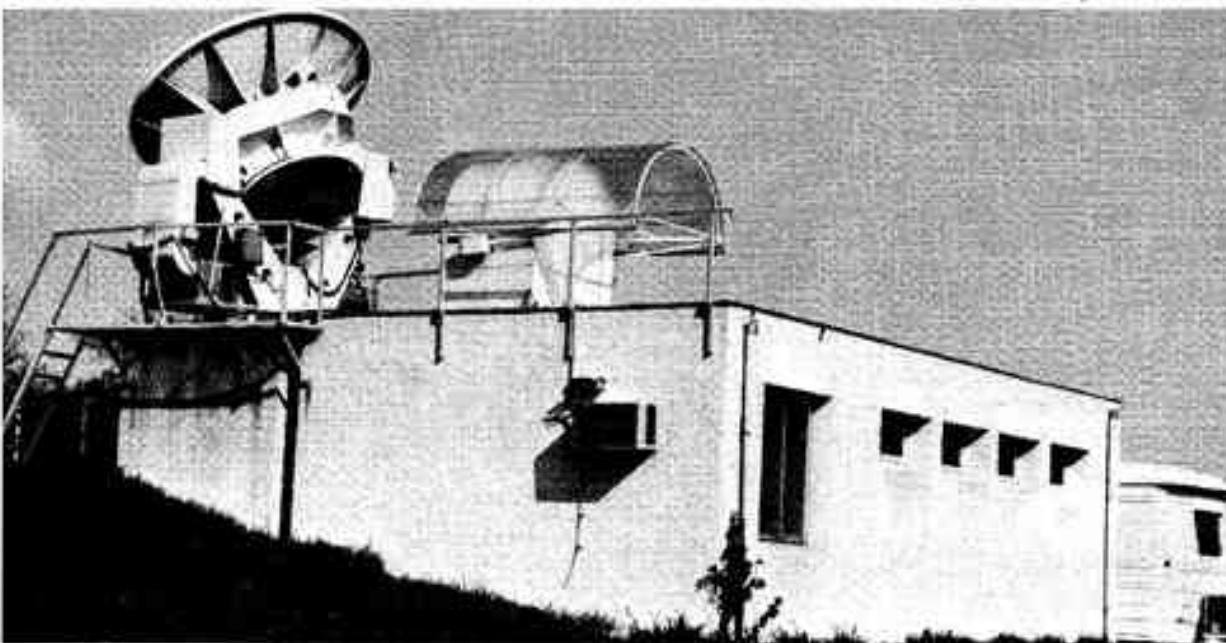


Fig. 1-b - L'une des deux antennes de l'interféromètre de Bordeaux est aussi utilisée pour cartographier entre 75 et 115 GHz des nuages moléculaires distribués dans l'espace interstellaire de notre galaxie. Cette opération - opération POM - est le fruit d'une collaboration entre les groupes de radioastronomie millimétrique des observatoires de Bordeaux et de Meudon et l'Ecole normale supérieure. Le télescope POM a déjà apporté d'importants résultats sur la structure des nuages interstellaires et sur la corrélation des abondances du gaz moléculaire et des poussières absorbant la lumière visible. L'ozonosphère et la mésosphère terrestre sont également étudiées avec ce télescope.

miroir de 1 m de l'Université de Columbia à New-York, spécialisé dans la seule observation du monoxyde de carbone. A Bordeaux les recherches concernent la physique de l'atmosphère - monoxyde de carbone (CO) de la très haute atmosphère terrestre et ozone - et surtout : la cinématique et la structure des nuages neutres associés aux régions ionisées par des amas d'étoiles jeunes, la physique des nuages sombres IS ou encore la structure à grande échelle de notre Galaxie. Les deux derniers types de recherche seront discutés ici pour illustrer les capacités du télescope POM.

Premières observations des nuages sombres situés dans la Constellation du Taureau

Une cartographie des ions et molécules HCO^+ , H^{13}CO^+ , ^{13}CO et C^{18}O , a été effectuée en 1980/1981 dans de nombreux nuages situés entre les étoiles de la constellation du Taureau. Ces nuages situés à 400 années-lumière (2) seulement du système solaire, absorbent fortement la lumière visible des étoiles environnantes (en raison de la présence des poussières) et contiennent de petits globules, révélés par comptage d'étoiles, dont la taille typique est de 3 à 10 min d'arc.

(2) - une année-lumière = 9465×10^9 km.

Ces globules sombres sont détectés dans les raies de l'ion formyl HCO^+ (fig. 2) qui peut donc être utilisé pour délimiter l'étendue totale des régions absorbantes. L'ion HCO^+ de fort moment dipolaire (4 Debye environ) est en fait un bon traceur des régions les plus denses des nuages IS : HCO^+ est excité par collision avec H_2 dans des régions où la densité totale approche ou excède 10^4 particules par cm^3 .

Quant au monoxyde de carbone, de faible moment dipolaire (0.1 Debye environ) il fournit des informations sur la température cinétique du milieu, voisine ici de 10 K seulement, et sur la densité projetée le long de la ligne de visée ; cette densité est de l'ordre de $4-10 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ pour la molécule C^{18}O .

La faiblesse des signaux détectés et les rapports d'intensité mesurés en HCO^+ et H^{13}CO^+ sont compatibles avec un modèle où les globules sombres composés d'un noyau central dense (environ 10^4 H_2 par cm^{-3}) sont entourés d'une composante diffuse où HCO^+ pourrait être 100 fois moins abondant que dans le noyau. Les rapports d'intensité observés pour ^{13}CO et C^{18}O indiquent une tendance à l'enrichissement par fractionnement chimique de l'isotope ^{13}C du monoxyde de carbone. L'ensemble de nos mesures donnent encore pour la région du Taureau les abondances relatives de $(\text{HCO}^+/\text{H}_2) = 5 \times 10^{-8}$ et $\text{CO}/\text{H}_2 = 10^{-3}$ pour les noyaux

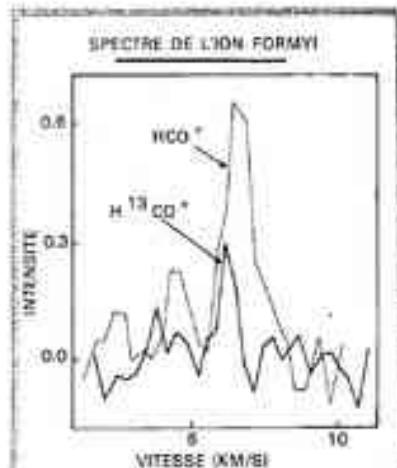
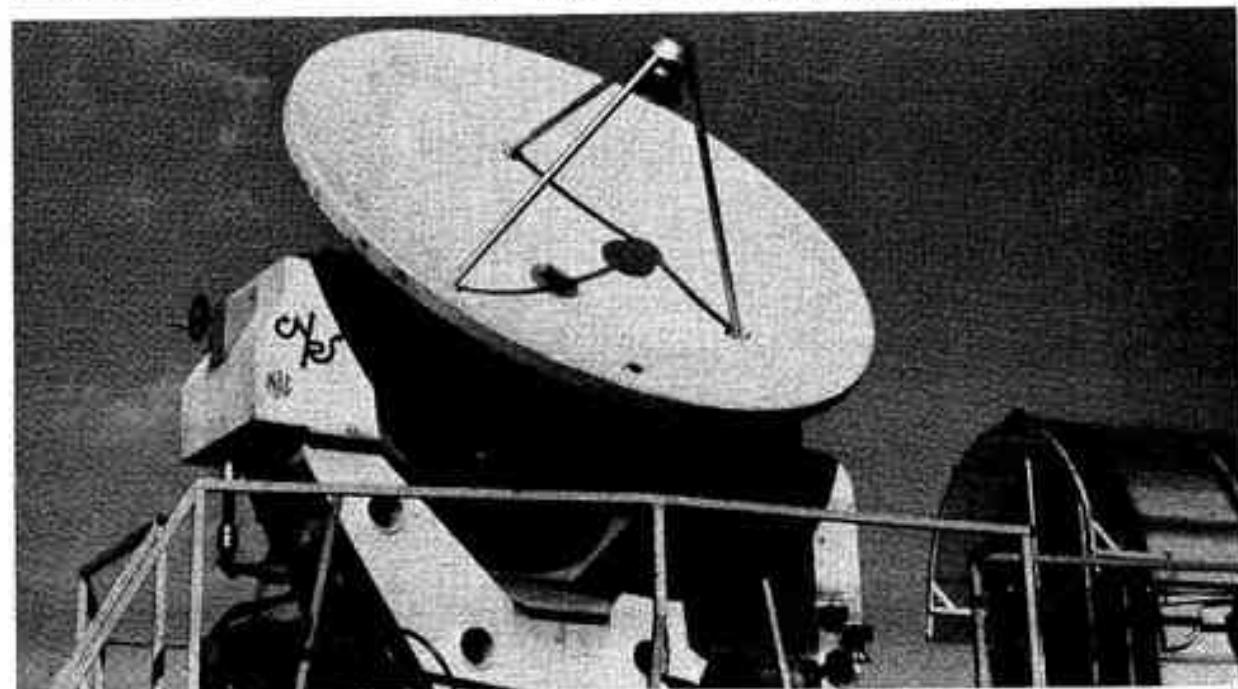


Fig. 2. - Exemple de spectres de deux isotopes de l'ion formyl (instables au laboratoire) observés dans une direction particulière de la constellation du Taureau. La cartographie en HCO^+ et les comptages d'étoiles permettent de déterminer l'étendue totale (3 à 10 minutes d'arc) des régions froides, absorbant la lumière des étoiles environnantes et contenant peut-être des systèmes proto-stellaires. Ces spectres s'interprètent selon un modèle comportant un noyau dense entouré d'un nuage diffus. On a porté en abscisse la vitesse radiale des nuages visés par rapport à l'observateur terrestre, v , au lieu de la fréquence. Le décalage des raies par rapport à la fréquence au repos, Δf , est donné par (effet Doppler-Fizeau) : $\Delta f/c = -v/c$ où $c = 300\,000 \text{ km/s}$. La mesure de $\Delta f/c$ permet de déterminer v c'est-à-dire de préciser la dynamique des régions observées. La largeur intrinsèque des raies correspond à des mouvements turbulents et/ou à des mouvements systématiques du gaz à l'intérieur des nuages.



