

Le courrier du CNRS 24

Auteur(s) : CNRS

Les folios

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

34 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 24, 1977-04

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

Consulté le 24/02/2026 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/115>

Copier

Présentation

Date(s)1977-04

Genrepériodique

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

Description & Analyse

Nombre de pages 92

Notice créée par [Valérie Burgos](#) Notice créée le 18/09/2023 Dernière modification le 17/11/2023

LE COURRIER DU CNRS



N° 24 - AVRIL 1977 - 10 F

24

AVRIL

1977

Centre national de
la recherche scientifique
15, quai Anatole France
75700 PARIS
Tél. : 555.92.25

Directeur de la publication
René Audé

Rédacteur en chef
René Audé

Secrétaire de rédaction
Martine Chabrier - Elvik

Comité de rédaction

Pierre Catala
Robert Chabbaï
Jean-Didier Dardel
Georges Duby
Daniel Gautier
Alain Girard
Yves Grafmeyer
James Hiéblot
Robert Klapisch
Jacques Livage
Georges Lelièvre
Geneviève Nève
Henri Peronini
Pierre Potier
Martine Alain-Régault
Jean Rouch
Philippe Waldtrauf

Entretiens
Monique Mounier

Photo 1 de couverture :
La nébuleuse « Tête de cheval » : objet
typique des observations infrarouges, ce
nuage obscur de gaz et de poussière est
vu ici en absorption sur le fond brillant
galactique - (cliché Palomar du cal.
Tech)

Photo 4 de couverture :
Village du Nord-Ouest du Népal, en
arrière-plan, on aperçoit le massif Kanji-
roba. (cliché J.F. Dobremas, RCP 253)

Abonnements et ventes au numéro :
Le numéro 10 F
Abonnement annuel : 32 F
(Voir bulletin d'abonnement p. 57 et 58).
Éditeurs du CNRS :
15, quai Anatole France - 75700 Paris
C.C.P. Paris 9131-63

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

Nous remercions les auteurs et les organisa-
tions qui ont participé à la rédaction de ce bu-
lletin. Les insertions ont été rédigées par le co-
mité de rédaction.
Les textes et illustrations peuvent être repro-
duits sous réserve de l'autorisation du direc-
teur de la publication.

LE COURRIER DU CNRS

PLEINS FEUX
LA CARTOGRAPHIE ECOLOGIQUE
Paul Ozenda

2

A LA DECOUVERTE
LE MICROSCOPE ELECTRONIQUE
A BALAYAGE
Delhi Guillaumin

11

REFLEXIONS SUR
POUR UN AMENAGEMENT
RATIONNEL ET HUMAIN
DU TERRITOIRE RURAL
Pierre Chabrier

17

LE POINT
CINQ ANS D'ASTRONOMIE
SPATIALE EN AVION
Pierre Léna

28

A PROPOS
REJETS EN MER ET
EPURATION
Henri Dou
Nardo Vicente

34

AU-DELA DES FRONTIERES
LA FONDATION EUROPEENNE
DE LA SCIENCE
Sir Brian Flowers

46

EPHEMERIDES

54

LA VIE DES LABORATOIRES

56

A L'AFFICHE

78

DU COTE DE L'ANVAR
LE BREVET D'INVENTION

86

BIBLIOGRAPHIE

87



LA CARTOGRAPHIE ÉCOLOGIQUE

La cartographie des faits biologiques peut se concevoir à différents niveaux. On sait en effet que les espèces végétales et animales se groupent dans la nature, indépendamment de leurs origines géographiques, suivant leurs exigences et leurs affinités vis-à-vis des facteurs de milieu en constituant des ensembles appelés biocénoses : l'existence de biocénoses est, comme on l'a fort justement exprimé, un fait d'observation dont l'étude repose maintenant sur des méthodes statistiques rigoureuses, indépendantes de l'analyse du milieu lui-même, de sorte que la définition relative de la biocénose et du milieu n'est absolument pas, comme on pourrait le craindre, un cercle vicieux.

Chaque biocénose, lorsqu'elle a atteint une composition stable, est elle-même en équilibre avec les facteurs du milieu ambiant dont l'ensemble, plus ou moins facile à percevoir, est souvent appelé biotope ; l'ensemble de la biocénose et de son biotope forme un écosystème. Une partie des écosystèmes est encore naturelle, mais dans nos pays toutefois la majeure partie d'entre eux est maintenant profondément transformée et est devenue des écosystèmes anthropisés à des degrés divers (forêts entretenues, espaces cultivés).

L'analyse de ces unités écologiques peut elle-même porter sur ces différents niveaux.

• Pendant longtemps, et jusque vers les années quarante, la biogéographie n'a guère considéré, sous le nom de chorologie, que la distribution des espèces végétales et animales considérées soit isolément soit groupées d'après leur origine géographique ; cette chorologie n'était d'ailleurs pas exempte de souci écologique car elle cherchait souvent à faire apparaître des corrélations entre les limites des espèces et la distribution géographique de facteurs comme la température.

Photo 1 - Un écosystème est un ensemble constitué d'un groupement d'espèces végétales et animales (biocénose) et du milieu (biotope) dans lequel elles vivent. Ici un bois d'Aune blanc repose sur un sol dont la nature marécageuse est attestée par l'épais sous-bois de Roseaux, de Joncs et de Carex, et qui est parsemé de flaques temporaires dans lesquelles viennent se reproduire certaines espèces de moustiques. Le liaison quasi-obligatoire entre les constituants de l'écosystème fait que les peuplements d'Aune blanc, reconnaissables de loin et même sur photographie aérienne, permettent d'identifier et de localiser les gîtes des espèces particulières de moustiques qui leur sont liés, sans avoir à effectuer une prospection détaillée, au sol, de ces gîtes.

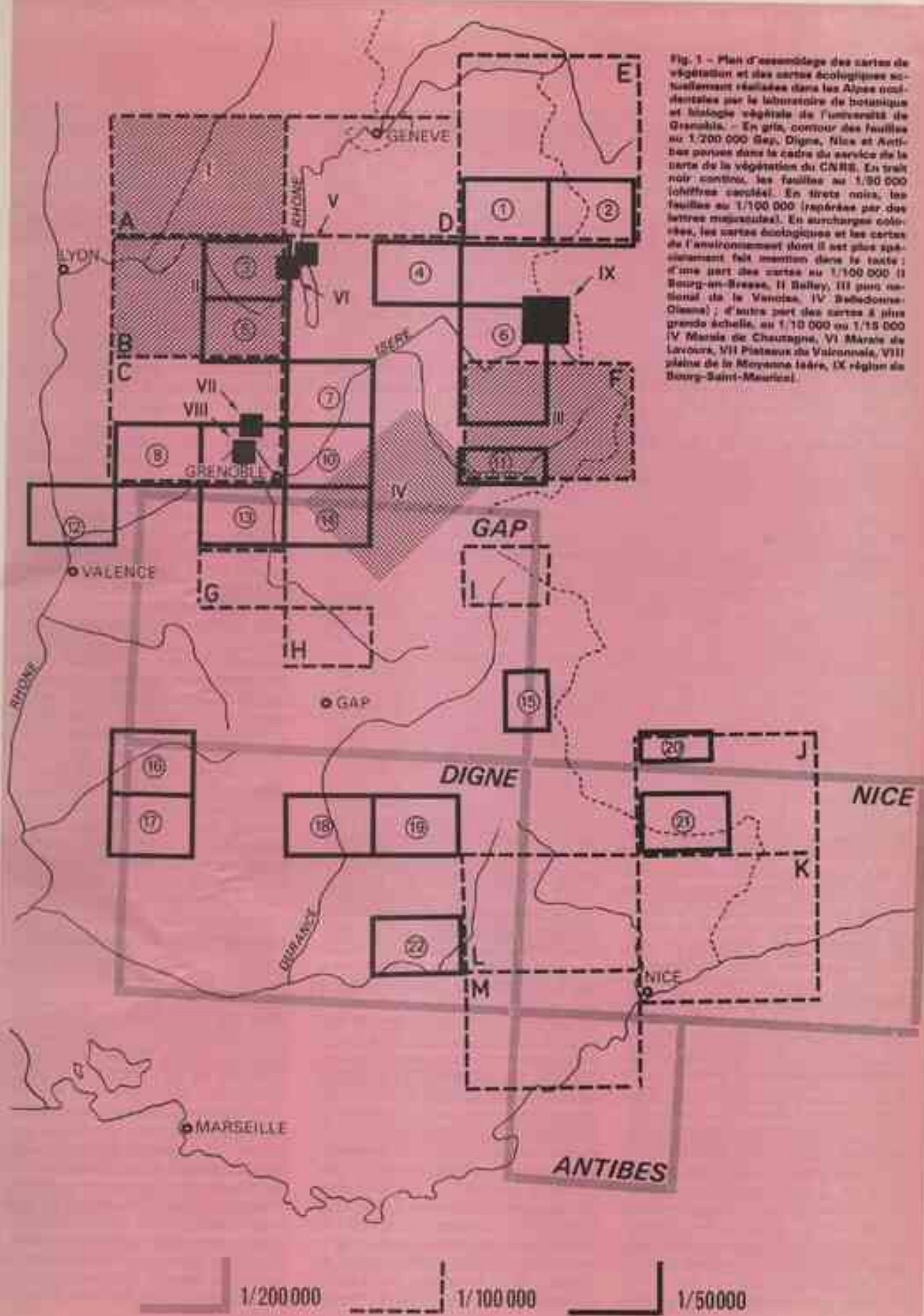


Fig. 1 - Plan d'assemblage des cartes de végétation et des cartes écologiques actuellement réalisées dans les Alpes occidentales par le laboratoire de botanique et biologie végétale de l'université de Grenoble. - En gris, contour des feuilles au 1/200 000 (Gap, Digne, Nice et Antibes comprises dans le cadre du service de la carte de la végétation du CNRS). En trait noir continu, les feuilles au 1/50 000 (chiffres encadrés). En traits noirs, les feuilles au 1/100 000 (repérées par des lettres majuscules). En surcharges colorées, les cartes écologiques et les cartes de l'environnement dont il est plus spécialement fait mention dans le texte : d'une part des cartes au 1/100 000 (I Bourg-en-Bresse, II Salève, III plus national de la Vanoise, IV Baladonne-Dienne) ; d'autre part des cartes à plus grande échelle, au 1/10 000 ou 1/15 000 (V Maquis de Chautagne, VI Maquis de Lavours, VII Plateaux de Valcarnole, VIII plaines de la Moyenne Isère, IX région de Bourg-Saint-Maurice).

• La cartographie des biocénoses a suivi avec quelque retard la mise au point de leurs méthodes d'étude statistiques, mais a progressé rapidement lorsqu'il a été reconnu que les végétaux vasculaires qui entrent dans la composition d'une biocénose et qui constituent la majeure partie de la biomasse, peuvent donner une représentation approchée permettant à la fois la définition des biocénoses, leur classement et une première analyse de leurs rapports avec le milieu ; c'était le fondement de la phytosociologie. Dans cette masse végétale vasculaire, les ligneux jouent un rôle privilégié, en raison notamment de leur taille et de leur longévité qui en font de bons indicateurs des conditions de milieu dans l'espace et dans le temps, de sorte que la cartographie des types de forêts a joué très vite un rôle de premier plan dans l'étude biocénologique. Elle a été en fait le support principal de la **cartographie de la végétation** dont le développement a été très rapide depuis une trentaine d'années.

• Un nouveau progrès a été réalisé lorsque l'on a considéré non plus seulement les groupements végétaux d'une manière statique, mais leurs relations dynamiques liées à l'évolution de la végétation en un lieu donné au cours du temps. Le concept de série de végétation, c'est-à-dire d'ensembles réunissant un « groupement climatique » généralement forestier et tous les groupements qui évoluent vers lui ou qui en dérivent au contraire par dégradation, permettait de passer à la cartographie de la **végétation potentielle**, c'est-à-dire de diviser précisément le territoire cartographié en unités correspondant chacune à une série où un même climax était réalisé ou possible, ce dont nous verrons plus loin l'importance. A vrai dire, une partie des cartes dites de végétation potentielle a été et est encore dressée directement à partir des cartes biocénologiques de caractère statique et sans reposer sur une analyse suffisante des séries dynamiques.

• Dans la cartographie de la végétation, quel qu'en soit le type, les facteurs de milieu sont généralement analysés à part et leur représentation fait l'objet de cartons annexés à la carte des groupements végétaux elle-même. Cette étude des facteurs de milieu (climat, sol, utilisation du terrain par l'homme) a un but essentiellement explicatif et se propose de rendre compte de l'état et de la répartition des groupements végétaux.

Mais on peut aller plus loin, et considérer cet état de la végétation, tel qu'il est représenté par la carte principale, comme un phénomène qui joue dans l'analyse un rôle symétrique des autres et qui peut permettre par réciprocité de mieux connaître les facteurs de milieu. Un nouveau pas est franchi dans l'intégration s'il devient possible de faire figurer sur un document unique à la fois la végétation et les principaux facteurs de milieu qui la conditionnent ou qu'elle permet inversement d'analyser ; il y a là une voie, encore très insuffisamment exploitée, pour une **véritable cartographie écologique**, qui doit en outre s'efforcer maintenant d'intégrer les faits relatifs à la distribution des animaux, ou aux différents types de cultures. On peut espérer ainsi remplacer la carte classique de la végétation, qui était celle des groupements, par la carte écologique qui devient celle des écosystèmes eux-mêmes.

• Enfin les conditions de la vie moderne, et notamment l'impact de plus en plus important sur le milieu rural d'activités humaines autrefois presque uniquement urbaines, font que la cartographie actuelle doit laisser une place de plus en plus grande à l'étude de cet impact : ainsi la représentation des pollutions, des transformations liées aux activités de loisirs, etc... fait maintenant partie de la cartographie écologique et celle-ci doit inévitablement déboucher à court terme sur une **cartographie de l'environnement** qui commence à peine et dont nous chercherons plus loin à définir les objectifs.

A ces concepts de plus en plus intégrés doivent correspondre des méthodes d'étude de plus en plus synthétiques. Pendant longtemps l'étude des écosystèmes a reposé sur des principes empiriques qui convenaient pour une première approche ; puis ces méthodes se sont progressivement simplifiées et compliquées, depuis la simple numérisation des caractères quantitatifs de la biocénose ou des facteurs du milieu, jusqu'aux essais actuels de réalisation de banques de données par des méthodes informatiques. Ce progrès ne va pas sans un accroissement considérable des techniques et il apparaît de plus en plus que les projets de banques de données écologiques incorporent beaucoup trop d'éléments, dont une partie est redondante et ne tiennent pas assez compte du principe de la hiérarchie des facteurs écologiques que les premières études

empiriques mais également intuitives, faisaient intervenir dans le déroulement de l'analyse. Aussi la cartographie apparaît-elle de plus en plus comme une méthode efficace de traitement de l'information, qui réunit les avantages de la rapidité, de l'économie de moyens et de la visualisation immédiate des résultats (1,2).