Télescope POM équipé de subréflecteur (système Cassegrain) permettant une focalisation à l'arrière de la parabole où est situé le récepteur millimétrique refroidi à 20 K.

denses) abondances que l'on peut alors comparer à celles des théories actuelles de formation moléculaire.

Une sélection de nuages répartis dans des filaments absorbants dont la taille totale est d'environ 35 années-lumière a permis d'analyser à partir de nos observations et de données obtenues aux Etats-Unis la dispersion des vitesses des nuages situés sur la ligne de visée. Une partie au moins des observations peut être interprétée par la collision de deux « gros-nuages » dont la différence de vitesse est de 3 km/s environ. Si la collision s'est produite il y a environ 10^6 ans - l'âge des étoiles jeunes observées dans la constellation du Taureau - alors la collision des deux gros nuages est à peine amorcée et nous assisterions aujourd'hui à la condensation des fragments et globules d'où émergeront de nouvelles étoiles.

Investigation de la structure à grande échelle de la galaxie à l'aide de la molécule ^{13}CO .

La découverte en 1951 de la transition à 21 cm de l'atome d'hydrogène a permis d'explorer la structure à grande échelle du gaz atomique de la Galaxie. Les cartographies à $\lambda=21$ cm ont révélé la présence de bras spiraux semblables à ceux observés sur les photographies de galaxies extérieures (fig. 3). La position relative des bras a été déterminée par la mesure des vitesses. La galaxie ne tournant pas comme un corps rigide, les nuages situés dans une direction d'observation donnée peuvent soit se rapprocher soit s'éloigner de nous. De la mesure du décalage par effet Doppler de la fréquence d'émission de l'hydrogène on déduit la vitesse des nuages, la loi de rotation générale et donc les distances.

L'exploration à grande échelle des nuages froids contenant l'hydrogène sous forme moléculaire H_2 est encore peu avancée. Or la détection des molécules H_2 est indispensable pour préciser la physique des régions froides où se forment les étoiles et pour estimer la masse totale du gaz IS qui, comparée à la masse des étoiles, donne des informations sur le taux de formation stellaire. Mais la détection de H_2 est particulièrement délicate puisque cette molécule n'est aisément observable que par ses transitions ultraviolettes en absorption devant le rayonnement continu de quelques étoiles chaudes

seulement. La solution de ce problème est donnée par l'observation des transitions moléculaires millimétriques. Ces transitions, excitées lors des collisions avec le composant majoritaire H_2 , permettent de cartographier l'étendue des nuages H_2 . C'est dans ce but que la molécule ^{13}CO « universellement » excitée en raison de son faible moment dipolaire a été observée dans de très nombreuses directions de la Galaxie.

La cinématique à grande échelle de la Galaxie révélée par détection de CO est très proche de celle révélée par détection du gaz à $\lambda=21$ cm mais la distribution du gaz H_2 et H dans le plan galactique semble très différente. Les nuages H baignent dans un milieu internumé diffus tandis que les observations CO mettent en évidence le

concept de nuages individuels. Les données CO actuelles ne permettent pas de savoir si cette molécule est un meilleur traceur de la structure spirale de la Galaxie que l'hydrogène atomique. Les premières observations ont mis en évidence des nuages distribués plus ou moins uniformément tandis que des observations récentes effectuées par le groupe de l'université de Columbia tendent à dessiner des bras spiraux comme pour l'hydrogène atomique. En fait l'utilisation de la raie de CO est délicate parce que cette raie est optiquement épaisse. Elle ne permet donc pas de déterminer les densités ; de plus l'élargissement de la raie CO facilite le recouvrement spectral des contributions des nuages individuels situés sur une même ligne de visée (effet « d'ombre » mélangeant les composan-

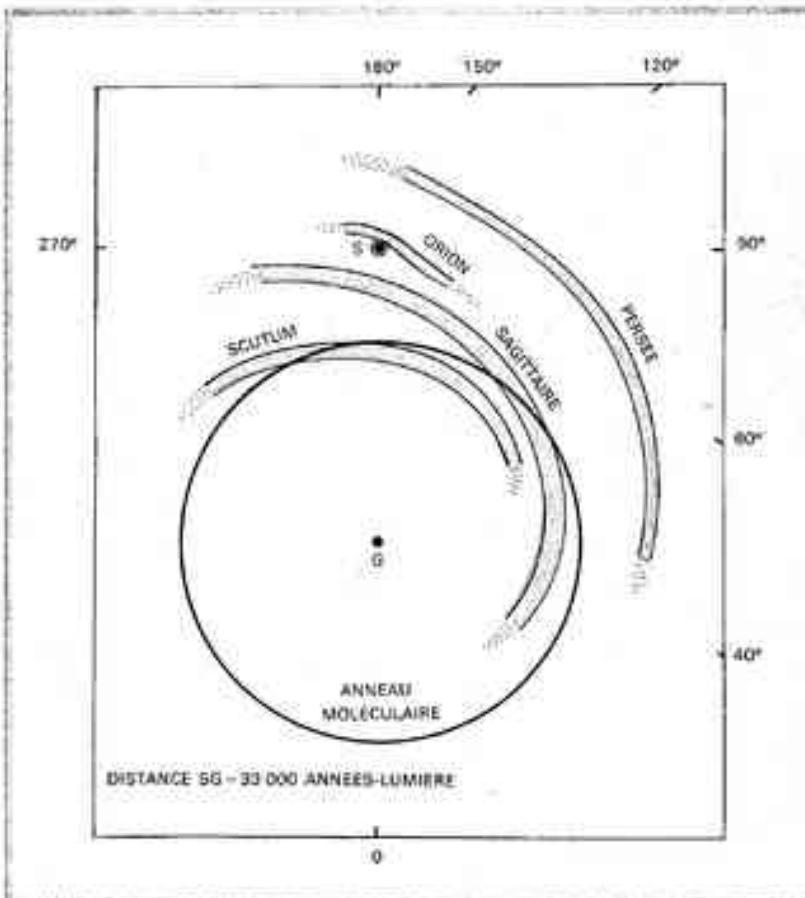


Fig. 3. - Représentation schématique des bras spiraux de la Galaxie où est rassemblée la majeure partie de l'hydrogène atomique détecté par sa raie de structure hyperfine à $\lambda=21$ cm. Seuls les bras bien identifiables depuis l'hémisphère Nord sont représentés. Les longitudes galactiques comptées à partir du système solaire, point S, sont indiquées sur le pourtour de la figure. Le point G marque le centre de la Galaxie à la longitude zéro. Le cercle centré en G symbolise l'anneau dans lequel on trouve l'essentiel des nuages moléculaires CO. L'épaisseur de cet anneau quoique encore mal connue est vraisemblablement deux fois moins grande que celle du disque d'hydrogène atomique. Les secteurs en couleur indiquent les régions actuellement cartographiées avec le télescope POM dans la raie de l'isotope rare ^{13}CO . Dans ces régions contenant relativement moins de matière IS le rôle joué par les nuages moléculaires dans la structure en bras spiraux devrait être élucidé.

tes de vitesse pour former de « gros nuages apparents».

C'est pour contourner ces difficultés que l'on utilise la raie optiquement mince de l'isotope ^{13}C du monoxyde de carbone. Un exemple des résultats obtenus autour des longitudes galactiques comprises entre 40° et 60° et à la latitude de 0° est donné sur la fig. 4. Cette région est particulièrement intéressante puisqu'elle contient des zones à la fois riches et presque vides de gaz IS. Dans le deuxième quadrant galactique (longitudes supérieures à 90°) plusieurs régions à l'intérieur du bras d'Orion et du bras de Persée (voir fig.

3) ont déjà été cartographiées. Dans ce quadrant où la matière IS devient plus rare les bras spiraux ne sont pas nécessairement identifiables à la même latitude galactique et un échantillonnage serré en latitude devient nécessaire. Nos premiers résultats indiquent que les maxima d'intensité en ^{13}CO ne coïncident pas avec ceux de CO, ce qui s'explique immédiatement par des différences d'opacité.

L'étude à grande échelle de la Galaxie en ^{13}CO est particulièrement difficile. Elle réclame : une grande sensibilité (^{13}CO moins abondant que CO ; zones vides de matière) ; beau-

coup de temps d'observation (échantillonnage du plan et de l'épaisseur de la Galaxie toutes les 8 minutes d'arc environ) ; une grande stabilité du récepteur sur une bande de fréquence étendue (plusieurs dizaines de megahertz pour analyser les contributions de vitesse de tous les nuages sur la ligne de visée).

Mais seules les observations ^{13}CO permettront de mieux préciser la distribution des masses et des vitesses des nuages individuels et finalement de tester le rôle joué par les bras spiraux dans la formation et la durée de vie des nuages moléculaires.

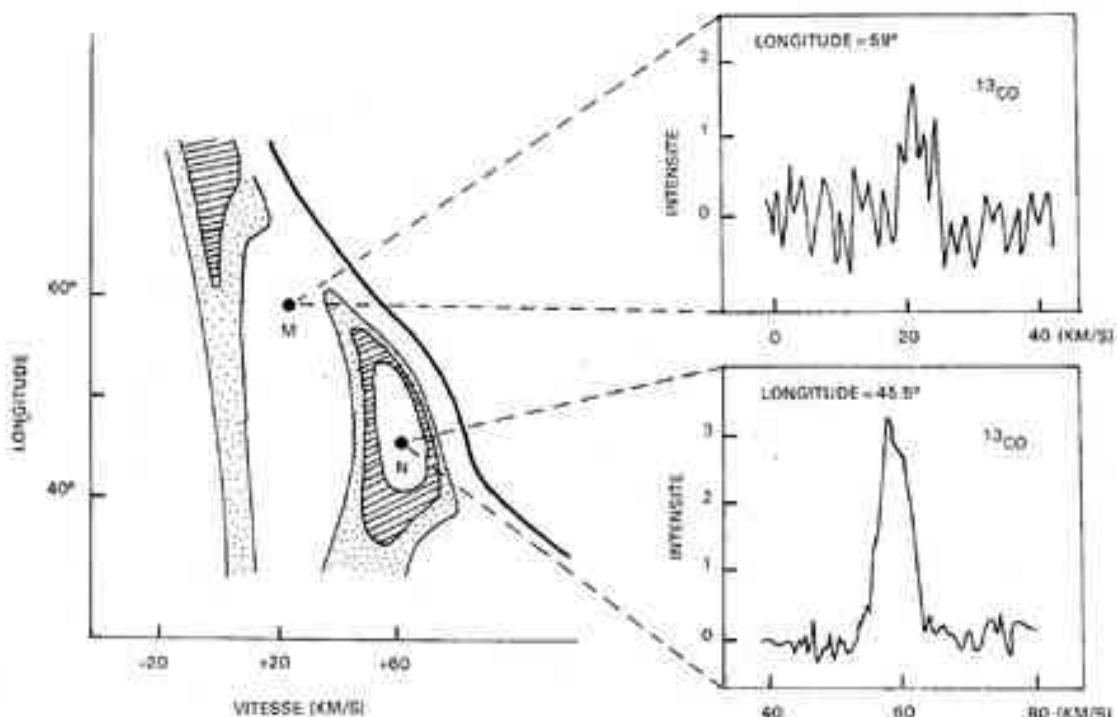


Fig. 4. — La partie gauche représente la distribution de l'hydrogène galactique selon un modèle dû à Burton rendant bien compte des observations de l'hydrogène atomique à $\lambda = 21$ cm dans le bras spiral du Sagittaire. La région en couleur contient plus de matière que les régions hachurées et en pointillés ; les zones blanches indiquent peu ou pas de matière.

Les spectres obtenus dans la raie ^{13}CO aux points M et N avec le télescope POM en 10 à 15 min d'intégration seulement suggèrent une distribution similaire du gaz moléculaire et du gaz atomique puisque l'intensité en M est moins forte qu'en N. Ce type de résultat n'est pas toujours vérifié dans de nombreuses directions de la Galaxie. L'intensité relative des spectres permet d'étudier le contraste de la distribution du gaz dans la direction des bras spiraux et entre ces bras. On a porté en abscisse la vitesse radiale.

Programme interdisciplinaire de recherches sur les sciences pour l'énergie et les matières premières (PIRSEM)

La direction du CNRS a décidé d'élargir les activités du PIRDES en créant le PIRSEM dont les objectifs dépassent l'énergie solaire et concernent la recherche sur les sciences pour l'énergie et les matières premières dans leur ensemble. Mais l'énergie solaire ne sera pas oubliée du CNRS !

Le groupe de direction du PIRSEM

De nombreuses recherches concernant la production, la transformation et l'utilisation de l'énergie ont été menées dans tous les secteurs scientifiques du CNRS depuis sa création. En 1975, l'intérêt suscité par l'utilisation de l'énergie solaire a conduit la direction du CNRS, sous l'impulsion de Robert Chabbal, à créer le programme interdisciplinaire de recherche pour le développement de l'énergie solaire, afin d'animer et de coordonner les recherches concernant cette énergie. Cinq années d'activités du PIRDES, placé sous la direction de Michel Rodot, ont montré l'intérêt et l'efficacité de cette forme d'organisation de la recherche, qui a permis tout à la fois la continuité du financement des laboratoires et une évolution progressive des axes de recherche en fonction des résultats acquis. (1)

La création du Commissariat à l'énergie solaire (COMES) en 1978 a entraîné le transfert de la charge de l'exécution des grands prototypes à divers maîtres d'ouvrages sous le parrainage de cette agence d'objectifs, le choix et l'exécution de l'expérimentation à caractère scientifique restant bien entendu du ressort du PIRDES. Cette évolution a permis de dégager des moyens au profit de recherches plus en amont. La recherche, animée par le PIRDES, est donc toujours très active et ses axes de développement actuels sont la conversion photovoltaïque, la bioconversion directe, la conversion de la biomasse et les sciences thermiques en amont de l'énergie dans l'habitat.

1 MM. Claverie, directeur, Gravelle, directeur-adjoint, Rochot, secrétaire général, Deflandre, conseiller scientifique pour l'énergie solaire, Equer, Mme Etienne, Pharabod, Rivet, Steinmetz, chargés de mission.

L'expérience du PIRDES apparaissant positive, la direction du CNRS a décidé son extension à la recherche sur les sciences pour l'énergie et les matières premières dans leur ensemble. Cette décision répond à plusieurs préoccupations :

- reconnaître l'existence de recherches au CNRS sur d'autres formes d'énergie que l'énergie solaire et promouvoir le développement de ces recherches,
- mettre en pratique la priorité affichée par le ministre d'Etat, ministre de la recherche et de la technologie, en ce qui concerne l'utilisation rationnelle de l'énergie et les énergies renouvelables,
- améliorer le cadre de travail du PIRDES en assurant des liaisons plus faciles entre les recherches portant sur l'énergie solaire et celles relatives aux économies d'énergie et aux stratégies d'utilisation d'énergies multiples,
- profiter de l'expérience du PIRDES en matière d'animation et de gestion d'un programme pour aborder un domaine scientifique et technique très large.

Après cette décision de principe de la direction, les responsables du PIRDES se sont employés à préciser le contenu scientifique et l'organisation du futur programme. Ce travail a naturellement trouvé sa place dans la préparation du Colloque national de la recherche scientifique et de la technolo-

gie, notamment à travers la tenue de réunions de concertation avec les représentants du comité national et des secteurs scientifiques.

Le comité scientifique et le conseil d'administration ayant donné un avis favorable, le directeur général a décidé de créer, à compter du 1er janvier 1982, le programme interdisciplinaire de recherches sur les sciences pour l'énergie et les matières premières (PIRSEM), qui reprend en les élargissant les missions du PIRDES.

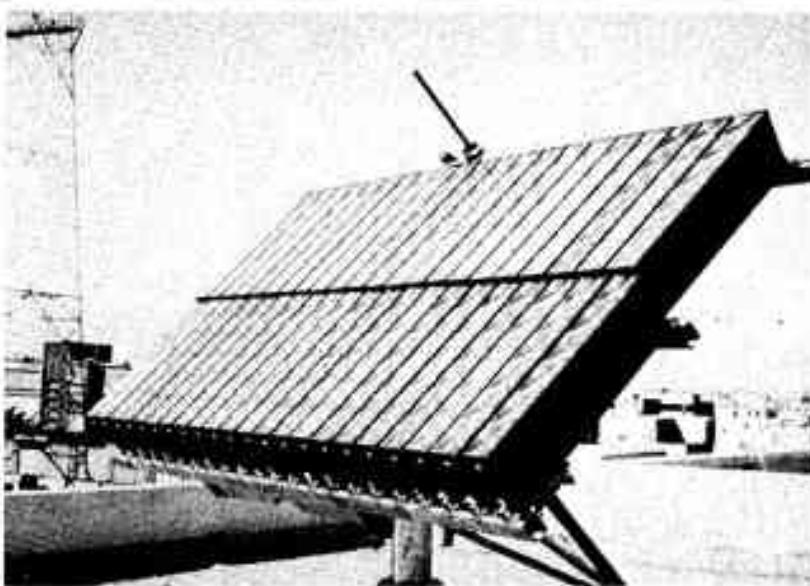
Objectifs du programme

Le but du programme est de développer, au CNRS et dans les laboratoires associés des universités, les recherches sur les sciences dont l'avancement peut être bénéfique à la résolution des problèmes d'énergie et de matières premières qui se posent à l'humanité et plus particulièrement à la France. Le programme doit concilier l'orientation des recherches qui doivent déboucher à terme vers la satisfaction des besoins du secteur économique et social, et leur qualité qui doit être conforme à la vocation du CNRS. La manière qui est proposée pour résoudre ce problème est de viser le moyen et le long terme à travers une prospective des besoins du secteur économique et

BUDGET 1982

Le financement du PIRSEM sera assuré en 1982 par :

- le budget du CNRS pour 9,6 MF,
- un contrat de programme de la DGRST pour 6 MF,
- la convention annuelle entre le COMES et le CNRS d'un montant de l'ordre de 20 MF.



SOPHOCLE 500 watts en Arabie Saoudite. Des lentilles de Fresnel concentrent l'énergie solaire sur des photovoltaïques au silicium. L'étude du bac concentrateur et de l'orienteur a été menée par le LAAS de Toulouse en liaison avec les sociétés Soterem et Aérospatiale.

STRUCTURES DU PROGRAMME

Les différentes fonctions du programme sont prises en charge par le conseil scientifique du programme, et par le groupe de direction du programme.

• Le conseil scientifique du PIRSEM

Le conseil scientifique du programme est constitué des personnes suivantes : un représentant du comité scientifique du CNRS, les représentants désignés par les sections du comité national de la recherche scientifique intéressées par le programme, les directeurs scientifiques du CNRS ou leurs remplaçants, des personnalités extérieures au CNRS représentant les administrations, les producteurs d'énergie et le milieu industriel.

Le conseil scientifique a pour responsabilité l'orientation et l'évaluation de la recherche dans le domaine de l'énergie et des matières premières au CNRS. Il examine en particulier le schéma directeur, le programme d'actions initiatives et les différents compte-rendus d'activité.

Compte tenu de la diversité des recherches animées par le PIRSEM, le conseil scientifique pourra constituer des groupes sectoriels, qui auront en particulier pour mission d'assurer la cohérence des actions du programme avec la politique de la direction scientifique et du comité national en ce qui concerne les recherches relevant du secteur.