Nous ne parlerons ici que des troisième, quatrième et cinquième niveaux définis ci-dessus, c'est-à-dire de la carte de la végétation, de la cartographie écologique et de la cartographie de l'environnement. Nous séparerons ces trois stades, bien qu'en fait ils soient étroitement liés entre eux et que leur délimitation présente, dans un progrès méthodologique qui a été continu, quelque chose de nécessairement arbitraire. Nous adopterons d'ailleurs, à d'autres points de vue aussi, une position très pragmatiste : — en nous contentant, pour les définitions des différents termes, de celles qui ont été données plus haut et en évitant de nous engager sur le terrain incertain qui sépare le souci de rigueur de la satisfaction d'un simple formalisme ;

— en nous bornant à parler des cartes **qui existent réellement**, en exceptant leurs imperfections mais en essayant de montrer en revanche ce qu'elles apportent déjà dans le domaine des applications ;

— enfin, en faisant abstraction des procédés techniques qui interviennent dans la construction des cartes, par exemple de la télédétection ou de la cartographie automatique, procédés techniques qui sont évidemment étrangers aux préoccupations de l'utilisateur de la carte.

La carte de la végétation

Bien que nous ayons indiqué plus haut que la cartographie écologique proprement dite, et son application récente à la cartographie de l'environnement, constituent une démarche qui se situe au-delà de la cartographie classique de la végétation, il paraît néanmoins nécessaire de rappeler cette dernière, d'abord parce qu'elle continue à constituer la meilleure approche de l'analyse écologique, et aussi parce qu'il ne semble pas exister de mise au point récente et en langue française sur cette question, et qu'à défaut, les lignes qui suivent seront au moins une orientation bibliographique. On pourra de toute façon se reporter à l'excellent livre de Kuchler qui représentait il y a dix ans une mise au point

très complète sur la cartographie de la végétation, et aux trois volumes de bibliographie dans lesquels cet auteur donne la liste exhaustive des cartes de végétation parues à l'époque (3,4). Mais il serait souhaitable que les très nombreuses publications parues depuis fassent l'objet d'un recensement ; nous y travaillons en ce moment pour l'Europe occidentale et centrale.

Il n'est pas excessif de dire que la cartographie de la végétation s'est développée principalement en France, et nous le devons surtout à l'impulsion qui lui a été donnée, vers 1945, par H. Gaussen avec la fondation du Service de la carte de la végétation dans le cadre du CNRS. Ce service a réalisé aujourd'hui une cinquantaine de feuilles au 1/200 000 qui couvrent les trois quarts environ de notre territoire, couverture qui doit être achevée dans quelques années (5). Rappelons que ce type de cartes créé par Gaussen apporte un triple progrès : comme les autres cartes de végétation, il représente les unités biocénologiques que sont les groupements végétaux (forêts, landes, prairies), mais ces groupements sont résolument réunis en séries dynamiques dont la mise en évidence est le but principal de la carte, de sorte que celle-ci permet d'apercevoir immédiatement le zonage du territoire représenté en unités de mêmes potentialités biologiques ; les couleurs des différentes séries ne sont plus choisies arbitrairement mais déterminées par un code écologique qui, fondé sur les caractères déterminants du climat et du sol, permet de rendre évidente la structure biogéographique d'ensemble de la région ; enfin une gamme d'intensités de chaque couleur permet d'indiquer en tous points du territoire l'état réel de la végétation (forêts, landes, cultures) à l'intérieur de chaque série. Ainsi se sont trouvées pour la première fois claires, la représentation théorique de la végétation potentielle et la physiologie de la végétation réellement existante.

Un second ensemble est constitué par les cartes au 1/1 000 000, relatives surtout à des pays tropicaux, réalisées d'abord par l'Institut de la carte internationale du tapis végétal de l'université de Toulouse et actuellement par la collaboration de cet organisme et du Centre de géographie tropicale de l'université de Bordeaux, auquel on doit en particulier un atlas des départements et territoires d'outre-mer, en

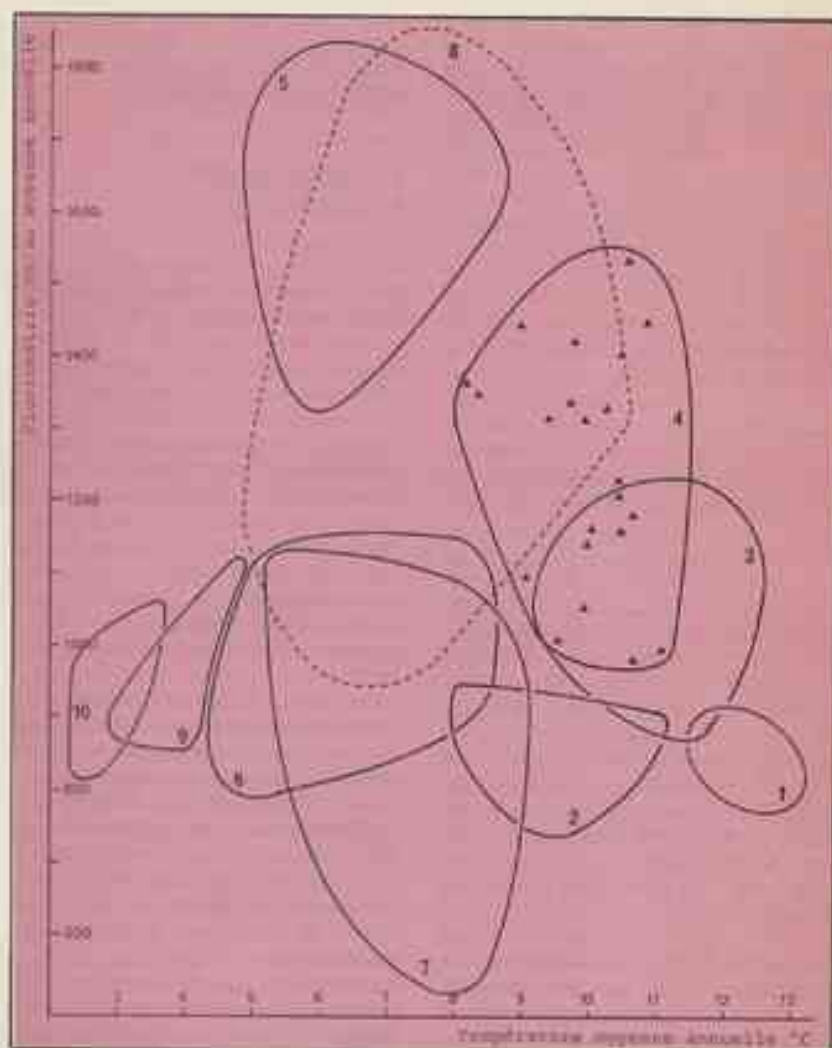


Figure 2 - Aires ombrothermiques des séries de végétation dans les Alpes françaises du Nord (d'après Dobremez et Vartanian). - Pour la clarté de la figure, certaines de ces séries seulement ont été représentées ici. 1, série submontagnarde du chêne pubescent, qui dans cette région n'est représentée que dans le val de la Rhône ; 2, série pré-alpine du chêne pubescent ; 3, série interne du chêne pubescent, plus froide que les deux précédentes ; 4, série du charme pour laquelle on a représenté par des triangles la position des points figuratifs qui ont servi à déterminer le contour de l'aire (ces points n'ont pas été représentés pour les autres séries pour éviter de surcharger la figure) ; 5, série de la hêtraie-épicéa ; 6, série intra-alpine de l'épicéa ; 7, série intra-alpine du pin sylvestre ; 8, série méso-phile du hêtre ; 9, série sub-alpine de l'épicéa ; 10, série du pin cembro. La température moyenne annuelle diminue de droite à gauche du graphique, les séries se suc-

cèdent suivant leur étagement en altitude : les n° 1 à 4 appartiennent à l'étage collinéen, 5, 6 et 7 à l'étage montagnard, 8 et 10 à l'étage sub-alpin. Le cas de la série 8 est particulier : on voit que son aire ombrothermique, dont le contour est figuré en pointillés, est beaucoup plus vaste que les autres, ce qui laisse penser qu'elle est hétérogène et qu'il est nécessaire de reprendre en détail son étude afin de la subdiviser éventuellement ; on peut dès maintenant affirmer que la partie commune avec la série 5 correspond aux hêtraies méso-hygrophiles, que la partie commune avec la série 4 correspond aux hêtraies submontagnardes, la partie comprise entre les deux aires 4 et 5 aux hêtraies à aslarie et céphalanthère ; la signification de la partie basse de l'aire ombrothermique est moins claire. On voit, à propos de cette série, qu'un tel diagramme, qui résulte d'une analyse cartographique, peut vérifier et même orienter l'analyse des écosystèmes par d'autres méthodes.

cours de publication à une échelle plus grande.

Un troisième ensemble réalisé en France est constitué par les cartes publiées par le laboratoire de botanique et biologie végétale de l'université de Grenoble dans les dix-sept volumes actuellement parus des « Documents

pour la carte de la végétation des Alpes » et des « Documents de cartographie écologique » qui en sont la suite. Les feuilles parues sont au nombre de quatre-vingts environ, dont la moitié se rapportent aux Alpes occidentales ; le plan d'assemblage de ces dernières est indiqué par la figure 1.

En France encore, ont été publiées quelques cartes de végétation, non plus suivant le système de Gaussen mais d'après les méthodes et la nomenclature de l'école phytosociologique, par le Service de la carte des groupements végétaux de Montpellier, prédécesseur de l'actuel Centre d'études phytosociologiques et écologiques, et par des laboratoires de l'université de Marseille.

À l'étranger, la cartographie de la végétation se développe rapidement et beaucoup de pays rattrapent leur retard initial, surtout en Europe. Pour nous limiter ici aux cartes synthétiques à petite échelle, nous citerons notamment les cartes générales au 1/1 000 000 existant par exemple pour l'Italie, l'Autriche, l'Allemagne orientale, les cartes au 1/500 000 de l'Allemagne Fédérale et de la Roumanie, la couverture au 1/200 000 totale de la Suisse et de la Tchécoslovaquie, la carte plus synthétique des Pays danubiens et des Balkans au 1/2 000 000, enfin la carte générale de l'URSS au 1/4 000 000. Nous ne pouvons entrer ici dans le détail des cartes hors d'Europe ; signalons toutefois la couverture déjà importante réalisée en Afrique du Nord par diverses équipes françaises et dans la Péninsule indienne par l'institut de la carte du tapis végétal.

Une difficulté importante est constituée par le fait que les différentes cartes se réfèrent à plusieurs systèmes de nomenclature et même à des conceptions différentes des faits à représenter. En ce qui concerne par exemple l'Europe centrale, trois systèmes se superposent ou s'engrènent, ceux de Gaussen, de Braun-Blanquet et de Schmid, et ils ont été longtemps considérés comme incompatibles. Il a été possible de montrer qu'une correspondance était réalisable entre ces trois systèmes et que par exemple le « climat de série » pouvait, dans un grand nombre de cas, être homologué à l'« alliance » de l'école zurich-montpellieraine. Au prix d'un travail comparatif assez laborieux a été développé un système unitaire qui intègre les trois principaux types de nomenclature et qui a été étendu à l'ensemble de l'arc alpin (6).

De ce fait, les biogéographes de différentes origines peuvent maintenant disposer d'un langage commun pour travailler ensemble à des projets à l'échelle européenne, et c'est ainsi

qu'un séminaire tenu récemment (1976) à Grenoble a établi les bases d'une carte internationale de la chaîne alpine et de son avant-pays.

La cartographie écologique

Certes, la cartographie des groupements végétaux présente déjà une foule d'applications directes, de par la simple représentation de la situation existante qui permet d'aborder un inventaire objectif des ressources naturelles. Mais les applications deviennent plus nombreuses et plus intéressantes à partir du moment où l'on intègre dans la cartographie elle-même, et non plus seulement à titre de documentation annexe, les facteurs de milieu, et surtout si l'on ne se contente pas de considérer la carte comme un simple constat, mais si l'on en fait un instrument à la fois analytique et prospectif :

- analytique : la notion d'espèce indicatrice d'un facteur de milieu est bien connue ; mais comme les exigences écologiques d'une biocénose correspondent (sous certaines réserves) à la partie commune des exigences de ses différentes espèces, sa valeur indicatrice est souvent beaucoup plus grande et peut définir la valeur d'un facteur de milieu dans une fourchette assez étroite.

- prospectif : les différents groupements constituant une même série dynamique ne sont que des états possibles, et en quelque sorte interchangeables, à l'intérieur du territoire couvert par la série et où règnent des conditions de milieu homogènes. Toute l'étendue d'une série a donc un même « potentiel biologique » et on peut par exemple y implanter le groupement forestier correspondant aux climax de cette série, et non un autre. Il en résulte qu'une carte des séries, dite encore carte de végétation potentielle, découpe la région étudiée en zones homogènes à l'intérieur desquelles l'action de l'homme, et en particulier la planification de l'aménagement, est assurée d'une certaine unité : à savoir que telle opération qui a, sous la direction d'un spécialiste (forestier, agronome, etc.) réussi ou échoué en un point d'une série de végétation, a une forte probabilité et presque une certitude de réussir ou d'échouer pareillement dans la totalité du territoire occupé par cette série et délimité sur la carte.

L'analyse du milieu naturel

La cartographie directe d'un facteur écologique n'est possible que dans certains cas particuliers : citons par exemple l'observation, au sol ou sur photographies aériennes, du déneigement en montagne que l'on peut mettre en relation avec la biologie des différentes associations végétales, ou bien encore les études expérimentales sur l'ensoleillement exécutées en éclairant une maquette en relief de la région (7). Mais en général il faut exécuter une mesure instrumentale (dont l'assimilation aux conditions écologiques naturelles n'est pas toujours évidente).

Une première famille de documents, la plus ancienne, est constituée par les **cartes bioclimatiques** dans lesquelles on représente la répartition de facteurs du climat qui sont présumés intervenir dans la structure du manteau végétal et dans la distribution des biocénoses : moyennes de température ou de précipitations, risque de gel. Sous leur forme la plus élaborée, ces cartes représentent non plus des facteurs isolés mais des synthèses entre ces facteurs, dont les différents coefficients d'analyse qui ont été proposés sont l'exemple le mieux connu. Rappelons par exemple la Carte bioclimatique de la Région méditerranéenne au 1/5 000 000 (Emberger et coll., 1962), les cartes bioclimatiques du Sous-continent indien (Legris et coll.), la carte des étages bioclimatiques du Maroc (Sauvage, 1963).

Comme l'a démontré Gaussen, la valeur synthétique de la cartographie est ici éclatante : si en superposant la représentation d'un facteur supplémentaire, on obtient une carte bioclimatique qui se met à ressembler davantage à celle de la végétation, c'est que ce facteur a réellement une importance biologique. Il est à remarquer cependant que de telles cartes, comme aussi les cartes pédologiques qui partent du même principe, reposent sur des données dont l'obtention ne fait pas intervenir l'observation directe de la végétation.

Par contre, l'application de cette observation directe à l'analyse des facteurs climatiques commence avec l'apparition, déjà ancienne d'ailleurs, des **cartes phénologiques**, dont le principe consiste à représenter la date d'observation d'un phénomène précis lié au cycle annuel de la végétation

Photo 2 - Méandres et îles du Rhône à l'extrémité méridionale du Jura. - Des associations telles que celle que représente la photo 1, abritant chacune leurs espèces particulières de mousses, sont ici intriquées d'une manière complexe, mais la photographie aérienne, s'appuyant elle-même sur une analyse des types de groupements végétaux, permet de localiser rapidement les gîtes larvaires et de traiter chacun d'eux d'une manière spécifique, à la saison voulue en fonction du rythme biologique des mées en eau. (telché « la phytologie française »).

puvant elle-même sur une analyse des types de groupements végétaux, permet de localiser rapidement les gîtes larvaires et de traiter chacun d'eux d'une manière spécifique, à la saison voulue en fonction du rythme biologique des mées en eau. (telché « la phytologie française »).



et où il commence à percevoir les interactions entre ce milieu et ses propres activités.

La **détection des nuisances** est l'un des domaines dans lesquels la cartographie peut rendre les plus grands services. Certaines nuisances peuvent être représentées d'après des observations ou des mesures directes, comme les trajectoires les plus probables des incendies de forêts et des avalanches, ou la pollution chimique des eaux, encore que pour cette dernière, l'étude des changements dans la végétation, la microfaune ou la microflore qui accompagnent les différentes étapes de l'eutrophisation commence à être d'une aide appréciable (17). Mais d'autres procédés de détection peuvent être fondés entièrement sur la cartographie écologique (18).

Epiphytes et pollutions atmosphériques

Il n'est pas nécessaire d'insister sur ces méthodes qui sont maintenant très connues et sur lesquelles existent de nombreuses mises au point (19).

Fondées sur la sensibilité particulière de certaines cryptogames et notamment des lichens arboricoles à la pollution chimique, elles permettent de relier l'abondance et la vitalité de ces populations végétales au degré d'impureté de l'air et de tracer les « courbes d'isopollution » autour des centres d'émission. Dans certaines conditions, les végétaux supérieurs ont pu être eux-mêmes utilisés, par observation de leurs nécroses ou par dosage des retombées fixées sur leur surface, par exemple dans la vallée de la Maurienne.

Contrôle d'une nappe phréatique

Dans les plaines alluviales de la vallée de l'Isère, en aval de Grenoble, la nappe phréatique se trouve en partie alimentée par des eaux du fleuve et risque donc de subir les conséquences de leur contamination au cours de la traversée dans l'agglomération grenobloise, et par suite de contaminer à son tour par voie ascendante les terrains de culture. La connaissance du niveau supérieur de la nappe était

donc nécessaire et les études hydrologiques ne pouvaient pas l'indiquer avec une finesse suffisante. Grâce à l'existence d'une certaine de sondages, réalisés par l'Electricité de France et à l'aide de piézomètres, la profondeur moyenne de la nappe et l'amplitude de ses oscillations annuelles peuvent être connues en ces points et ont été mises en relation avec la nature des groupements végétaux immédiatement voisins.

Réciproquement, la cartographie détaillée des groupements végétaux a permis ensuite d'avoir une connaissance précise de la surface de la nappe phréatique et de ses variations saisonnières. Des études complémentaires sur la perméabilité et le pouvoir de rétention des sols ont permis de conclure que le risque de pollution est actuellement extrêmement faible (20).

Lutte anticulicidienne

Les seuls procédés de lutte véritablement efficaces contre les moustiques sont actuellement, du moins en milieu rural, ceux qui s'attaquent aux larves : ils consistent, ou bien en des travaux

d'assainissement (« lutte physique ») presque toujours assez onéreux et interférant avec d'autres problèmes d'aménagement de la région, ou bien en épandages d'insecticides chimiques qui présentent l'inconvénient d'une action secondaire difficilement contrôlable sur les autres composants du milieu vivant, sur la faune piscicole et aviaire notamment. Faute de disposer pour le moment d'insecticides, de parasites ou de prédateurs vraiment spécifiques, on peut néanmoins accroître l'efficacité des épandages et réduire les effets secondaires en limitant les traitements aux zones et aux époques nécessaires. Des recherches faites à la demande de l'Entente interdépartementale Aïn-Isère-Rhône-Savoie pour la démoustication en collaboration étroite avec les services de démoustication du littoral Languedoc-Roussillon, de la côte atlantique et de la Corse, ont eu pour objet, dans une première phase, d'établir en détail, avec la collaboration d'entomologistes, les liaisons entre les espèces de moustiques (une bonne trentaine dans la région, chacune avec son écologie propre) et les groupements végétaux, plus facilement repérables, qui leur servent de lieu de ponte, ainsi que les dates d'éclosion des œufs et les durées de développement larvaire. Dans une seconde phase, on a établi la carte des groupements végétaux, suivant les techniques habituelles (prospection au sol et photogrammétrie aérienne) ce qui, compte tenu des relations écologiques précitées, permet de cartographier indirectement les gîtes de larves. Les choses sont toutefois un peu plus complexes (fig. 3). Lorsque plusieurs biotopes correspondent à des conditions voisines et hébergent une faune culicidienne sensiblement identique, justifiant d'une unité de traitement, et que les conditions de mise en eau déterminent le synchronisme d'évolution de ces biotopes, ils ont été alors réunis en unités plus larges appelées niveaux. Les niveaux sont à leur tour regroupés en unités fonctionnelles, qui sont des zones de surface variable, ayant un régime hydrique propre responsable des rythmes d'assèchement et d'immersion des différents niveaux. Ce sont ces niveaux et ces unités, repérés à l'aide d'espèces végétales caractéristiques, faciles à observer en raison de leur taille infiniment plus grande que celle des larves de moustiques, qui sont les éléments de la cartographie écologique employée ici (21).

Pour un marais d'une superficie de l'ordre d'un millier d'hectares (Lavoir, dans l'Ain), une telle carte a pu être réalisée en quelques semaines, alors que la prospection complète des gîtes larvaires aurait par l'observation directe de ces gîtes, exigé un personnel important et des délais très longs (22).

La carte écologique ainsi réalisée ne sert d'ailleurs pas seulement à l'organisation rationnelle du traitement anti-larvaire, mais également :

- à une lutte préventive, par la prévision des époques de mise en eau,
- à une meilleure planification des travaux d'assainissement,
- à la récupération rationnelle des terres assainies, suivant leur vocation qui est, elle aussi, en grande partie indiquée par la composition de la végétation spontanée.

Depuis trois ans, ces méthodes ont été transposées au Québec, où les travaux s'étendent actuellement dans la région du « Moyen Nord » canadien ; d'autres recherches sont en instance en Algérie.

Parallèlement aux travaux sur la démoustication, et s'inspirant du même principe d'une liaison entre animaux et végétaux-repères au sein des biotopes, se poursuivent des recherches sur l'écologie des Ixodidés (tiques) dont certains sont les agents vecteurs de piroplasmose ou d'encéphalites.

La lutte contre les nuisances n'est qu'un des nombreux aspects de la cartographie de l'environnement. La détermination de la vocation des terres en est un autre des plus importants. Ainsi à la demande de l'agence d'urbanisme de l'agglomération grenobloise, des études locales ont été effectuées dans des secteurs où est prévue l'implantation des zones suburbaines nouvelles destinées à décongestionner le bassin de Grenoble, notamment celle des plateaux voironnais au Nord-Ouest. Ici encore apparaît la notion de perception et d'appréciation des faits écologiques par l'homme : la valeur d'une donnée écologique dépend de son contexte et de sa localisation. Ainsi l'intérêt que présente, par son aptitude à l'urbanisation de type résidentiel, la « série delphinio-jurassienne du chêne pubescent » ne peut se manifester qu'au contact d'une ville (Grenoble, Chambéry, Culoz, etc.), alors qu'à l'inverse cette même série sera désertée dans les

parties les plus reculées du Jura méridional car elle ne présente qu'une productivité forestière et des potentialités agricoles limitées.

Pour d'autres thèmes encore, un mode de représentation satisfaisant a pu être trouvé : ainsi l'effet de l'action humaine d'origine urbaine sur le milieu naturel et rural a été étudié dans le contour des feuilles 1/100 000 Bessèges et Bourg-Saint-Andéol, dans le Sud du département de l'Ardèche : la pression démographique permanente et les migrations touristiques ont été évaluées et représentées, ainsi que leur action actuelle et prévisible sur le milieu naturel. Une étude sur un territoire plus vaste, et étendue aux problèmes concernant la haute montagne, a été réalisée dans le cadre du parc national de la Vanoise, de sa zone périphérique et des régions limitrophes (23, 24).

De telles études peuvent être intensifiées et généralisées : c'est une question de moyens et de chercheurs disponibles et il faut donc faire un choix. Mais l'essentiel nous paraît être, au stade actuellement atteint, de tenter des synthèses régionales pouvant déboucher rapidement sur un **prototype de carte de l'environnement**, dont il s'agit de définir le contenu empiriquement plutôt que par des discussions théoriques faites a priori. Deux essais ont été faits en ce sens sur des zones limitées correspondant à deux feuilles au 1/100 000. La feuille de Belley présente l'intérêt de regrouper une zone agricole bas-dauphinoise, une zone forestière jurassienne, une partie de la marge orientale de l'agglomération lyonnaise et de son extension prochaine, la majeure partie du périmètre d'action de l'entente interdépartementale pour la démoustication et un ensemble de sites variés posant chacun leur problème spécifique. Cette feuille offrait donc des possibilités particulières, mais aussi des difficultés considérables pour un travail de synthèse. Comme nous n'avons pas voulu adopter la solution de facilité consistant à réaliser plusieurs cartes thématiques ou bien une carte formée de plusieurs volets transparents, mais que nous tenions essentiellement à établir un véritable prototype unique et maniable, la capacité de la carte s'est trouvée rapidement saturée, et après avoir incorporé l'essentiel des faits relatifs à la pression humaine, il a fallu renoncer à figurer les pollutions. L'incorporation

de nouveaux thèmes n'est possible qu'à condition d'effectuer des choix et de trouver des représentations synthétiques inédites : il y a place, là aussi, pour un effort original de recherche méthodologique, que nous avons continué par la publication récente de la feuille de Bourg-en-Bresse (25, 26).

Il faut rester bien conscient que la réalisation d'une carte complète de l'environnement est un projet très ambitieux, mais déjà l'expérience acquise permet de dégager quelques principes.

- L'analyse cartographique de la végétation semble rester la méthode la plus satisfaisante (27, 28) pour une approche de la représentation du milieu (sauf naturellement en zone totalement et irréversiblement urbanisée). Ainsi les cartes à moyenne et grande échelle (1/100 000 à 1/10 000), qui couvrent dès maintenant la presque totalité des Alpes françaises du Nord et de leur avant-pays (fig. 1), constituent probablement le plus vaste ensemble existant à ces échelles, et par là-même une documentation unique, dont l'exploitation est à peine commencée. Les biologistes doivent pousser leur intervention, dans cette affaire, jusqu'à ses limites, ne pas se contenter de passer le relais aux spécialistes des autres disciplines (climatologues, pédologues, hydrogéologues, agronomes, forestiers, économistes, aménagistes...), mais travailler en étroite collaboration avec eux, tout en prenant soin de ne pas se laisser entraîner dans une « dérive » qui les éloignerait de leurs objectifs normaux.

- Mais il faut éviter que l'intervention, souhaitable et nécessaire, de ces nombreux spécialistes dont certains n'ont peut-être pas atteint, dans la réflexion méthodologique, un état suffisant de maturité ou même simplement de connaissance des problèmes, n'entraîne la réintroduction de concepts assez frustes relevant des abus que l'on fait à tout venant du mot « écologie » ou des tentatives de récupération de celle-ci à des fins discutables et à un niveau assez léger. Il ne peut être question de fonder une cartographie scientifique sur la simple distinction entre : « terres labourées, cultures pérennes (arbres fruitiers, vigne), prairie à végétation fermée ou ouverte, forêt avec ou sans strate herbacée ».

- Il doit rester bien entendu que la cartographie thématique n'est qu'une

méthode de travail et non pas une fin en soi. Si elle représente, comme nous le disions plus haut, un moyen souple et rapide de traitement, puis de diffusion, de l'information, elle a besoin, à tous les niveaux, de s'appuyer étroitement sur d'autres méthodes de recherche. La cartographie écologique ne peut se passer d'une analyse biologique approfondie des faits à représenter.

- Il faut évidemment obtenir de l'utilisateur éventuel de la carte une définition claire des besoins, aller au-devant de lui, et trouver un langage qui soit un véritable décodage des notions purement scientifiques sur lesquelles doit d'abord s'appuyer la carte, pour en rendre ensuite les résultats aisément disponibles.

- Enfin, il faut adopter un rythme et une souplesse de travail qui soit à la mesure de l'urgence et de la mouvance des problèmes liés à l'environnement : éviter d'être perfectionniste, se résigner à publier des cartes sous une forme provisoire pour assurer une diffusion rapide et peu onéreuse des données. En face de situations qui évoluent très vite, l'efficacité suppose la rapidité : est-il excessif de suggérer qu'elle supposerait aussi de donner davantage de moyens aux équipes déjà organisées et expérimentées ?