• Le groupe de direction

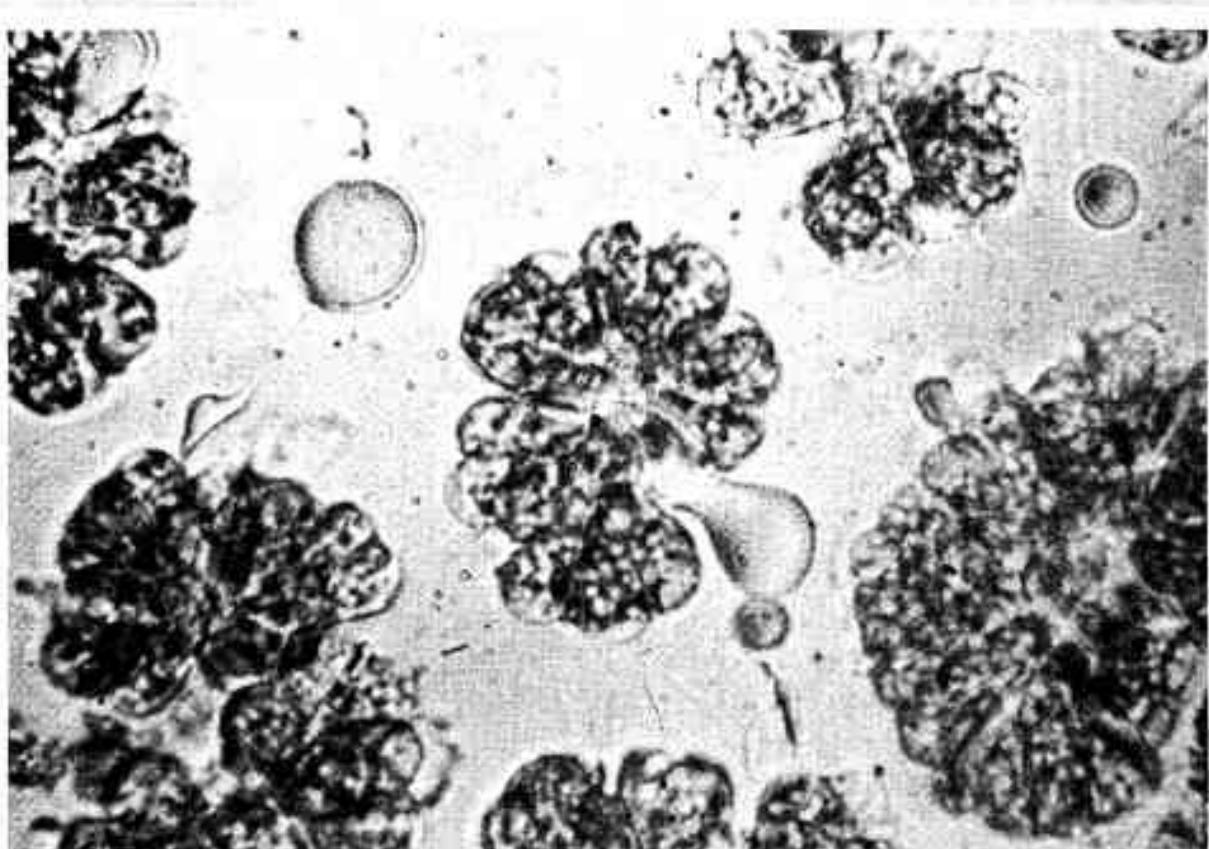
Le groupe réunit, autour du directeur et du directeur-adjoint, des chargés de mission sectoriels (à temps plein ou partiel) dont le rôle est d'assurer la programmation, la gestion scientifique et l'animation de la recherche, ainsi qu'un secrétaire général qui a la responsabilité de la gestion administrative du programme.

de ne pas hésiter à faire porter la recherche sur les aspects les plus fondamentaux en amont des applications envisagées. La recherche « orientée », qui sera le plus souvent menée dans le cadre du programme, consiste en une approche scientifique des phénomènes de base, qui s'apparente à la recherche fondamentale par ses méthodes et sa qualité intellectuelle, mais qui s'en éloigne par le choix orienté vers l'application (et non seulement par la logique propre de la recherche) des phénomènes, des matériaux ou des êtres vivants, objet de la recherche.

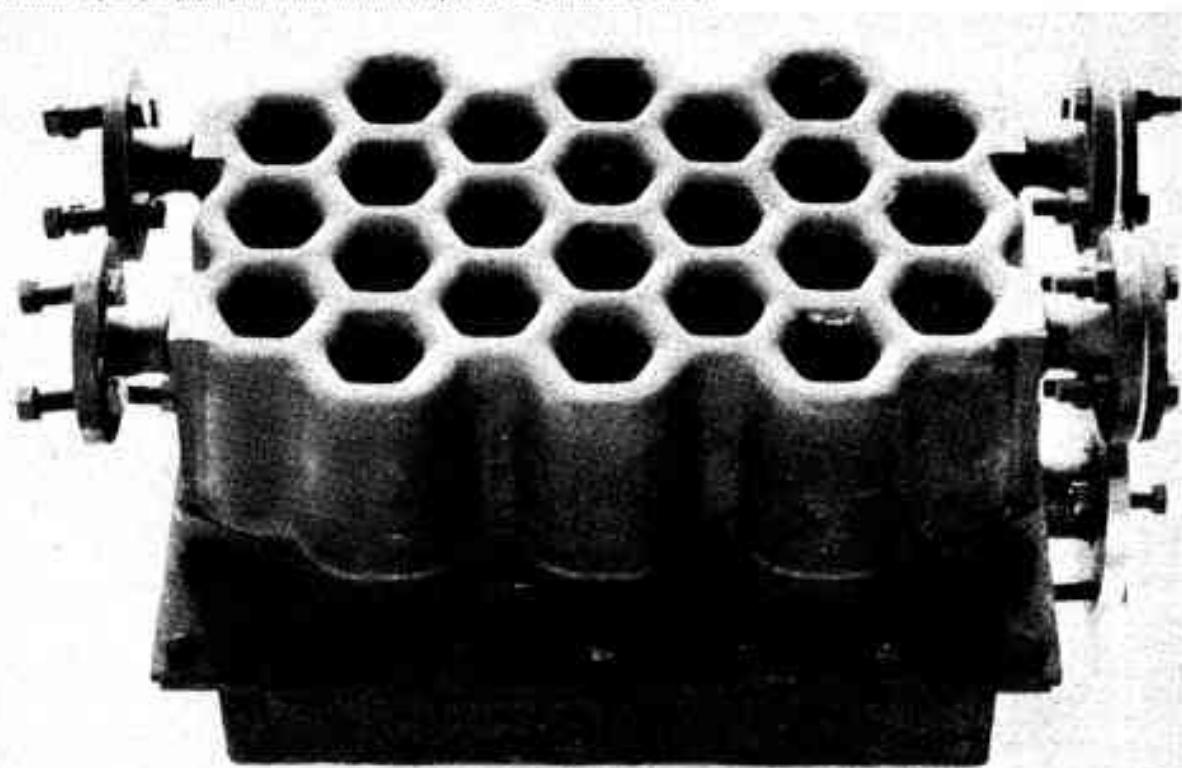
Cette visée à long terme utilisera ainsi au mieux le potentiel intellectuel du CNRS et l'on aura les meilleures chances pour, dans cinq, dix ans ou plus, trouver les résultats de la recherche au rendez-vous des besoins du secteur économique et éviter un pilotage par l'avant à court terme qui se révélerait, de toute manière, inefficace. Cette approche met en évidence l'importance des actions de prospective des besoins que le programme doit mener par des contacts étroits avec les administrations, les organismes de recherche technique et le secteur économique concerné. Cette prévision des besoins est à rapprocher en permanence d'une évaluation de l'état d'avancement et d'une prospective de la recherche elle-même.

En outre, l'action d'un programme interdisciplinaire de recherche, gérée par le CNRS lui-même, avec la participa-

(1) L'équipe de direction du PIRDES a présenté en juin 1979 dans le Courrier du CNRS « L'énergie solaire : une recherche active, un pari raisonnable », l'état du programme qui regroupait des travaux de recherche fondamentale et appliquée, et des actions d'étude et de développement de prototypes (centrale THEMIS, projets THEK, SIROCCO, SOPHOCLE, etc.).



Les micro-algues du type *botryococcus* possèdent un enzyme capable d'orienter la photosynthèse vers l'élaboration de molécules de la classe des hydrocarbures. Celles-ci sont expulsées sous forme de globules. Les rendements peuvent atteindre 8,5 t/ha-an (Laboratoire de chimie organique physique, Ecole nationale supérieure de chimie de Paris).



Module d'épreuve de 0,35 m² de la chaudière à gaz de l'expérience Sirocco. Les alvéoles soumises au flux solaire concentré sont refroidies par des jets d'air sur leur face interne. Le gaz, porté à une température supérieure à 800° C sera ensuite détendu dans une turbine. (Photo Guy Aygalenq, LES, CNRS, Poitiers).

tion des instances représentant la communauté scientifique, permet de développer les recherches sur les axes prioritaires tout en évitant les conséquences d'un financement contractuel autoritaire : création de hors-statut, absence d'évaluation de la recherche, parapasserie inutiles, etc... Enfin, le transfert du résultat des recherches vers le

secteur aval doit être organisé de manière à limiter la charge de travail inévitable qu'elle impose aux équipes de recherche. Le programme doit s'efforcer, en liaison avec la direction des relations extérieures, de créer, d'une manière précoce, des liens entre les équipes de recherche, d'une part, et les centres techniques et les laboratoires de

développement publics et privés, d'autre part, afin de faciliter ce transfert.

Domaines d'action

Le CNRS mène des recherches relatives à presque toutes les formes d'énergie, à leur production et à leur utilisation ainsi que des recherches sur la détection et le traitement des ressources en matières premières. L'exception notable concerne les réacteurs à fission nucléaire, pour lesquels le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) assure les recherches en amont. La participation du CNRS est limitée aux études sur la géologie de l'uranium et à des recherches ponctuelles concernant la thermique et la sécurité.

L'importance qui sera respectivement donnée aux différentes recherches reflètera les priorités énergétiques nationales. Elles comprennent :

- le développement des énergies nouvelles en particulier de l'énergie solaire (conversion photovoltaïque, photochimie et bioconversion directe, production de chaleur pour les processus industriels, conversion thermodynamique, production de biomasse à finalités énergétiques, conversion de la biomasse en carburants – méthane, alcools –);
- Economies d'énergie et utilisation rationnelle de l'énergie : Problèmes thermiques de l'habitat (bases scientifiques (convection naturelle, modélisation, automatique et analyse des systèmes), composants et systèmes solaires, propriétés thermiques et thermo-optiques des matériaux du bâtiment, stockage thermique). Processus thermiques dans les systèmes énergétiques industriels (combustion, réactions chimiques dans les écoulements, écoulements diphasiques, analyse des systèmes thermiques industriels).
- Épargne d'énergie et utilisation de l'électricité en chimie (génie chimique, électrochimie, application des techniques biologiques).
- Economie des matières premières et valorisation des matériaux : Traitement des minéraux à faible teneur et des déchets industriels.
- Sciences économiques et sociales appliquées aux problèmes énergétiques : Insertion socio-économique des énergies renouvelables.
- Droit de l'utilisation des énergies renouvelables.
- Etudes de sociologie sur l'opinion, l'information et les énergies nouvelles.