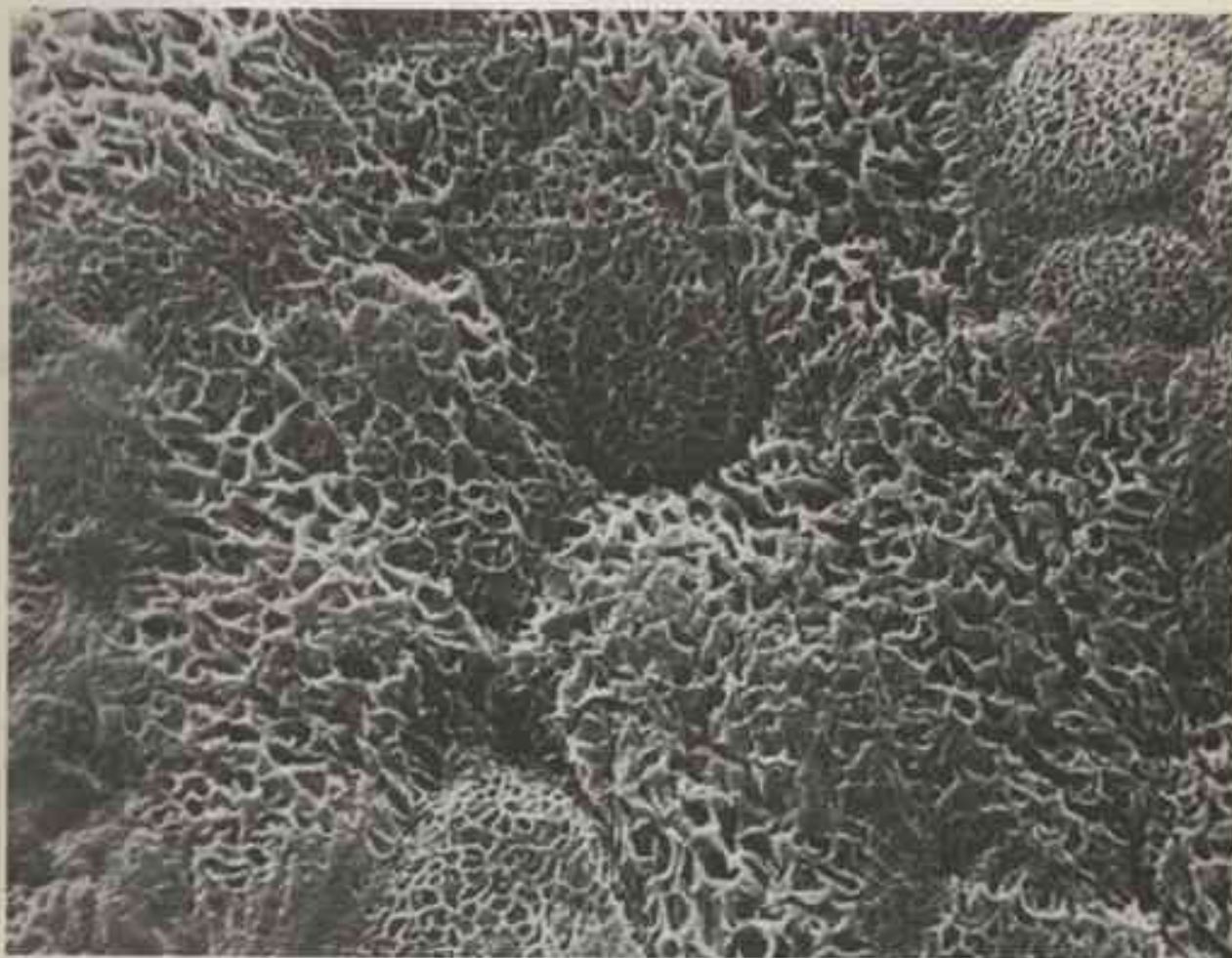
Paul OZENDA
Professeur à l'université
de Grenoble I

Directeur du laboratoire de
biogéographie des grands systèmes
montagneux (LA 242)

BIBLIOGRAPHIE

1. OZENDA P., 1963. — Principes et végétation d'une cartographie de la végétation des Alpes à moyenne échelle. — *Doc. cartogr. Alpes*, 1, 5-12.
2. OZENDA P., 1974. — De la carte de la végétation à une carte de l'environnement. — *Doc. cartogr. Alpes*, 1, 1-2.
3. RICHARDS A.W., 1967. — *Vegetation mapping*. — New York, Ronald Press, 472 p.
4. RICHARDS A.W., 1969-1980. — *International bibliography of vegetation maps*. — *Ann. of Botany*, 3 vol.
5. RIV P., 1974. — La carte de la carte de la végétation. — *Comptes des CNRS*, 33-32.
6. OZENDA P. et WERNER H., 1978. — Les études de végétation de la chaîne Alpine et leurs implications dans les autres systèmes phytogéographiques. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 49-74.
7. RIV P., 1978. — Services de la carte de la végétation du CNRS. — *non publié*.
8. HANSEN H., 1971. — Carte des données de végétation primaires dans le massif de Vercors. — *Revue de l'enseignement régional*, n° 11, 27 p. — 1 carte rect., 1 carte circ.
9. SCHREIBER R.J., 1966. — Les conditions climatiques du massif de Vercors et leur gradient. — *Ann. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 21 p. — 1 carte rect.
10. RICHARDS A.W., 1969. — *Cartographie de l'Europe* (Alpes et Pyrénées). — *Doc. cartogr. Alpes*, VI, 153-162.
11. RICHARDS A.W., 1969. — Une interprétation biogéographique de la végétation de l'Europe (Alpes et Pyrénées). — *Doc. cartogr. Alpes*, VII, 7-23.
12. OZENDA P. et VANTANEN M.J., 1978. — *Cartographie des Alpes de la végétation*. — *Doc. cartogr. Alpes*, XIII, 29-68.
13. CARLHOLM A., 1978. — Carte biogéographique des Alpes de Bourg-Saint-Maurice. — *Doc. cartogr. Alpes*, XV, 47-52. — 1 carte rect.
14. OZENDA P. et PAUTOU B., 1975. — Carte biogéographique de la Tignes-Pi (XXXII-31). — *Doc. cartogr. Alpes*, X, 87-90. — 1 carte rect.
15. JACQUINEN E. et JOUQUET J.P., 1976. — Recherches sur les associations végétales montagnardes. Application à la production d'une carte rect. de haute altitude. — *Cartes rect. de haute altitude*, n° 5, 41-42 p. — 1 carte rect.
16. HANSEN H. et HANSEN E., 1978. — *Naturlandschaftliche Kartierung*. — *Landwirtschaftliche Kartierung*. — *Geograph. Anstalt Västernorrlands*. — *Uppsala*, 1978. — *Uppsala Universitet*. — *Uppsala*, 1978. — 1 carte rect.
17. WILLER T., 1972. — The gradient dimension of the Alps. — *Ann. of Botany*, 1, 3-14.
18. OZENDA P., 1974. — Végétation et altitude. — *Revue de l'enseignement régional*, n° 11, 27 p. — 1 carte rect.
19. FERRY R.W., RICHARDS A.W. et HANSEN H., 1973. — *Alpine vegetation and climate*. — *London*, Arnold Press, 282 p.
20. PAUTOU B., CARLHOLM A. et PORTETOT J., 1978. — Carte biogéographique de la Tignes-Pi. Application à la zone d'une coupe géologique et de ses implications. — *Doc. cartogr. Alpes*, XIV, 11-12. — 1 carte rect.
21. RIV P., PAUTOU B. et VIGNY P., 1988. — Document pour l'élaboration de la carte biogéographique de la Tignes-Pi. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 49-52. — 1 carte rect.
22. RIV P. et PAUTOU B., 1988. — Carte biogéographique de la Tignes-Pi. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 25-28. — 1 carte rect.
23. COUTEAUX M., 1974. — Carte de cartographie biogéographique de la Tignes-Pi. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 49-52. — 1 carte rect.
24. OZENDA P., 1978. — Carte de l'environnement des Alpes françaises dans le massif de la Vercors. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 49-52. — 1 carte rect.
25. OZENDA P., 1978. — Carte biogéographique de la Tignes-Pi. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 49-52. — 1 carte rect.
26. OZENDA P., 1978. — Carte biogéographique de la Tignes-Pi. — *Doc. cartogr. Alpes*, XVI, 49-52. — 1 carte rect.
27. RIV P., 1977. — *Vegetation and the cartography of the Alps*. — *Colloque UNESCO*. — *Geneva*, 1977. — *Geneva*, 1977. — 223-237.
28. BOCHAVA V., 1978. — The concept of vegetation maps and how to make them. — *Acta bot. Soc. Sci. Acad. Sci. USSR*, 11-42. — 1 carte rect.

LE MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE METHODE D'EXPLORATION EN BIOLOGIE



Epithélium du bassinet de Rat en restriction hydrique - X 4200 (d'après Hagège).

Dès 1968, des biologistes français ont souhaité utiliser la microscopie électronique à balayage en réflexion pour des recherches de morphologie ou de topographie fines.

Ainsi depuis 1972, l'utilisation en service extérieur du microscope électronique à balayage (MEB) installé au laboratoire d'évolution des êtres organisés dans le service du professeur Bocquet a permis la réalisation d'environ 30 000 photographies correspondant aux demandes de quelques 120 chercheurs d'appartenances diverses.

Les microscopes électroniques permettent d'observer à des grossissements qu'il n'était guère concevable d'atteindre il y a quelques décennies, des réalités qui ne pouvaient antérieurement qu'être soupçonnées par les observateurs les plus minutieux ou même qui échappaient totalement à leur sagacité.

Le microscope électronique à transmission a ouvert le domaine de l'ultrastructure cellulaire. Les études de topologie se font sur réplique de l'échantillon obtenue par une techni-

que délicate à réaliser mais de bonne résolution puisque l'information est donnée par image à partir des électrons primaires eux-mêmes.

Le microscope électronique à balayage, bien que l'image se forme à partir d'électrons secondaires, permet l'observation directe de l'échantillon avec une grande profondeur de champ, après une préparation généralement simple, qui restitue les réalités biologiques sans artefacts et avec le minimum d'aberrations.

Principe du MEB

La source du faisceau d'électrons est un canon à électrons composé d'un filament de tungstène chauffé à incandescence et d'une électrode de focalisation ou « Wehnelt » qui constituent la cathode. Entre celle-ci et l'anode, on applique une différence de potentiel variant de quelques kilovolts à 50 KV. Le faisceau d'électrons primaires ainsi produit, limité par des diaphragmes, est focalisé par l'intermédiaire de deux lentilles électromagnétiques condenseurs sur l'échantillon. Le diamètre de cette sonde est de l'ordre de quelques dizaines d'angströms. Le faisceau d'électrons primaires se déplace ainsi en XY sur la surface à étudier. Son impact sur l'objet conducteur qu'est l'échantillon biologique métallisé produit essentiellement outre des électrons rétrodiffusés de grande vitesse, des électrons secondaires de faible énergie. Captés par le scintillateur, ils sont à l'origine, par l'intermédiaire d'un système photomultiplicateur, d'un courant variable en fonction de leur nombre par surface élémentaire explorée. Le courant incident (point par point) sur un écran de télévision est proportionnel à ce courant récupéré à la suite du photomultiplicateur, le balayage du système vidéo est synchrone avec celui du faisceau d'électrons primaires sur l'échantillon.

Impression de relief

Le faisceau primaire ne traverse pas l'échantillon. La brillance d'un point de l'image sur l'écran est fonction de la quantité d'électrons secondaires émis au point correspondant de l'objet. Cette dernière dépend de l'angle d'incidence du faisceau primaire et de l'efficacité de collection des électrons secondaires : les variations d'intensité des différentes zones de l'image seront donc une expression fidèle du

modèle de surface de l'échantillon. Toutefois, l'énergie du faisceau d'électrons primaires doit être dosée afin que son impact sur l'échantillon déclenche l'émission d'électrons secondaires en nombre adéquat pour obtenir un courant très modulé dans les oscilloscopes. On obtient cette illusion du relief si spectaculaire parce que l'amplitude de la courbe de courant des tubes cathodiques peut être réglée électroniquement, ce réglage permet de visualiser dans le domaine des gris, les quantités relatives d'électrons secondaires réémis.

La qualité de l'information dépendant de l'incidence du faisceau sur l'échantillon conducteur, tous les MEB sont conçus pour permettre l'inclinaison et la rotation de l'objet et donc l'exploration sous différents angles de ses diverses faces.

L'inclinaison entraîne des effets de perspective.

Si un même champ est photographié sous deux angles différents de 7° à 10° , l'observation des deux clichés avec des lunettes stéréoscopiques permet d'observer le champ en vision binoculaire réelle. On peut alors faire les mesures désirées et juger de la position relative des différentes structures. Actuellement, cette technique est utilisée, par exemple pour des études :
- de surface de testa de gastéropodes, de crustacés ;
- des profondeurs d'orifices comme des stigmates de larves d'insectes, des micropyles d'œufs divers ;
- de longueur de soie ou de poil des cuticules d'insectes, de crustacés ou de tout autre échantillon biologique ;
- de disposition de pièces buccales, de pièces d'appendices copulateurs. Des atlas stéréoscopiques sont en projet. Cependant, cette technique ne peut être utilisée pour des trop forts grossissements : le changement d'inclinaison de 7° à 10° entraîne alors

une modification trop importante du champ.

Le grossissement continu

La possibilité de grossissement en continu de $10 \times$ à $10^4 \times$ permet, à partir d'un même échantillon, d'étudier des détails très fins de structure et de topologie.

Le grossissement dépend du rapport :

$$\frac{\text{amplitude du balayage de l'image}}{\text{amplitude du balayage de l'objet}} = \frac{XY}{XY}$$

Le pinceau d'électrons balaye l'échantillon en lignes dont l'amplitude XY est commandée par les bobines des déflecteurs qui ont un réglage continu, alors que le balayage du scope d'observation est d'amplitude XY fixe à la dimension de l'écran.

Profondeur de champ

La profondeur de champ est la distance séparant deux plans (P et P') de part et d'autre du point de focalisation du faisceau (F), tel que le diamètre des sections qu'ils déterminent sur celui-ci est inférieur à la distance séparant deux points dont on peut avoir les images distinctes sur l'écran de l'oscilloscope.

Elle dépend de trois facteurs :

- la résolution du système vidéoscopique : 1 200 lignes/11 cm = 5 constante ; 1 200 spots/1 ligne, le spot est de $1/10$ mm ;
- le grossissement G ;
- l'angle d'ouverture α défini par le diamètre du diaphragme (100 μ , 200 μ), et la distance diaphragme-objet :

$$PP' = 2 \lambda / \alpha^2 G$$

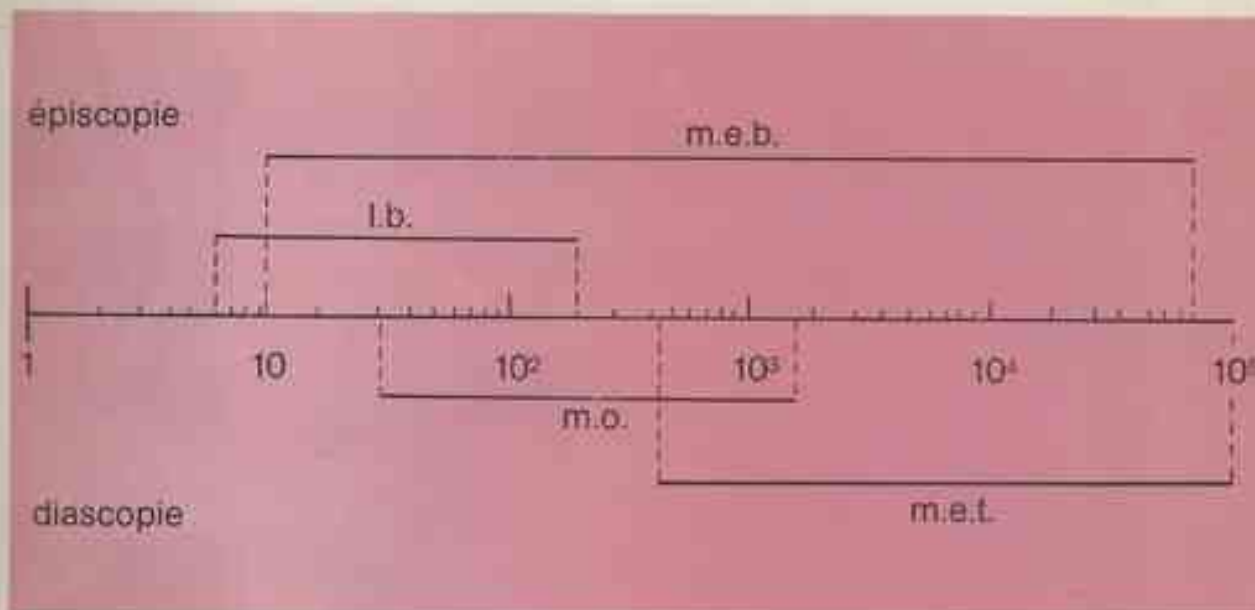
Pour l'appareil que nous utilisons $\alpha = 1/3 \cdot 10^{-1}$ radian, le diaphragme est de 200 μ , nous aurons donc : $PP' = 60/G$ mm

G	10	10^2	10^3	10^4
PP'	6 mm	600 μ	60 μ	6 μ

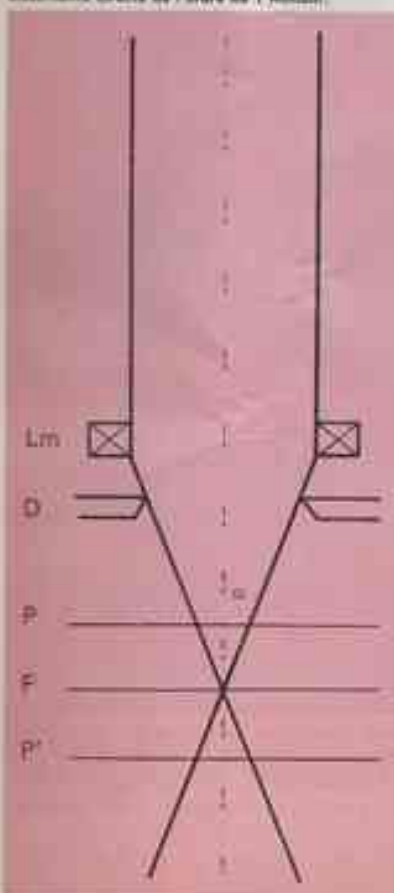
Par conséquent, si au microscope optique, au grossissement 450, la profondeur de champ est de 1μ , elle est de l'ordre de 130 μ au MEB. Cette profondeur de champ explique l'intérêt du MEB à réflexion dans le domaine des études morphologiques à trois dimensions, puisque, pratiquement, quel que soit le relief et l'échantillon toutes les parties seront nettes.

Cochille de gastéropode : Solenostoma - X 20 (d'après Bouchet). Montage stéréoscopique.





Comparaison des gammes de grossissement (échelle logarithmique) des différents appareils d'observation optiques et électroniques. MEB : microscopie électronique à balayage - LB : loupe binoculaire - MO : microscopie optique - MET : microscopie électronique à transmission. (Actuellement les microscopes électroniques à transmission permettent d'obtenir des grossissements directs de l'ordre de 1 million).



Préparation des échantillons

L'exploitation des performances de cet appareil pour l'étude des échantillons biologiques nécessite que ceux-ci soient préparés. Outre la métallisation, le nettoyage et la déshydratation sont indispensables.

La métallisation a pour but de recouvrir le spécimen d'une mince couche de métal conducteur en l'occurrence d'un alliage d'or-palladium. Dans une enceinte, sous un vide de l'ordre de 10⁻⁴ torr, un fil d'or-palladium est chauffé. Les molécules s'évaporent et se déposent sur l'échantillon. La couche doit avoir une épaisseur de 250 à 300 Å. Auparavant, en créant un arc électrique entre deux électrodes de graphite, on a fait un ombrage au carbone qui facilite l'adhérence de l'alliage indépendamment de la nature du support difficile à métalliser (surface creuse ou chitineuse par exemple).

Avant d'être métallisés, les échantillons doivent avoir subi une déshydratation. Nous nous sommes alors heurtés à des difficultés et nous avons défini les catégories d'échantillons suivantes.

Les échantillons non déformés

Dans ce groupe se situent principalement :

- les téguments rigides
 - les squelettes
 - les coquilles
 - les tissus durs : os, émail, etc...
 - les particules minérales, les cristaux.
- Pour ces échantillons épais, opaques et

qui ne pouvaient être étudiés qu'à la loupe binoculaire, le MEB autorise des analyses à des échelles différentes.

À partir de faibles grossissements, des informations très intéressantes peuvent être collectées en faisant les prises de vue au bord de coupes épaisses ou des cassures qui permettent de visualiser des structures dans trois plans.

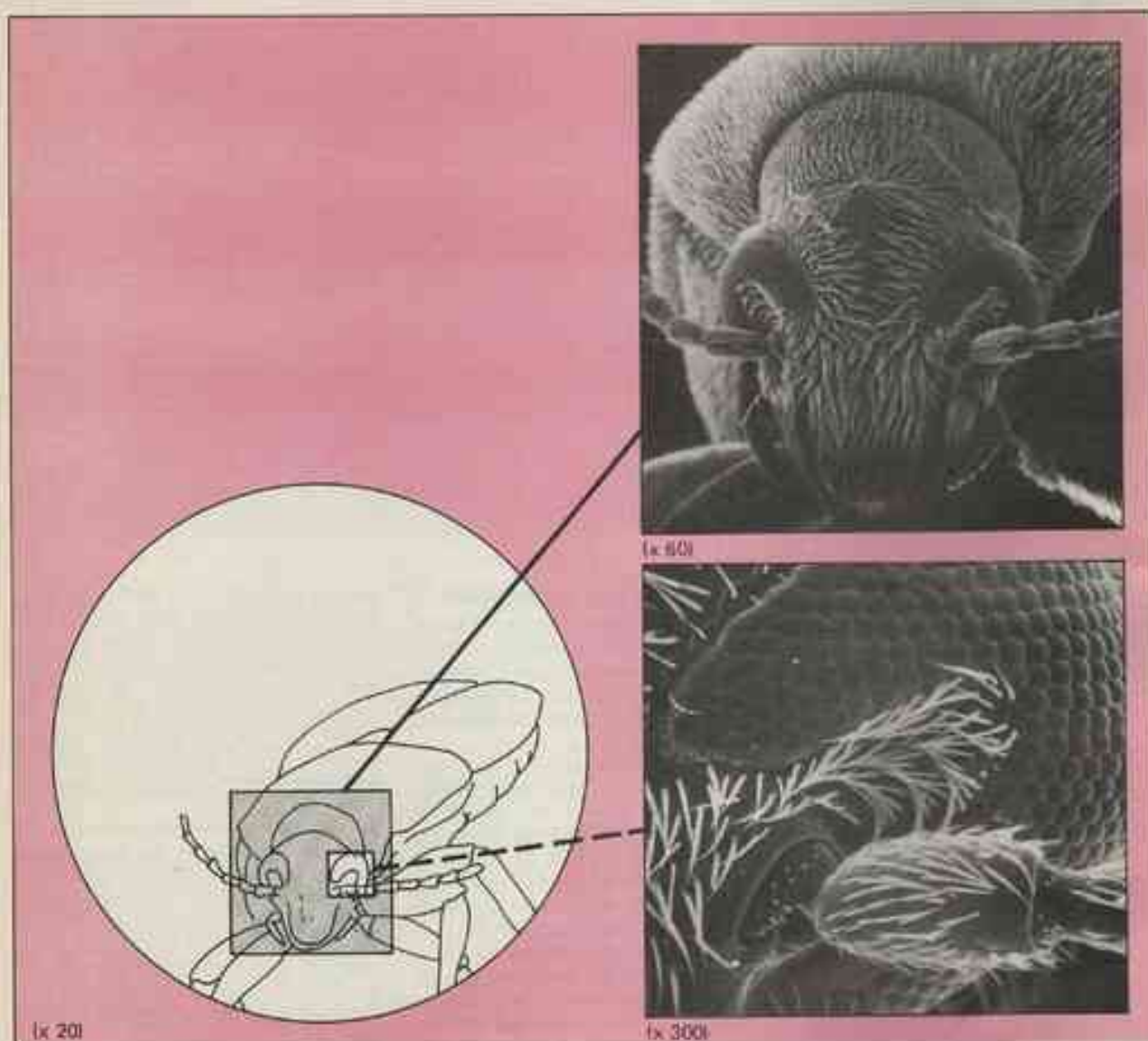
Les vues d'ensemble de très petits organismes aquatiques qui posent tant de problèmes en macrophotographie traditionnelle sont réalisées facilement. L'animal endormi est déposé sur une lamelle dans une goutte d'eau que l'on assèche lentement pour qu'il y adhère. On peut également congeler l'animal avant de le fixer sur le support.

Souvent le MEB permet de faire des études statistiques et biométriques de grande rigueur sur ces organismes, puisque l'échantillon peut être orienté et incliné toujours de la même façon et les prises de vue faites au même grossissement.

Leur préparation consiste essentiellement à les nettoyer parfaitement :

- soit par la méthode des ultra-sons qu'il est souhaitable d'utiliser avec discernement afin de ne pas détruire la sétosité ou les microstructures de surface ;

- soit par des techniques de lavage qui donnent de très bons résultats si elles sont effectuées très soigneusement : lavages dans l'hypochlorite de sodium ou dans la potasse diluée à chaud ou à froid selon la fragilité du



tissu : ces lavages sont suivis de rinçages prolongés dans des bains renouvelés d'eau bidistillée, un agitateur magnétique assure la bonne circulation de l'eau. Les détergents biologiques donnent également de bons résultats suivant le même protocole de lavages et de rinçages.

Il est très difficile, sinon impossible, de débarrasser de leurs souillures les échantillons fixés et conservés depuis longtemps dans l'alcool ou le formol. L'observation des structures éparpillées après digestion enzymatique ménagée et différentielle du tissu osseux, a donné des résultats très nouveaux sur les localisations et les structures de certains réseaux.

La lyophilisation, par le phénomène de caléfaction qui se produit quand on plonge l'échantillon dans l'azote liquide, permet d'obtenir des surfaces propres.

La préparation des tissus durs, comme les os ou le tissu dentaire, ne soulève aucune difficulté spéciale, cependant, il ne faut pas polir les pièces contrairement à ce qui est recommandé pour les autres techniques d'observation de ce matériel.

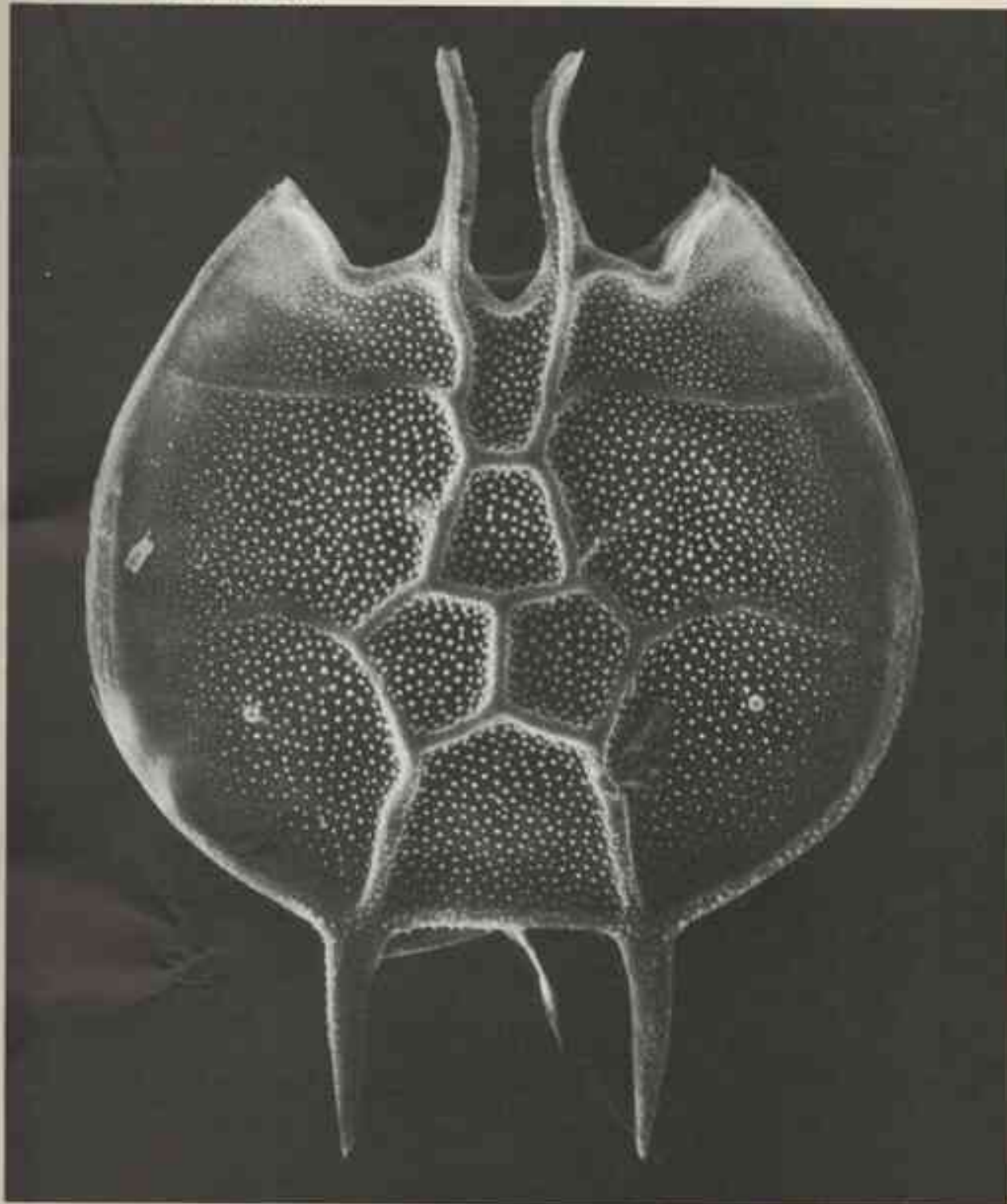
Les échantillons très déformés par la déshydratation

Ils peuvent être répartis en trois catégories :

- Échantillons fragiles de très petite taille.

Les éléments figurés du sang, les spermatozoïdes de l'homme, de pleurodèles, de taureau, ainsi que des algues unicellulaires et des protozoaires ont été étudiés dans notre service soit pour des travaux de biométrie, de statistique, soit pour des études de morphologie.

La fixation préférentielle est celle du microscope électronique à transmission, dans des solutions tampon étudiées pour respecter les équilibres osmotiques, suivie de dilutions par centrifugations successives pour obtenir la concentration souhaitée. La déshydratation classique pour bains de concentration progressive d'alcool donne

Carapace du Rotifère du genre *Notaeus* - X 600.