PROGRAMME SCIENTIFIQUE

Le programme d'actions d'incitation proposé en 1982 ne recouvre pas totalement les recherches sur l'énergie et les matières premières menées au CNRS. Il vise des domaines pour lesquels un développement des recherches est souhaité, ou pour lesquels l'approche interdisciplinaire apporte une plus-value.

• Energies fossiles :

Fracturation des roches (pétrole, gazéification du charbon, géothermie).

Récupération assistée du pétrole (par émulsions).

Evolution de l'industrie du raffinage des pétroles : emploi des pétroles lourds, besoin accru en produits légers – (connaissance des coupes lourdes, développement de catalyseurs).

Production de combustibles fluides à partir du charbon (méthane, alcools, hydrocarbures).

• Energies renouvelables :

Géothermie des roches sèches.

Énergie solaire (conversion photovoltaïque, photochimie et bioconversion directe, production de chaleur pour les processus industriels, conversion thermodynamique, production de biomasse à finalités énergétiques, conversion de la biomasse en carburants – méthane, alcools –).

• Economies d'énergie et utilisation rationnelle de l'énergie :

Problèmes thermiques de l'habitat (bases scientifiques (convection naturelle, modélisation, automatique et analyse des systèmes), composants et systèmes solaires, propriétés thermiques et thermo-optiques des matériaux du bâtiment, stockage thermique).

Processus thermiques dans les systèmes énergétiques industriels (combustion, réactions chimiques dans les écoulements, écoulements diphasiques, analyse des systèmes thermiques industriels).

Épargne d'énergie et utilisation de l'électricité en chimie (génie chimique, électrochimie, application des techniques biologiques).

• Economie des matières premières et valorisation des matériaux :

Traitement des minéraux à faible teneur et des déchets industriels.

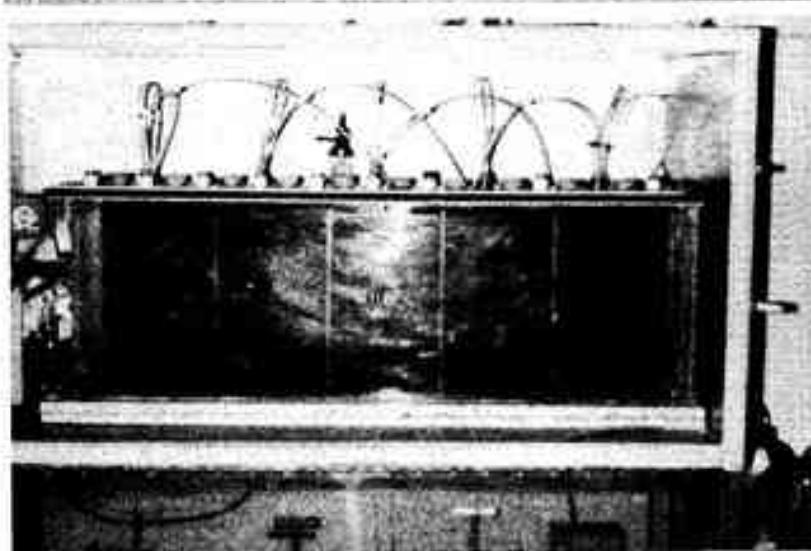
• Sciences économiques et sociales appliquées aux problèmes énergétiques :

Insertion socio-économique des énergies renouvelables.

Droit de l'utilisation des énergies renouvelables.

Etudes de sociologie sur l'opinion, l'information et les énergies nouvelles.

En vue des actions d'incitation des années suivantes, le PIRSEM envisage de mener des actions de prospective, en particulier sur les problèmes d'énergie dans les transports et sur l'électrotechnique.



Essais de méthanisation de divers déchets agricoles ligno-cellulotiques (Laboratoire de chimie bactérienne, Marseille).

Outre les priorités nationales, le programme retiendra, comme critère de choix de ses actions d'incitation, l'opportunité de son intervention. Une recherche déjà en cours dans le cadre d'un secteur scientifique n'appelle pas forcément une action d'incitation du programme. Par contre, le programme s'efforcera de tirer profit de son approche pluridisciplinaire et de sa vocation à mener des actions de prospective permettant de donner plus de cohérence et de clarté à des ensembles de recherches dispersées. Une telle approche pourrait être retenue en ce qui concerne les économies d'énergie dans les transports et l'utilisation rationnelle de l'électricité.

Méthodes d'actions

Les méthodes envisagées sont largement inspirées des méthodes mises en œuvre par le PIRDES. Toutefois, l'existence préalable à la création du programme d'importantes recherches sur l'énergie et les matières premières, dont beaucoup reçoivent un financement extérieur, conduit à mieux séparer les actions d'inventaire et de bilan, et les actions d'incitation qui se confondent sensiblement en ce qui concerne le PIRDES.

Les actions envisagées relèvent des catégories suivantes :

- inventaire, évaluation et compte-rendu : d'une manière générale, le programme se tiendra informé de l'ensemble des recherches menées au CNRS concernant le domaine de l'énergie. Cette information sera diffusée par la voie d'un compte-rendu annuel des actions de recherche faisant l'objet du programme d'incitation, par la publication périodique d'un inventaire des recherches concernant l'énergie et les matières premières au CNRS et par la participation du PIRSEM au compte-rendu d'activité annuel du CNRS.
- animation scientifique : l'expérience du PIRDES a montré le rôle dynamisant que pouvait jouer le programme par l'organisation de colloques et journées d'études visant à faire le bilan des actions thématiques programmées en cours, ou à orienter les recherches futures.

- actions d'incitation : elles visent à accroître le potentiel humain et matériel consacré aux recherches sur l'énergie et les matières premières, et à promouvoir les thèmes prioritaires. Une

première forme d'incitation a été citée dans le cadre de l'animation scientifique : elle résulte de la circulation accrue de l'information et du contact entre les hommes. L'un des buts du programme est de créer une communauté scientifique vivante capable d'attirer de nouveaux participants de valeur en suscitant leur intérêt scientifique pour les problèmes posés. Une seconde forme d'incitation est le financement spécifique des recherches répondant aux objectifs du programme. Le programme disposera de crédits d'incitation provenant du budget du CNRS, d'une convention annuelle du COMES, en ce qui concerne l'énergie solaire, et de certaines subventions d'autres organismes. Ces crédits seront distribués suivant les procédures suivantes : actions thématiques programmées avec appel d'offres ouvert ou restreint ; actions spécifiques attribuées à des laboratoires ou plus souvent des groupements (GRECO, GIS) présentant un programme précis de recherche ; soutien à l'équipement et au fonctionnement des nouveaux laboratoires (cas particulier de l'énergie solaire). Une troisième forme correspond à l'affectation aux équipes de recherches de boursiers préparant des thèses de docteur-ingénieur et exceptionnellement de postes d'ingénieurs, de techniciens ou d'administratifs (ITA), qui sont ensuite gérés par les secteurs scientifiques.

Relations avec les secteurs scientifiques et le comité national

L'organisation de base du CNRS est celle des secteurs sci-

tifiques regroupant les laboratoires et les équipes d'une grande discipline scientifique et placés sous l'autorité d'un directeur scientifique. La création de programmes interdisciplinaires de recherche ne remet pas en cause cette organisation, car ils n'ont pas de formations de recherche, ou de personnel en propre. Le rôle du PIRSEM ne peut donc être que consultatif en ce qui concerne la vie des formations et la carrière des chercheurs. Cependant les liaisons du programme avec les directeurs scientifiques apparaissent essentielles et chacun des charges de mission du PIRSEM sera spécialement chargé de maintenir le contact avec un secteur scientifique.

Les relations avec le comité national de la recherche scientifique doivent faire l'objet d'une attention particulière. Il faut en effet réaliser, vis-à-vis du comité national, la transparence totale des activités du programme, afin que celles-ci qui sont des activités de recherche du CNRS à part entière, soient reconnues comme telles et que les chercheurs qui les mènent soient évalués à leur juste niveau. Il faut également que le programme profite des avis d'évaluation et d'orientation de la recherche que le comité national peut émettre concernant son domaine d'activités. Dans ce but, l'idée nouvelle qui sera mise en œuvre au PIRSEM est de faire participer au conseil scientifique du programme, un représentant de chaque section concernée du comité national. Ces représentants feront valoir dans ce conseil le point de vue des chercheurs de la discipline et, inversement, transmettront à la section du comité national les objectifs et les priorités du programme.

La création du PIRSEM répond à la nécessité de promouvoir et d'organiser au CNRS les recherches concernant l'énergie et les matières premières, pour lui permettre d'apporter sa part à un programme national de recherche essentiel pour l'avenir de notre pays et reconnu prioritaire par le Gouvernement. Le PIRSEM mettra à profit l'expérience acquise par le PIRDES, enrichie d'une concertation accrue avec les directeurs scientifiques et le comité national de la recherche scientifique. L'organisation est prête, mais la recherche est affaire d'hommes : chercheurs, ingénieurs, techniciens et seule leur participation active, sur laquelle nous comptons, assurera le succès du programme.



Chaudière PERICLES en fonctionnement (LAS-Marseille). Le grand miroir sphérique est fixe. La chaudière se déplace pour intercepter au mieux les rayons solaires réfléchis.

Une journée « portes ouvertes »

Janine RONDEST

Décrire la journée « portes ouvertes » du 16 janvier 1982 dans les quelques trois cents laboratoires propres ou associés au CNRS qui y ont participé, puis en tirer des enseignements est une gageure ; d'autant plus que plusieurs laboratoires ont distribué aux visiteurs des questionnaires qui sont en cours d'exploitation.

Cependant, les rapports envoyés par plusieurs d'entre vous ont permis de dresser un tableau général de ces journées qui furent indéniablement un grand succès.

Bien sûr, la foule des visiteurs était inégalement répartie. Les grands groupes de laboratoires ont reçu des milliers de personnes ; ailleurs, cela variait de quelques centaines à quelques dizaines. En effet, tous ces laboratoires et ces entreprises à voir en même temps se faisaient un peu de concurrence.

Il est également impossible de faire le portrait robot du visiteur. A Gif, sont venus surtout des jeunes et des étudiants mais dans un laboratoire marseillais l'âge des visiteurs allait de « 7 à 77 ans ». Nombreuses sont les personnes venues en famille ; on pouvait voir aussi quelques retraités, souvent d'anciens ingénieurs.