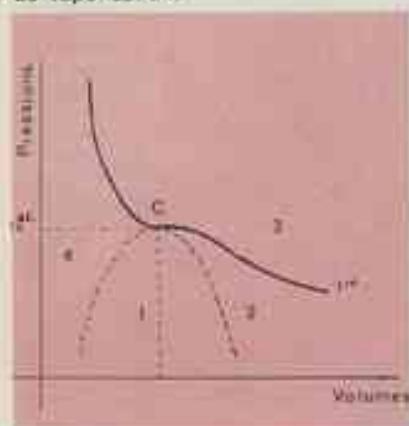
de très bons résultats. Enfin les éléments sont disposés soit sur des lamelles soit sur des millipores de diamètre voulu. Les lamelles permettent d'avoir des fonds de prise de vue très uniformes, mais le matériel est très

aplati en raison de son adhérence sur le support. Les millipores ne permettent pas d'avoir un beau fond et ne supportent pas très bien l'impact du faisceau, mais les éléments étudiés sont moins aplatis.

Les cultures de tissu enssemencées sur des lamelles, fixées classiquement peuvent être déshydratées par la méthode du point critique. Cette technique donne d'excellents résultats pour le matériel de ce premier groupe.

On aimerait déshydrater directement les cellules par cette technique, mais le point critique de l'eau (374°C et 3 181 psi) dégraderait les tissus et serait trop dangereux à réaliser en laboratoire. On travaille donc soit avec le gaz carbonique liquide soit avec le fréon. Mais ces liquides ne sont pas directement miscibles à l'eau des tissus. Il faut utiliser des bains intermédiaires, très progressifs, de liquides miscibles d'une part à l'eau tissulaire, d'autre part au CO₂ ou au fréon 120. Avant le CO₂ on emploie généralement l'acétone ou l'amylacétate, et avant le fréon 120 du fréon 113.

Dans une enceinte close où les échantillons dans l'acétone pure ont été déposés, est introduit du CO₂ liquide. Pour une température donnée : 31°C et une pression donnée de 76 atm, il y a continuité entre l'état liquide et l'état gazeux sans passer par la courbe de vaporisation.



Isotherme 31°C du CO₂.
Graphique d'Andrews (d'après Dagnon et Simon)

1. Liquide - vapeur saturante
2. Vapeur sèche
3. Gaz
4. Liquide

Notre appareil permet donc, par le réglage de la température, pour un volume constant, d'obtenir le point critique : état d'équilibre entre la phase liquide et la phase gazeuse, ainsi la tension de surface cellulaire est nulle et les cellules se vident du CO₂ liquide sans déformation de leurs parois.

• Échantillons mous mais de grosse taille.

Tissu pulmonaire ou intestinal, épithélium, organismes très mous comme des annélides, des méduses, des larves. Ce sont des tissus mous mais plus denses ou plus épais, difficiles à fixer dans leur masse et qui se rétractent au cours de la déshydratation.

Les meilleurs résultats sont obtenus lorsqu'il est possible de fixer par perfusion. Le matériel est alors beau, que ce soit après passage au point critique ou après lyophilisation.

Malgré tout, après passage au point critique, on constate souvent sur la surface de l'échantillon, des souillures de type extrusion cellulaire. Les liquides intermédiaires ont provoqué la dissolution de macromolécules qui se coagulent à la surface.

La lyophilisation qui consiste à congeler un échantillon dans l'azote liquide par exemple, puis à extraire la glace sous vide dans un lyophilisateur, ne donne pas toujours les résultats escomptés sur des tissus frais. L'eau libre et surtout l'eau liée sont difficiles à extraire. Les cristaux de glace dont on ne peut éviter la formation, détériorent les parois cellulaires. La congélation provoque souvent des cassures dans des régions de moindre résistance, mais les échantillons soigneusement fixés supportent très bien cette technique, les parois cellulaires sont alors moins fragiles.

Par cette technique les surfaces cellulaires des tissus gardent l'aspect turgescent du tissu frais. Les détails comme les microvillosités, les limites cellulaires, peuvent être très bien observés et comparés, et illustrent les protocoles d'expérience qui tentent d'expliquer la physiologie cellulaire du tube digestif, du filtre rénal, du tissu pulmonaire par exemple. Toutefois, la manipulation est très longue et après lyophilisation les échantillons sont devenus cassants et difficiles à manipuler.

Les organismes très mous qui avaient été souvent étudiés en coupe histologique au microscope optique et dessinés, présentent, ainsi lyophilisés, l'allure du vivant. L'exploration point par point avec la gamme étendue des grossissements, les possibilités d'inclinaison et de rotation de l'appareil ont permis d'étudier très en détail des pores, des stigmata, des ornements, autant de détails qui n'avaient jamais été vus par rapport à l'ensemble de la pièce ou sur différentes faces d'un même échantillon. En replaçant le détail dans l'ensemble de l'organisme nous avons pu obtenir des informations décisives sur des espèces jumelles de drosophiles ou de copépodes qui ne différaient que par de fins détails (taille, nombre ou forme des pièces étudiées).

• Échantillons de structure hétérogène

De nombreux échantillons biologiques sont de structure hétérogène, les différents niveaux n'accusent pas la même déformation à la déshydratation : œufs recouverts d'une coque, paroi de tube digestif, larves d'insectes, protozoaires recouverts d'une coque, crustacés dont la cuticule peut être plus ou moins rigide. La technique de déshydratation est alors très aléatoire. Après lyophilisation ou traitement au point critique, les organismes peuvent être très bien conservés. Cependant une fixation longue avec un fixateur pénétrant, suivie d'une dessiccation lente à l'air peut aussi laisser l'échantillon en très bon état.

Certains insectes, certains arachnides au moment de leur mort, se rétractent considérablement mais une congélation précédant juste la métallisation, évite cet inconvénient.

Les formes sphériques semblent très bien conservées par la technique du point critique qui a permis d'analyser avec succès des œufs de batraciens, de truite, de poissons.

Les échantillons de botanique ne souffrent pas des traitements au point critique ou de lyophilisation, bien qu'ils supportent généralement mieux la déshydratation en raison de la nature de leur paroi.

Ayant mis au point ces différentes techniques, nous pouvons maintenant examiner au MEB tout échantillon biologique.

Outre les exploitations précitées des séries de prises de vue selon un axe ou deux permettant de reconstituer des grandes surfaces pour analyser l'évolution d'une structure cellulaire : morphogénèse d'organes d'embryon de poulet, premiers stades du développement embryonnaire de certains organismes, production tégumentaire des arthropodes, formations squelettiques d'échinodermes.

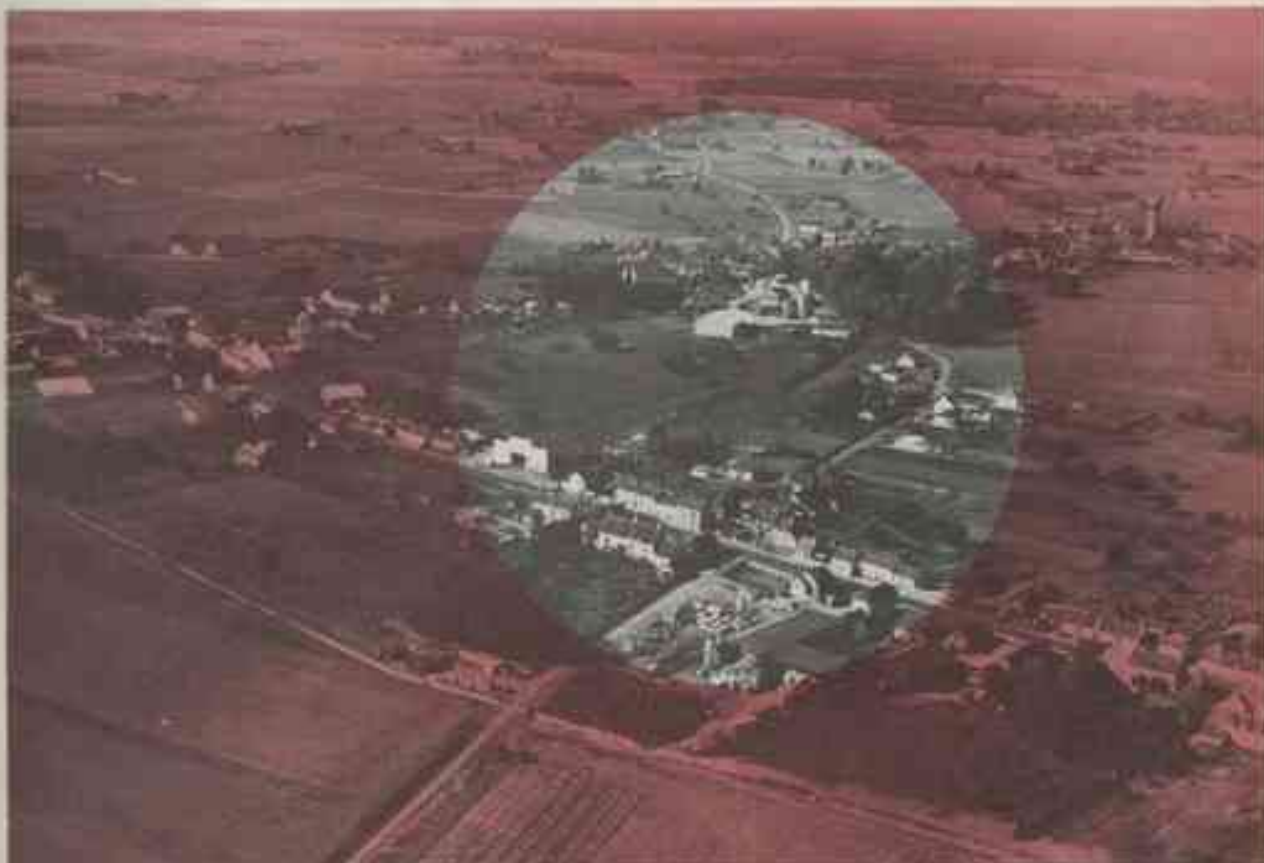
Le grandissement continu, la rotation, l'inclinaison, le déplacement peuvent être enregistrés au magnétoscope, outil très utilisé en pédagogie.

Depuis la mise en service de ce MEB, nous nous sommes donné pour principe non pas d'utiliser l'appareil au service d'une iconographie souvent étonnamment belle ou attrayante mais d'exploiter cette technique d'analyse approfondie pour élucider certains aspects de sujets de recherche.

Dani GUILLAUMIN
Ingénieur CNRS

Laboratoire d'Évolution
des êtres organisés
Université Pierre et Marie Curie

POUR UN AMENAGEMENT RATIONNEL ET HUMAIN DU TERRITOIRE RURAL



Chimiste organicien, Pierre CHABRIER entre au CNRS en 1942. Pendant 22 ans, il dirige le service de chimie de l'institut de pharmacologie de la faculté de Médecine de Paris où il participe à de nombreux travaux interdisciplinaires.

Inspecteur des établissements classés de la Seine dès 1942, il fut chargé en 1963 par le Ministre de l'Industrie d'organiser la formation d'un corps national d'inspecteurs des établissements classés, chargé de protéger l'environnement contre les nuisances externes de l'industrie.

Son expérience scientifique pluridisciplinaire et ses responsabilités humaines de fonctionnaire d'autorité l'ont préparé à aborder l'étude exposée ci-après.

La commune de Loury (Loiret) a été choisie comme thème d'une étude exhaustive.

Bien qu'habitant depuis deux ans seulement la commune de Loury près d'Orléans, j'ai eu la surprise en 1971 d'être invité par quelques notables à me présenter aux élections municipales.

L'intérêt scientifique d'une étude pluridisciplinaire aux fins socio-économiques, encore jamais réalisée, me conduisit après concertation d'organismes et de personnalités compétentes à envisager une telle recherche.

Devenu Maire de Loury, il a été possible d'entreprendre une étude concer-

nant le développement rationnel d'une commune rurale située au voisinage d'une ville en expansion, Orléans.

La société d'études des sciences de l'environnement (SODESE) qui a pour but d'encourager les études concernant les relations entre l'homme et son environnement lança et coordonna les premiers travaux dès 1971. Ces travaux purent être poursuivis et terminés grâce à la participation de la DGRST.

Cet article présente les études effectuées par des hommes compétents et désintéressés, auxquels je rends hommage. Il tente également d'exprimer quelques enseignements généraux découlant de cette étude de « cas ».

Loury est une commune rurale de 1 080 habitants, située à vingt kilomètres d'Orléans, sur la route de Pithiviers. D'une surface de 45 km², dont le tiers est boisé, elle occupe sensiblement le cœur d'une petite clairière de la forêt d'Orléans. Une trentaine de familles d'agriculteurs se partagent 1 400 hectares de cultures assez polyvalentes.

La population agricole est largement minoritaire, la proportion de personnes ayant dépassé soixante ans est relativement importante. Il existe une dizaine de petites installations industrielles, un bureau de poste, un cabinet médical, une pharmacie, une ambulance, un notaire, un coiffeur, deux garages, trois restaurants, plusieurs commerces d'alimentation, divers artisans et dix-sept associations et sociétés animant et facilitant la vie communale.

Les données recueillies, les réflexions et les projets qui peu à peu se dégagent des études dont il sera fait état et de nombreuses concertations ont été rassemblées, selon leur finalité, autour de trois objectifs de qualité, objectifs d'apparence autonome, en fait complémentaires et cohérents : **Loury commune agricole, Loury commune résidentielle, Loury commune autonome et sociale.**

L'observation préliminaire et fondamentale qui doit être faite est celle-ci : « C'est dans un cadre agricole, qui serait aussi un corset, c'est-à-dire un obstacle à une trop forte croissance démographique, à une urbanisation excessive, que le développement de la commune de Loury a été souhaité par ses habitants et qu'il a été par conséquent conçu et préparé ».

Loury commune agricole

Il ne suffit pas de réserver aux terres cultivables la plus grande surface possible pour affirmer la pérennité de la vocation agricole d'une commune. Cette vocation ne peut être maintenue qu'autant que la culture est suffisamment florissante et stable, c'est-à-dire compétitive par ses rendements et par ses méthodes ; opportune par la nature des espèces cultivées, variable selon les besoins du marché agricole ; protégée enfin dans son « zonage » par des moyens administratifs efficaces et raisonnables.

Assurer les caractères de compétitivité, d'opportunité, de protection d'une zone de culture polyvalente répartie entre d'assez nombreux exploitants, pose quelques problèmes. Nous n'évoquerons cependant ici que les

aspects techniques de ces problèmes les plus faciles à analyser, les plus sensibles aux solutions rationnelles.

L'expérience de ces deux dernières années a permis d'observer les effets parfois désastreux des circonstances atmosphériques sur les rendements agricoles. On a bien raison de dire que l'agriculture est tributaire du temps. Mais dans quelle mesure cette fatalité considérée encore irréductible par beaucoup de cultivateurs l'est-elle vraiment et totalement ?

L'année 1975 a été anormalement pluvieuse ; l'année 1976 est l'année de la sécheresse. Dans les deux cas, beaucoup trop de cultivateurs ont assisté, pratiquement impuissants, à la chute de leurs espoirs de recueillir le juste fruit de leur travail. Pour la seule année 1976, les pertes pour l'ensemble de la commune de Loury ont été évaluées par les intéressés à trois millions de francs.