Cette variété se retrouve dans les choix des visites et les motivations des visiteurs. Les gens sont attirés par ce qui les touche de près ou ce dont ils entendent beaucoup parler : la santé, la robotique. La paléontologie a fait cette (onze mille visiteurs à l'Institut de paléontologie du Muséum à Paris). Plusieurs laboratoires de chimie ont été surpris de l'affluence des visiteurs.

Parfois, les gens venaient « en voisin » voir ce qui se passe derrière les

murs ou les grilles ornées de la plaque CNRS ; ceci prouve à l'évidence combien le chercheur et ses travaux sont encore mal intégrés à la vie des collectivités locales. Autres faits significatifs : une part des visiteurs était formée des familles des agents du CNRS et par le personnel du CNRS ravi de cette occasion de voir ce qui se fait dans les laboratoires voisins. Une leçon à tirer de ceci : la nécessité d'organiser l'information à l'intérieur d'un même groupe de laboratoire.

Du côté des laboratoires, chercheurs et ITA ont multiplié les efforts, faisant preuve d'imagination pour expliquer la

finalité de leurs travaux, leurs méthodes et leurs résultats. Panneaux, maquettes, notices, venaient compléter les explications données. Et le résultat a été à la hauteur du travail entrepris et du dévouement de ceux qui ont pris sur leur temps de travail et de loisir pour assurer le succès de cette journée : le public passionné ne demande qu'à revenir et le monde de la recherche souhaite renouveler l'expérience. Dans cette perspective la direction des relations extérieures du CNRS réfléchit à la possibilité d'aider les laboratoires souhaitant une nouvelle journée « portes ouvertes ».



LES ASSISES DE LA RECHERCHE ET DE LA TECHNOLOGIE DE LA REGION « CENTRE »

Parallèlement aux débats sur les interrogations de la science et sur les vocations de la région, un grand concours scolaire, lancé avec l'aide des responsables de l'Académie d'Orléans-Tours, a été organisé par Mme Anthony directeur de recherche au CNRS, présidente du comité d'organisation.

Ce concours avait pour but de sensibiliser l'opinion publique aux problèmes liés à la science et aux technologies nouvelles. Et l'avis de la jeunesse qui vivra les conséquences des réformes qui seront proposées par la loi de programmation, est une approche à la fois originale et très intéressante.

Pour les établissements primaires, il était demandé un dessin sur « la vie en l'an 2000 » ; pour les collèges d'enseignement secondaire il s'agissait d'une photographie montrant « l'apport de la science dans la vie quotidienne » ; enfin pour les lycées, un essai était proposé : « parmi les découvertes contemporaines, quelle est celle qui vous paraît engager l'avenir de notre civilisation ? ». L'analyse de toutes ces œuvres permet d'appréhender comment la science est véhiculée au travers de l'imaginaire et de l'inconscient collectif des enfants et des adolescents. Le dessin présenté en quatrième de couverture a reçu le troisième prix du Jury.

Janine Rondest est chef du bureau de presse à la direction des relations extérieures du CNRS.

Les Éditions du CNRS

Ces ouvrages sont disponibles en librairie ou au CNRS - 15, quai Anatole France, Paris 75700 et peuvent être consultés à la librairie des Éditions du CNRS tous les jours, sauf les samedis et dimanches, de 9 h à 12 h et de 13 h 30 à 17 h 30 (fermée au mois d'Août).

Mathématiques - physique de base

Aspects statistiques et aspects physiques des processus Gaussiens. - Colloques internationaux du CNRS n° 307, (Saint Flour, 22-29 juin 1980) - Démonstrations probabilistes variées ; clarification d'un grand nombre de problèmes ; le calcul des probabilités peut s'appliquer aux domaines techniques les plus divers - Théorème de traces stochastiques ; statistiques de Kolmogorov-Smirnov pour un échantillon non-équiréparti ; mouvement brownien et fonctions propres de l'opérateur de Schrödinger ; etc... (25 communications dont 13 en anglais).

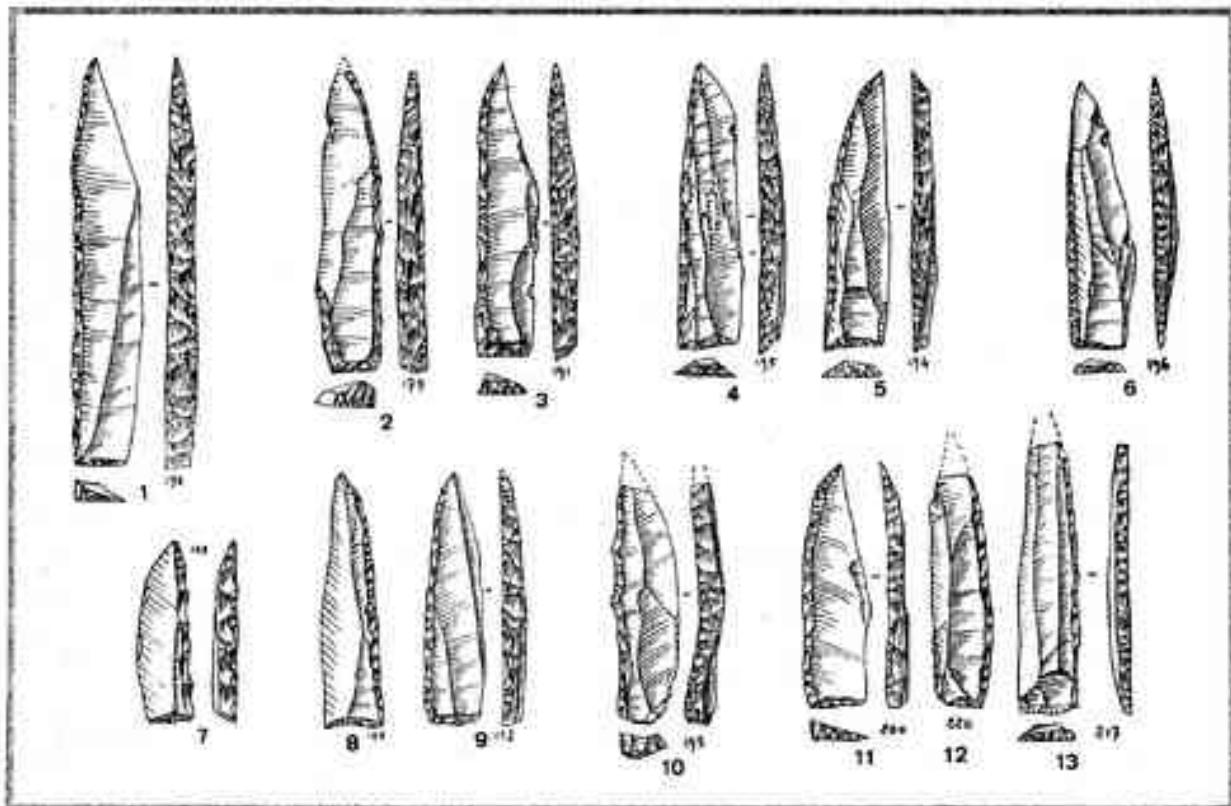
Sciences de la terre, de l'océan, de l'atmosphère et de l'espace

Le Paléolithique de l'Agenais. - Cahier du Quaternaire n° 3 - J.M. Le Tensorer - Réflexion méthodologique suivie d'un essai de synthèse entre la genèse des terrains quaternaires et l'évolution des cultures paléolithiques en Agenais, depuis le Pléistocène ancien jusqu'à l'Holocène ; les gisements contiennent des industries d'âges très différents et permettent d'établir la stratigraphie des dépôts quaternaires, leur genèse et leur évolution paléoclimatique ; la néotectonique du Lot-et-Garonne en Quaternaire.

Sciences de la vie

Végétation des Alpes Sud-Orientales. - P. Ozenda - Carte de la végétation de la France au 200 000^{ème} - Inventaire et groupements végétaux aux alentours d'Antibes, Digne, Gap, Larche et Nice ; les Alpes françaises du sud en tant que zone géologique et climatique complexe où se regroupent une flore de 3 500 espèces de plantes vasculaires (4/5 de la flore de France) et 30 séries de végétation (9/10 des séries de l'arc alpin).

Nutrition des poissons. - M. Fontaine - 22 exposés d'ichtyologie physiolo-



Le Paléolithique de l'Agenais - Jean-Marie Le Tensorer - Pointes aziliennes et pointes de Malaurie.

gique, fondamentale et appliquée : l'appareil digestif, l'absorption intestinale, les besoins nutritionnels, les éléments de régulation du métabolisme, les rythmes alimentaires.

Pensée opératoire, détérioration mentale et démence du grand âge. — M.C. Mietkiewicz-Colson — Monographies françaises de psychologie n° 54 — Approche différentielle du vieillissement intellectuel et de la démence vus sous l'angle du déroulement de l'activité cognitive et non pas du rendement intellectuel — Recherches analytiques sur la différence entre la sénilité et la senescence ; étude expérimentale et psychométrique du vieillissement intellectuel.

Eléments d'épidémiologie pour le clinicien. — Responsables : J. Hoey, R. Lambert. — Étude de la distribution des maladies et des facteurs qui contrôlent leur fréquence, leur répartition géographique, leur histoire naturelle. Un raisonnement logique interprète l'observation clinique ; analyse globale des données collectées par des méthodes de calcul statistique.

Les enfants abandonnés : rôle des familles adoptives et des assistantes maternelles. — Michel Duyme — Monographies françaises de psychologie n° 56 — Choix de 107 enfants de 14, 15 ans répartis en six groupes d'enfants adoptés (milieux socio-culturels des parents

adoptifs), un groupe d'enfants adoptés (nourrices, institutions). Origine des différences entre groupes et des effets de carences ou usures socio-affectives. Évaluation de l'influence directe du milieu socio-culturel sur la réussite scolaire et les comportements sociaux.

Sciences sociales

Internationalisation des banques et des groupes financiers. — Colloque du Centre d'études et de recherches sur l'entreprise multinationale — université Paris X, Nanterre/novembre 1979. — Direction : CH. A. Michalet. — Étude systématique à la fois théorique, historique et empirique de la dimension financière de l'économie internationale. Problématique du phénomène de l'internationalisation des structures financières : l'internationalisation bancaire, la structure financière des groupes multinationaux, le rôle des places financières et l'endettement privé du tiers-monde ; cadre analytique d'ensemble.