Certes, une action de solidarité nationale atténuera, par des aides diverses, ces pertes considérables. Mais la sécurité, le prestige, la dignité même d'une profession s'accommodent mieux d'une technicité et d'une gestion au niveau des connaissances et des moyens de l'époque que de tous les artifices socio-économiques de détresse, tendant à corriger les effets désastreux d'une certaine forme de l'imprévoyance. En la circonstance, cette imprévoyance résulte de l'incapacité ou du retard à mettre en œuvre les moyens acquis de prévention ou de lutte contre les calamités naturelles. Sans être agriculteur chevronné, toute personne observant avec intérêt le milieu agricole peut à la réflexion énoncer les conditions essentielles qu'il conviendrait de réunir, afin d'assurer avec le maximum de probabilités, la rentabilité régulière de la production agricole.

Assurer le rendement optimal des terres, ainsi que leur capacité à produire une variété de culture souhaitable, suppose **une connaissance convenable du sol et du sous-sol, une action éventuelle d'aménagement des terres et un plan de culture judicieux.**

Laisser à l'individu insuffisamment informé le choix d'actions et d'initiatives que le progrès des connaissances et celui des techniques a rendu possibles et que l'évolution des besoins rend souhaitable, est l'une des insuffisances de notre temps.

Il est convenable et naturel que les responsables interviennent à tous les niveaux nécessaires (techniques, ad-

ministratifs, économiques, etc...) par des informations exactes et claires et par des soutiens réels. Les édiles communaux, notamment, ont des responsabilités à assumer, surtout lorsqu'ils projettent d'asseoir leur politique de développement sur la prospérité de la culture qui est la garantie de l'utilisation agricole des terres vouées à cet usage.

Dans la perspective de « stabiliser, de contribuer à maintenir la prospérité agricole communale », des études ont donc été faites sur le territoire de la commune de Loury par divers organismes. Ces études se sont traduites par des cartes à une échelle utilisable (celle du 1/10 000^e a été retenue) qui sont accompagnées de commentaires indispensables à leur utilisation :

- une carte géologique des formations superficielles, établie par le laboratoire de géologie historique de l'université d'Orléans, dirigé par le professeur Gigout. Ce document essentiel constitue une base à toutes les déterminations concernant le sol ;

- une carte pédologique, établie par l'Institut national agronomique, sous la direction du professeur Horemans. Cette carte permet d'élaborer des « cartes d'application » par le simple jeu de la sélection et de la traduction de l'information qu'elle renferme, telles les cartes de drainage, de texture, de fertilité minérale, ainsi que celles exprimant les contraintes d'utilisation ou les potentialités diverses ;

- une carte hydrogéologique, établie par le bureau de recherches géologiques et minières indiquant les ressources en eau de la commune, ainsi que les emplacements favorables à l'implantation des captages complémentaires.

A ces cartes s'ajoute une étude météorologique : deux postes météorologiques régulièrement relevés ont été installés à Loury. Disons tout de suite que pour être utilisables, ces études météorologiques demandent le recul d'une bonne décennie. Encore faut-il commencer !

Ces connaissances une fois acquises, comment allait-on les utiliser dans l'intérêt de la culture locale ? Il est apparu que, sur 1 400 ha de terres cultivées, quatre cents environ, presque le tiers, étaient « inondés » en période pluvieuse.

Nécessité d'une politique de prévision

La nécessité de normaliser la production agricole, en la soustrayant aux effets des calamités les plus courantes,

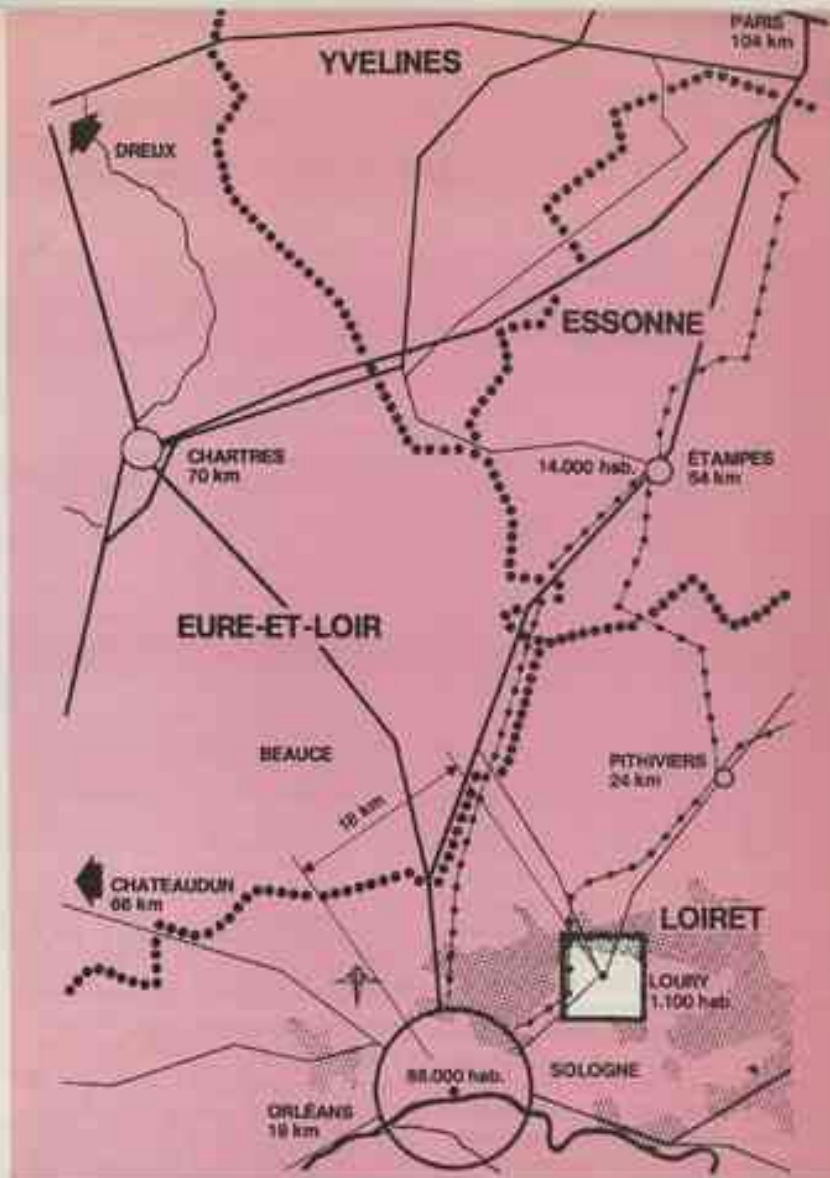
telles l'insuffisance ou l'excès de pluies, paraît de nos jours souhaitable et possible en bien des régions.

Drainage et arrosage sont couramment pratiqués, insuffisamment sans doute. Toutefois, le spectacle très démonstratif de leur rentabilité, souvent à court terme, est suggestif, et engage peu à peu les agriculteurs attachés à leur condition à y recourir.

L'intérêt global présenté par une action collective de drainage ou d'arrosage est en effet difficilement contestable, tant en ce qui concerne les intérêts de chaque particulier que l'intérêt communal si l'opération est bien conçue et rationnellement réalisée. Tel a bien été l'avis de la grande majorité des cultivateurs de Loury appelés à s'exprimer en février 1976, à l'issue d'une séance d'information animée par la direction départementale de l'agriculture. L'étude et la réalisation d'un drainage intéressant l'ensemble de la commune ont été retenues par la grande majorité des cultivateurs. La collecte d'informations nécessaires à l'établissement de devis individuels a été effectuée par l'ensemble des cultivateurs et adressée à la direction départementale de l'agriculture. A cette occasion, l'association foncière de Loury issue du remembrement effectué par mon prédécesseur a repris vie et a été chargée d'assurer la coordination nécessaire. En dépit des difficultés financières nées de cette catastrophe année de sécheresse, espérons que ce projet, capital pour l'avenir de la commune, sera réalisé dans des délais raisonnables.

Pour résoudre le problème posé par l'arrosage, lorsque les réserves souterraines l'autorisent, Loury dispose d'une étude hydrogéologique indiquant les ressources en eau (elles sont suffisantes) et les points de captage les plus judicieux. Il semble que des progrès concernant les techniques d'arrosage devront être rapidement réalisés, afin d'assurer un bon usage de l'eau souterraine, dans un souci d'économie et d'efficacité.

Du point de vue financier, il paraît naturel que les sommes actuellement dégagées au profit de l'agriculture, soient en partie utilisées à prévenir les catastrophes du genre de celles que ces deux dernières années nous ont apportées, en favorisant les moyens de prévention (drainage) et ceux de lutte (arrosage) contre les calamités venues du ciel. De même, les études des sols et des climats, dont il a été fait mention, représentent un capital de connaissances indispensables qu'il



vaut mieux utiliser plus tôt que trop tard.

Le coût de ces dernières études n'atteint pas 2 % des pertes évaluées par les agriculteurs pour la seule année 1976. Encore faut-il remarquer que si ces travaux avaient été exécutés à l'échelle plus importante qui leur convient, les dépenses entraînées auraient été notablement réduites. Reste à choisir un « plan de culture », c'est-à-dire à faire en sorte qu'en fonction de l'effort professionnel consenti par l'agriculteur, effort variable selon la nature de l'espèce cultivée, l'exploitation soit rentable, à partir d'une surface au-dessous de laquelle l'activité agricole ne peut pas être considérée comme fonction principale.

Le citoyen est désagréablement surpris de voir l'incoordination relative de la production agricole, tantôt excédentaire, tantôt insuffisante pour certaines de ses parties, mais les agriculteurs, dont la fonction est plus de produire que de prévoir, ne peuvent être

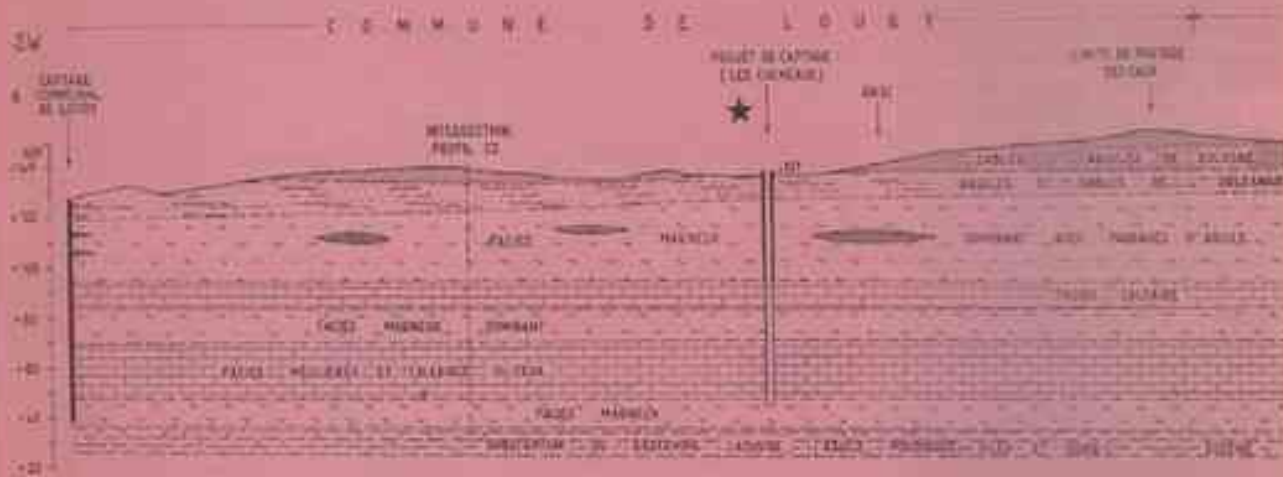
tenus entièrement responsables de cet état de fait. La régulation des productions agricoles, pour l'ensemble d'un pays de plus en plus solidaire d'une situation, dépassant ses frontières, est rendue difficile par la complexité du monde agricole. Toutefois, l'étude approfondie d'un plan d'activité agricole de petite dimension (communale par exemple), par une commission réunissant toutes les compétences nécessaires, peut aboutir à des résultats pratiques et créer une intéressante émulation, surtout en ce qui concerne la petite et moyenne culture.

Loury commune résidentielle

L'image du milieu dans lequel vit l'individu, joint à la nature des commodités qui lui sont offertes par la communauté dans laquelle il évolue, sont des éléments importants de la « qualité de la vie ».

PROFILS GEOLOGIQUES

PROFIL A-B



Or, le développement des communes rurales entraîne trop souvent des situations attristantes. Ce spectacle permet de fixer les exigences essentielles d'un développement esthétique raisonnable.

On observe en effet :

- l'altération des sites naturels et des équilibres écologiques qui doivent être les uns et les autres conservés, et si possible améliorés ;

- la dispersion anarchique des constructions nouvelles conduisant à une consommation excessive de l'espace communal et à un coût élevé des services collectifs (eau, électricité, voirie, etc...).

- une architecture hétérogène, parfois inadaptée au style du pays ;

- des constructions non appropriées aux caractères des sols sur lesquels elles sont implantées.

la manifestation de pollutions évitables, qu'elle provienne du bruit excessif d'une circulation mal réglée, de la situation mal choisie d'établissements artisanaux ou industriels dangereux ou gênants, d'une densité de peuplement excessive génératrice de profonds maux, d'une organisation de collecte ou de destruction des déchets insuffisante, etc.

On conçoit qu'afin d'éviter de telles erreurs, il soit nécessaire de réunir des informations exactes et d'en tenir compte dans la préparation des projets, précédant toute action de développement. C'est à ce titre, qu'un cer-

tain nombre d'études portant sur la commune de Loury ont été effectuées entre 1972 et 1976.

Les données paysagères et écologiques

Pour la connaissance des sites et de l'environnement, une analyse paysagère a été conduite par M. Dauvergne, avec le concours de cinquante cinq élèves de l'école nationale supérieure d'horticulture de Versailles. Les résultats de cette étude ont été exposés à la salle des fêtes de Loury.

Parallèlement, une étude de la végétation et des potentialités écologiques de Loury, visant à dégager les possibilités touristiques et surtout cynégétiques de la commune, a été effectuée par le laboratoire d'écologie de la faculté des sciences d'Orléans, sous la direction du professeur Aguesse.

Urbanisme

Une analyse de l'OREALM (devenue l'OREAC*) concernant l'habitat diffus à Loury, a montré que le développement actuel tend vers une « banlieusardisation ». Les signes de cette regrettable tendance sont les suivants : une banalisation marquée, la prépondérance de l'implantation des résidences principales, le faible intérêt porté à la formule du lotissement, enfin l'origine locale des constructeurs.

- Organisation d'études et d'aménagement du Centre.