Le quotidien et son économie. — Essai sur les origines historiques et sociales de l'économie familiale. — J.M. Barbier. — Approche des conduites économiques quotidiennes aux XVI, XVII et XVIII^{es} siècles et des problèmes posés par les interventions éducatives concernant ces conduites ; l'apparition en France d'une production de savoir et des règles, d'une intervention éducative et des transformations affectant le statut même des conduites économiques quotidiennes.

L'évolution des systèmes de travail dans l'économie moderne. — Conséquences sur l'emploi et la formation. — Responsable : G. Ducray. — Centre d'études et de recherches sur les qualifications. — Le travail dans l'économie,



Le quotidien et son économie — Jean-Marie Barbier — « Les occupations du ménage » — Fabrique Pellerin à Epinal, 1836-1841.



Les Editions du CNRS publient des ouvrages de très haut niveau en sciences exactes et naturelles ou en sciences humaines.

Si vous désirez recevoir régulièrement la documentation gratuite consacrée aux ouvrages que publient les Editions du CNRS, entourez d'un cercle le numéro de la ou des sections qui vous intéressent.

Il s'agit d'une inscription ou de la modification d'une inscription (joindre l'étiquette du dernier envoi)

SCIENCES EXACTES ET NATURELLES

- 1 mathématiques et modèles mathématiques
- 2 informatique, automatique, analyse des systèmes, traitement du signal
- 3 électronique, électrotechnique, optique
- 4 mécanique, énergétique
- 5 physique théorique
- 6 physique nucléaire et corpusculaire
- 7 astronomie et environnement planétaire
- 8 physique atomique et moléculaire
- 9 structure et dynamique moléculaire, chimie de coordination
- 10 physico-chimie des interactions et des interfaces
- 11 chimie et physico-chimie des matériaux solides
- 12 physique de la matière condensée - physique des solides
- 13 physique de la matière condensée - cristallographie
- 14 géophysique et géologie interne, minéralogie
- 15 géologie sédimentaire et paléontologie
- 16 océanographie et physique de l'atmosphère
- 17 synthèse organique et réactivité
- 18 chimie organique biologique et chimie thérapeutique
- 19 physico-chimie des polymères et des molécules biologiques
- 20 biochimie
- 21 biologie cellulaire
- 22 biologie des interactions cellulaires
- 23 pathologie expérimentale et comparée
- 24 thérapeutique expérimentale, pharmacologie
- 25 physiologie
- 26 psychophysiologie et psychologie
- 27 biologie et physiologie végétales
- 28 biologie animale

SCIENCES HUMAINES

- 29 écologie
- 30 agriculture
- 31 alimentation
- 32 archéologie historique
- 33 archéologie préhistorique
- 34 architecture/urbanisme
- 35 arts graphiques/peinture/sculpture
- 36 cinéma/photo théâtre/spectacle
- 37 danse/musique
- 38 droit
- 39 économie
- 40 éducation
- 41 ethnologie
- 42 études africaines
- 43 génie
- 44 géographie
- 45 histoire
- 46 histoire médiévale
- 47 linguistique
- 48 littérature
- 49 philosophie
- 50 politique
- 51 psychologie
- 52 sciences religieuses
- 53 sociologie
- 54 information

Je désire recevoir le catalogue annuel

nom et prénom
(en capitales)

titre ou
fonction

n° et rue

pays

code postal et ville

questionnaire à renvoyer aux

Editions du CNRS
15 quai Anatole France. 75700 Paris

mesuré par les performances économiques des entreprises et des nations. Evolution du travail face au développement des technologies ; modifications dans les répartitions sectorielles et territoriales des emplois ; les transformations de la population active ; la modernisation des formations professionnelles. – (25 communications).

La théorie économique et l'espace géographique. – J. Desrousseaux. – Monographies du séminaire d'économétrie : n° 17. – Algèbre appliquée à l'étude de la théorie spatiale pour améliorer la gestion de l'économie ; recherche sur les questions générales que pose la répartition géographique des acheteurs ; analyse générale des objectifs, des données et des variables ; les calculs font l'objet de la seconde partie.

Planification en environnement aléatoire. – Xavier Freixas. – Synthèse claire et exhaustive des travaux essentiels sur la théorie de la planification à l'exclusion des procédures itératives connues par les travaux de Malinvaud ; étude originale, en univers aléatoire et non convexe, de la comparaison de procédure prix-quantités et des procédures d'allocation.

Îles de Méditerranée. – Table ronde – Aix-en-Provence/octobre 1980. – Responsable : J.L. Maige. – Permanence et mutation de la vie insulaire ; spécificité de chaque île par rapport aux bouleversements économiques et sociaux causés

par la révolution des transports, l'industrialisation et l'extraordinaire développement touristique qui amène autant de questions qu'il donne de réponses. – (9 communications dont une en italien).

Le Maghreb musulman en 1979. – Etudes de l'Annuaire de l'Afrique du Nord, CRESM. – Responsable : C. Souriau. – Evolution des rapports entre les forces arabo-musulmanes et l'ordre islamique ; la question des femmes musulmanes ; les sociétés du Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie, Libye) à la recherche d'une dimension sacrée ; les idéologies d'opposition, les positions des minorités non-musulmanes.

Barr - Adjarn. – Souvenirs d'Afrique Orientale (1880-1887). – Alfred Bardey. – Biographie de A. Bardey par J. Tubiana ; autobiographie de A. Bardey ; observation fine et sensible de la vie dans les pays de la périphérie de la Mer rouge (1880-1887) : géographie, ethnologie, économie, faune, flore ; contacts et rapports de Bardey et des autres européens (Gordon, Paul Rimbaud, Taurin, Sacconi : relations personnelles et commerciales).

Actualité de la pensée de René Cassin. – Actes du colloque international, Paris 14-15 novembre 1980. – Responsable : Gilbert Grandval. – René Cassin, promoteur de la déclaration universelle des droits de l'homme et prix Nobel de la Paix. L'homme et l'action :

l'universitaire, le professeur dans la recherche de la paix et de la justice ; les droits de l'homme, conception de René Cassin, sources judéo-chrétiennes, la mise en œuvre des droits de l'homme ; René Cassin et la Cour européenne des droits de l'homme.

Phénoménologie hégelienne et husserlienne. – Les classes sociales selon Marx. – Centre de recherche et de documentation sur Hegel et Marx. – Responsable : G. Planty-Bonjour. – Etudes comparatives des itinéraires husserlien et hégelien concernant la science de l'expérience de la conscience : élaboration thématique du concept de classe chez Marx et analyse de sa philosophie de l'histoire.

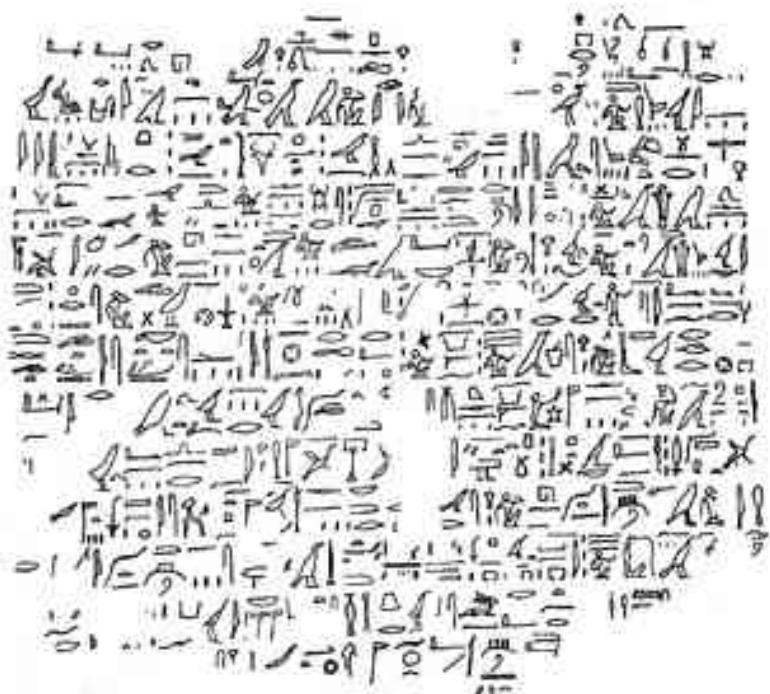
La création du droit. – Aspects sociaux, 2ème colloque franco-soviétique/Moscou 1978. – Collection des travaux de l'Institut de recherches juridiques comparatives. – Ouvrage collectif. – Recherches comparatives sur les aspects sociaux de la législation entre l'URSS et la France, pays aux contextes sociaux et politiques très différents. Etat actuel des réflexions théoriques en URSS en matière de sociologie juridique ; sociologie du droit (social, psychologie, philosophie, technique). – (15 communications soviétiques, 4 rapports français).

La décentralisation en Europe. – (Extrait de l'Annuaire européen d'administration publique III) – Actes du colloque : les compétences du pouvoir local, Aix, octobre 1980. – Responsable : Ch. Debbasch. – Étude comparative sur cette question au cœur de l'actualité ; diversité des données constitutionnelles, administratives et humaines selon les pays ; similitude des problèmes : renouvellement de la notion même de local, évolution des techniques, imbrication croissante du local et du national ; trois orientations : collectivités selon les besoins, répartition des compétences, concertation entre les différents niveaux. – (17 résumés en anglais).

Espace et identité nationale en Amérique latine. – Responsable : J. Pérez. – Essai sur la formation des consciences nationales en Amérique latine ; comment les créoles établirent des liens avec leur espace (parfois bien longtemps avant l'indépendance), et ce faisant, acquièrent une identité, une originalité et revendiquèrent leurs droits à l'égard de la métropole. – (6 essais dont un en espagnol).



Îles de la Méditerranée – Plan de La Valette – Île de Malte – Collection du musée de la Chambre de commerce et d'industrie de Marseille.



Cahiers de Karnak VI - 1973-1977. Moulage et transcription de l'inscription oraculaire du III^e pylone (Cliché A. Bellod).

Rationalité des anticipations rationnelles - Coût fixes - structures de marché - petits échantillons. - Cahiers du séminaire d'économétrie n° 23 - responsable : E. Malinvaud. - Topologie algébrique appliquée à la construction de théories économiques ; solutions et critères de choix, choix sociaux, théorie des jeux, demandes agrégées, rendement croissants, structures du marché ; étude analytique des procédures économétriques dans les petits échantillons.

Croissance urbaine et développement capitaliste : le miracle Athénien. - G. Burgel. - Mémoires et documents de géographie. - Athènes ville témoin (modes de construction spatiale des sociétés libérales) ville contradictoire (potentiel et croissance). Elaboration en deux siècles de l'espace national grec contemporain ; occupation étrangère et dépendance économique ; de la pauvreté à la richesse ; montée du bien-être individuel et des forces capitalistes ; concentration sur une métropole tentaculaire nourrie par les énergies provinciales ; interaction du politique, de l'économie et du démographique.

Humanités

Cahiers de Karnak (1973-1977). - Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak. - Responsable : Jean Lauffray. - Travaux accomplis par le CFE entre 1972 et 1977 présentés suivant l'ordre topographique ; numéro référentiel pour chacun ; ceux qui font l'objet d'un article sont décrits

brièvement ; les autres sont présentés au moyen d'extraits de rapports établis par le responsable du chantier ; nombreuses illustrations. - (13 communications en français plus résumés égyptiens en fin d'ouvrage).

Atlas préhistorique du midi méditerranéen. - Feuille d'Orange au 1/100 000. - M.L. Lavoine et S. Parisi. - Documentation complète sur les sites et les publications qui leur ont été consacrées ; repérage de tous les gisements ayant donné lieu à publication sur carte 1/100 000 ; 400 sites repérés et étudiés (vallées de l'Ardèche et de la Céze) ; présentation géographique sommaire de la région ; description accompagnée de l'historique des collections et de la bibliographie ; synthèse sur la préhistoire de la région.

Préhistoire du Levant. - Colloques internationaux du CNRS n° 598. - Ouvrage collectif. - Chronologie et organisation de l'espace depuis les origines jusqu'au VI^e millénaire. Histoire des cultures de l'Acheuléen au Néolithique à travers l'espace concret (terrains, flore, faune). Paysage en tant que cadre spatial de la présence humaine ; organisation de l'espace utilisé et structuré par les sociétés humaines d'abord à l'échelle de l'espace d'habitat et ensuite à l'échelle des régions.

Les sépultures mégalithiques du Var. - O. Roudil, G. Bérard. - Fouille d'une dizaine des dolmens dans le centre du Var entre 1950 et 1978 puis dans l'ensemble du département, trois zones de concentrations de mégalithes ayant été

déterminées. Homogénéité de la culture et de la civilisation calcolithique de cette région.

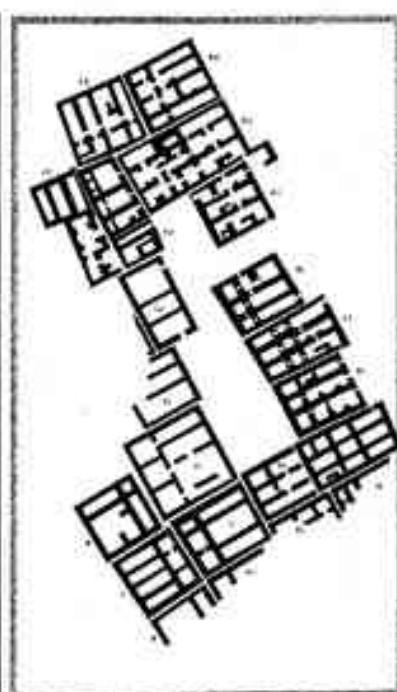
Paléorient vol. 6/1980. - Préhistoire et protohistoire de l'Asie du sud-ouest. - Responsables : J. Perrot et B. Vandermesched. - Approche pluridisciplinaire à l'archéologie proche-orientale : méthodologie et utilisation des moyens empruntés à d'autres disciplines scientifiques, telles que l'informatique, la géophysique, l'ethno-zoologie, la paléobotanique, l'étude de matériaux de construction. - (28 communications : 16 en français, 11 en anglais, 1 en allemand).

Sites et cultures de l'âge de bronze dans le Bassin parisien. - XVème supplément à Gallia préhistoire. - G. Gaucher. - Données générales sur les ensembles clos ou non (habitats, rivières, tombes, dépôts) ; établissements d'une typologie pour détecter les cultures de la région étudiée ; description de ces cultures.

Elise. - Roman inédit du XVII^e siècle. - Responsable : M. A.J. Guibert. - Roman inédit, écrit de la main de l'auteur, dont les qualités littéraires le placent aux premiers rangs de la production romanesque du XVII^e siècle. Reroduction du manuscrit tout en préservant l'orthographe et la ponctuation de l'auteur ; sont signalées les particularités morphologiques et syntaxiques. - Lyon et sa région revivent à travers les amours contrariés d'Alcandre et d'Elise.



Préhistoire du Levant - Maisons 16, 17 et 18 du Tell Bouqras à l'extrémité ouest de la vallée de l'Euphrate.



Fouilles et monuments archéologiques en France métropolitaine - Tome 24/ fascicule 1. - Gallia préhistoire. - Ouvrage collectif. - Situation, configuration, historique, conditions de fouilles, des sites ; recherches et étude des vestiges (flora, faune, outils) ; étude des gravures, description, relevés ; datations ; bibliographie à la fin de chaque chapitre ; étude d'un vase préhistorique.

Carte archéologique des abords du lac Tchad. - J.P. Leboeuf. - Gisements et sites de lieux abandonnés appartenant aux « sao » et faisant partie de l'âge de fer. Attribution de ces agglomérations à des groupes tels que les chasseurs à l'arc, chasseurs à la sagade, pêcheur. - (supplément de l'édition de 1969).

Gers, Landes, Lot-et-Garonne, Pyrénées atlantiques. - Corpus des inscriptions de la France médiévale : 6. - Responsable : E.R. Labande. - Recensement des épigraphes des départements du Gers, des Landes, du Lot-et-Garonne et des Pyrénées atlantiques à l'exclusion des chrismes. L'index général fait figurer des noms de personnes ; des lieux et les mots - matières sous lesquels se retrouvent les indices particuliers : auteur, bibliographie, datation, épitaphe, formulaire et expression iconographie, liturgie, métrique, mort, reliques.

Culture et travail intellectuel dans l'Occident médiéval. - Colloques d'humanisme médiéval (1960-1980). - Responsables : G. Hasenohr, J. Longere. - Colloques organisés dans un esprit de liberté, ouverture, réalisme, vérité, esprit scientifique, objectivité collective, humour, respect de la bî-popularité de tout langage. Résumé des colloques VI et X (1964-1975), colloque XI : instruments et méthodes de travail au Moyen Âge.

Héliopolis - Le Caire 1905-1922. - Genèse d'une ville. - Robert Ilbert. - Histoire de la création ex nihilo d'Héliopolis, ensemble résidentiel à 10 km au nord du Caire, par E. Empain (entreprise coloniale et capitaliste privée). Analyse de cette œuvre d'urbanisation réalisée dans le premier quart du XXème siècle ; étude des motivations, des moyens, des difficultés et des résultats.

Islam et politique au Maghreb. - Table ronde, Aix, juin 1979. - Centre de recherches et d'études sur les sociétés méditerranéennes. - Responsables : E. Gellner, J. Cl. Vatin. - Approche diversifiée de la mise en relation entre l'Islam et la politique en Afrique du Nord, reconstitution historique ; étude par des spécialistes autochtones des idées et valeurs des sociétés au Maghreb ; analyse des institutions juridiques, politiques, économiques et culturelles. - (18 communications en français, 4 en anglais, résumés en français).

Etudes celtiques n° XVIII, 1981. - J. Vendryes. - Responsable : L. Fleuriot. - Les sénons de l'Adriatique d'après l'archéologie ; les chenets zoomorphes de la Gaule préromaine et romaine ; rapports entre la Bretagne et le continent à partir des divinités gallo-romaines ; à propos de deux inscriptions gauloises. - (11 articles en français, 8 en anglais).

Femmes de Malte dans les chants traditionnels. - Responsables : J. Cussar-Publicino, M. Galley. - Textes maltais et traductions françaises annotés ayant la femme pour thème : berceuses, prières et exorcismes, mariage, ballades illustrent l'héritage mêlé d'un pays européen par son catholicisme et arabe par sa langue.

Annuaire de l'Afrique du Nord - Tome XVIII, 1979. - Centre de recherches et d'études sur les sociétés méditerranéennes. - Ouvrage collectif. - Dans ce volume la partie « études » est consacrée aux mouvements à la pensée, au vécu

islamique et aux rapports de l'Islam avec les grands problèmes actuels ; « question d'actualité » : le problème saharien, la ligue arabe à Tunis, le sous-développement en Tunisie, le tourisme et la balance des puissances dans les pays maghrébiens.

Atlas linguistique et ethnographique de la Lorraine romane. - Vol. 2 : habitat, travaux. - J. Lanher, Al. Litaize, J. Richard. - Suite du volume 1, paru en 1980, ce nouveau volume étudie la « parlure d'hier » en ce qui concerne l'habitat (100 cartes) ou les différents travaux de la ferme et des champs tant dans la Meuse, la Meurthe-et-Moselle, les Vosges, et plus ou moins partiellement en Moselle, dans le Bas-Rhin et le Haut-Rhin (253 cartes).

Cahier de l'atelier Vincent de Beauvais - SPICAÉ n° 3 (édition M-Z). - Table alphabétique des matières du Speculum historiale, par Jean Hauffnery, vers 1920. Répertoire de citations d'auteurs classiques et médiévaux, de contenu privilégiant la matière morale ; valeur hagiographique et historique du Speculum.



Héliopolis - Le Caire, 1905-1922 - Genèse d'une ville - Robert Ilbert - Mondanités autour du Palace (Photo d'archives) - Centre régional de publications de Marseille.

LA GAZETTE DU C.R.I.N

LETTRE D'INFORMATION DU CNRS AUX INDUSTRIELS



OBJECTIFS

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

RESULTATS

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

CARACTÉRISTIQUES

- Parution tous les deux mois
- 5000 abonnés dont 3500 industriels
- 25 flashes sur les recherches du CNRS

FAITES CONNAITRE VOS TRAVAUX

La gazette du CRIN est à la disposition de tous les chercheurs du CNRS pour diffuser les résultats de recherche susceptibles d'applications dans l'industrie.

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



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

Nom :

Laboratoire :

Adresse :

A retourner à : **Monique DUMAS**

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

LE COURRIER DU
CNRS