Une étude d'urbanisme a été confiée aux élèves de l'atelier « le Ma-rasquier » des Beaux-Arts de Paris. Ces étudiants, au terme d'une recherche programmée, ont élaboré, dans le cadre de leur programme scolaire, un « rendu », c'est-à-dire un certain nombre de projets d'aménagement de Loury, dont dix-sept ont été jugés dignes d'être retenus. Ces projets ont été présentés à plusieurs reprises aux habitants de Loury. Ils constituent les « précurseurs » du plan d'occupation des sols de Loury.

M. Kahane, ingénieur-architecte, premier Grand Prix de Rome, et M. Vachon, professeur à l'école nationale supérieure des Beaux-Arts, ont élaboré les directives architecturales essentielles, sous forme de conseils se rapportant à l'implantation des constructions, aux constructions elles-mêmes (logements collectifs, habitat individuel, hangars agricoles, bâtiments industriels, etc.) aux matériaux et aux couleurs, aux styles, aux clôtures, aux plantations, etc.

Enfin, une étude géotechnique des zones à aménager (zones urbanisables, zones d'activité) effectuée par le bureau des recherches géologique et minière a permis de reconnaître les épaisseurs et les particularités du terrain recouvrant le calcaire de Beauce et les caractéristiques de tête de ce calcaire et par conséquent de définir les charges susceptibles d'être supportées par les dites zones.

Il devenait alors possible, dans une large mesure, d'établir un document directif, juridique, tenant compte de la gestion de l'espace communal et de la structuration urbaine.

Plan d'occupation des sols

L'élaboration d'un tel document, désigné sous le nom de plan d'occupation des sols, fut possible depuis les décrets du 5 novembre 1970 fixant la nouvelle forme prise par les plans d'urbanisme. Aux plans d'urbanisme définis par la législation de 1958 ont été substitués deux types de documents, le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme (le SDAU) intéressant une région, et le plan d'occupation des sols (le POS) plus ponctuel. Ce dernier, élaboré concurremment par les services de l'Etat et les élus communaux, constitués en groupe de travail sous la présidence du maire, se traduit finalement par un arrêté préfectoral opposable aux tiers, dont le contenu se présente essentiellement sous forme d'un document graphique : le « zonage », et d'un document écrit : le « règlement ».

Ces documents devront permettre :

- d'orienter l'expansion des milieux urbains ;
- de protéger les zones réservées soit à la culture, soit à une urbanisation future, soit enfin les zones pour lesquelles toute urbanisation doit être temporairement exclue ;
- de définir les droits de construire et d'utiliser le sol attaché à chaque propriété foncière ;
- de prévoir et de réserver les espaces à acquérir nécessaires aux équipements publics et aux projets communaux.

On conçoit que de tels documents peuvent être sommaires ou élaborés, c'est-à-dire plus ou moins indicatifs ou plus ou moins directifs, selon la peine que l'on prend à les établir en considération de l'importance envisagée de la restructuration. L'arrêté préfectoral du 8 juillet 1971 fixe la composition de la commission du POS de Loury, à laquelle le président peut adjoindre, dans l'intérêt de l'étude, tous les spécialistes désirables. Avant d'élaborer plan et règlement, il fallait naturellement préciser nos options, les formuler en dégagant l'esprit dans lequel nous entendions les justifier et assurer leur réalisation.

Les options

La première option dont il n'a pas encore été fait mention concerne le développement démographique envi-

sagé et la durée approximative de cette évolution. Une préparation sérieuse à un développement ne se conçoit que si ce dernier est important et s'il conduit à une restructuration inévitable de la zone considérée.

Les perspectives de croissance, indépendamment même d'une poussée démographique à l'échelle nationale, actuellement incertaine, résultent d'un apport migratoire régional important et vraisemblablement irréversible. Cet apport est une conséquence de la décentralisation d'établissements industriels et commerciaux du voisinage plus ou moins immédiat de la commune. Il en résulte un apport de nouveaux habitants qui rajeunira la commune. Il n'est pas exclu non plus que les conditions de vie offertes aux futurs habitants, si elles sont convenables, exercent un effet plus attractif que celui des communes voisines qui auront pris moins de peine à bien accueillir les nouveaux venus.

Ces options ont donc été précisées de la façon suivante :

- développement démographique : 2 500 à 3 000 habitants aux horizons 1985-1990, ce développement étant limité et stabilisé le plus possible par un ensemble de mesures préventives coordonnées fixant la capacité d'accueil ;

- maintien et mise en valeur du milieu naturel. Cette idée directrice est la conséquence de la qualité esthétique et écologique de la forêt d'Orléans qui occupe le tiers de la surface communale.

Elle se traduit par le souci : de maintenir une agriculture forte (cet aspect de notre problème a déjà été examiné) ; de mettre en valeur les sites ce qui devrait être facilité par les études paysagères et écologiques ; d'économiser l'espace et de promouvoir un paysage et une forme urbaine esthétique, moderne et attractive.

Les études des architectes de l'atelier « Le Maresquier », puis celles de MM. Kahane et Vachon ainsi que celles du BRGM, nous apportent à ce sujet des éléments de qualité.

Quatre années d'étude et de concertation

Encore fallait-il rassembler et tirer de chacune de ces études les informations susceptibles de concourir à la fixation du zonage et des emplacements réservés, à l'exécution plus ou moins lointaine des projets et à la rédaction du règlement du POS.

Ce fut la tâche conjointe de la commission du POS, du conseil municipal et

de la population de Loury, travaillant de façon indépendante ou associée selon les circonstances.

M. et Mme Baumer, architectes-urbanistes, dans le cadre de l'action financée par la DGRST, voulurent bien rechercher et présenter les combinaisons des options et des études et proposer des projets de synthèse qui, peu à peu, perfectionnés, modifiés, aboutirent à un POS. Leur rôle fut capital et leur activité considérable, de haute qualité et désintéressée.

Aussi, au cours de ces quatre dernières années, huit réunions de la commission du POS, auxquelles le Conseil municipal participa largement, douze réunions du Conseil municipal dont les délibérations furent unanimement favorables aux projets présentés, seize réunions d'information : deux émissions télévisées à l'échelle nationale ; quatre expositions communales ; une exposition internationale ; un colloque régional, vinrent conforter, confronter, améliorer, faire connaître nos options et nos projets et aboutirent à la constitution d'un dossier réglementaire (zonage et règlement, annexes).

Les principaux projets d'aménagement qui furent inclus dans les dispositions du POS concernent :

- la restructuration du centre du village par la création d'une place bordée d'habitations collectives, d'un centre social et de commerces ;
- la réalisation d'un ensemble de voies structurantes nécessaires par suite de l'exiguïté des voies dans le bourg actuel. Le principe d'une voie circulaire contournant le bourg, destinée à irriguer tous les secteurs ouverts à l'urbanisation, a été prévu ;
- la promotion d'une politique d'espaces verts et de plantations ;
- la mise en place d'un secteur d'emplois ;
- la mise en œuvre d'une politique d'équipement et de protection contre les nuisances.

Après une étude attentive de ces documents par les services de l'Etat intéressés, la commission du POS adopta, le 14 avril 1976, après quelques amendements, un plan de zonage et un règlement que l'on pouvait croire acquis aux nuances près.

En effet, la crainte de léser le particulier sans réel profit pour la communauté pouvait conduire à des modifications de zonage ou de règlement que seule l'intervention des intéressés pourrait faire connaître précisément. S'il paraissait nécessaire de reconnaître les intentions à court terme des



propriétaires des sols, afin de leur permettre autant que possible de réaliser leurs projets, par contre, il a semblé qu'il convenait de maintenir, dans des limites assez étroites, les directives convergentes concernant les « aspects esthétiques » des lieux et des constructions. Cette discipline n'est pas une contrainte. Elle répond à la fois à l'intérêt individuel et à l'intérêt général. En effet, les directives en question ont été fixées par d'éminents spécialistes dont chacun aurait pu souhaiter s'assurer, à titre privé, les conseils. D'autre part, il était naturel de prévenir par une réglementation sage la méconnaissance des règles élémentaires de « l'assortiment esthétique ».

C'est dans cet esprit de compréhension et de conciliation que la dernière phase du POS fut abordée.

Cette dernière phase comportait deux étapes :

– la première était la consultation préalable de la commission municipale chargée de l'étude du POS, constituée par la majorité des membres du conseil municipal et de quelques habitants de la commune ;

– la seconde, étant la consultation du conseil municipal dont les conclusions fixeront les termes de l'arrêté préfectoral donnant au POS force de loi, jusqu'à ce que le poids des circonstances conduise les responsables communaux à le reconsidérer.

Cas de conscience du conseil municipal

Le résultat de la première consultation peut surprendre si l'on observe que la grande majorité des membres du conseil municipal a participé volontairement à cet examen et en a adopté les conclusions, dont voici l'essentiel :

« La Commission municipale chargée de l'étude du POS entend conserver à Loury son caractère rural tout en souhaitant un développement dirigé et limité. Elle constate que le POS semble ne pas répondre au vœu exprimé ci-dessus. En conséquence, elle décide de mettre fin à ces travaux ».

Néanmoins, la commission chargée de deux rapporteurs de présenter au conseil municipal ses propositions, ce qui fut fait. Que s'était-il passé ?

La réunion du conseil municipal du 21 octobre 1976 apporta des éclaircissements sur un malentendu, malentendu assez compréhensible autour d'un problème comme celui-là, dont le principe et les conséquences concernent les conditions de vie d'une communauté. Il faut y ajouter la diversité des intérêts et des conceptions que chacun se fait du goût et de l'esthétique. Mais il faut dire aussi qu'une certaine confusion s'était établie entre « responsabilités et compétences », comme cela se produit si souvent dans la vie moderne. Enfin, l'obscurité du langage technique et professionnel n'y est pas pour rien, car il entraîne une méprise sur les intentions. Pour prévenir cette méprise, il faudrait sans doute ajouter aux documents fournis un lexique explicatif détaillé.

Le risque de ramener un plan cohérent à un aménagement banal

Pour mieux comprendre la difficulté d'aboutir à un « consensus » concernant l'esthétique, la prévision de l'aménagement et la cohérence d'un plan de développement, il paraît bon de considérer arbitrairement le contenu du POS qui correspond à de véritables engagements pour le futur, sous trois aspects : le zonage, l'esthétique et les commodités, les réservations.

Zonage

Les limites du zonage ne furent pratiquement pas remises en cause bien que la commune ait été divisée en neuf zones et que la position des limites limitant chacune d'elles aient fait l'objet d'un examen particulièrement minutieux. Il faut voir là, sans doute, le résultat d'un long travail commun et la clarté d'un document graphique facile à lire.

Esthétique

L'esthétique d'ensemble résultait d'une conception d'aménagement de la commune fondée sur l'ensemble des informations recueillies par des spécialistes de haut niveau. L'examen très attentif de textes par des personnalités, dont le dévouement aux intérêts communaux est incontestable, mais dont la profession n'est pas d'effectuer de telles synthèses, a abouti à un blocage que les conclusions des commissions traduisent parfaitement.

Le vrai problème

À une interprétation professionnelle, cohérente et novatrice, à des informations réunies par des spécialistes dans le souci de rendre la commune plus accueillante, donc plus attractive, s'est substituée une conception d'aménagement beaucoup plus banale. Cette conception résulte vraisemblablement de la synthèse pondérée des opinions particulières des membres de la commission. Mais elle est sans grand rapport avec les études et les recommandations des spécialistes de haut niveau.

Ce constat est d'un grand intérêt. Il pose tout le problème de l'aménagement d'un territoire dans une triple confrontation : l'intérêt des consultations de spécialistes, l'intervention autoritaire des services de l'Etat, le point de vue des intéressés directs et leurs inquiétudes devant des perspectives plus ambitieuses et plus rationnelles, ce qui n'exclut d'ailleurs pas la prudence. La vie n'est que transaction. Mais si l'accord doit être obtenu par des présentations plus élaborées, il faut savoir fixer les limites des compromis pour ne pas anéantir à un projet prospectif toute signification.

Les réservations

Les réservations traditionnelles, ne sont pas discutées (enseignement, sport, voirie, services publics, etc.). L'accord sur l'emplacement reste acquis. Qu'en sera-t-il des réservations particulières faites dans le souci d'améliorer les conditions de vie et d'attirer des habitants nouveaux ? Qu'en sera-t-il de l'innovation ?

La commune de Loury pourra-t-elle devenir autonome et sociale ?

Loury commune autonome et sociale

L'autonomie envisagée n'est naturellement pas une autonomie complète qui serait à la limite un repliement et non un épanouissement. Il s'agit seulement de disposer à la fois des commodités les plus indispensables à la vie commune et de moyens financiers suffisants. Les premières permettront de ne pas être contraints à rechercher ailleurs l'essentiel de ce qu'on peut espérer trouver sur place : les secondes de ne pas imposer trop lourdement les habitants de la commune. Cette autonomie relative se manifeste sur le plan des services collectifs, sur le plan social, sur le plan des revenus communaux et de la stabilité de la population.

Services collectifs

Les services collectifs sont de deux ordres distincts. Ils supposent au sein de la communauté la présence de certaines activités professionnelles comme celles des médecins, pharmaciens, notaires, commerçants, artisans, etc. À cet égard, indépendamment de toute intervention municipale incitatrice, la commune de Loury est raisonnablement pourvue.

Les services collectifs supposent également la mise en place et l'entretien d'une infrastructure apportant aux habitants les commodités de vie que notre civilisation permet d'assurer. Cette infrastructure, dont les édiles municipaux sont responsables, comprend essentiellement la voirie, la distribution d'eau potable, l'électricité, le téléphone, l'assainissement, cimetière, parking, etc.

Il ne sera question ni de la voirie, ni de la distribution d'eau, ni des services publics déjà implantés et dont il suffit d'assurer l'entretien et le développement nécessaire.

Pour ce qui est du réseau électrique, depuis 1973, la pose de quatre transformateurs a permis un renforcement et une régularisation de la fourniture électrique. La tension européenne (20 000 volts) dessert maintenant la commune.

En ce qui concerne le téléphone, la mise en place d'un autocommutateur, suivie de l'extension des lignes existantes, apporte à cet égard une relative aisance dans le futur.

Il est indispensable d'assurer la propreté des agglomérations par le ramassage et le traitement des résidus urbains solides et de collecter et de purifier les eaux dites « usées », provenant d'activités domestiques ou industrielles. Un gros effort de mise en place des dispositifs nécessaires à l'épuration des eaux usées, conjointement à la formation des personnels devant en assurer le bon fonctionnement, est en cours à l'échelle nationale. Les études actuelles en matière d'épuration des eaux usées montrent que si l'assainissement efficace des petites communes doit être réalisé, il existe bien des façons de traiter techniquement ces problèmes. Le choix du procédé va de la fosse septique individuelle à l'assainissement collectif (réseau de collecteur, station d'épuration) en passant par toutes sortes de dispositifs intermédiaires adaptant plus ou moins étroitement la solution technique au problème posé.

HABITAT INDIVIDUEL • CONSTRUCTION

NON



DANS UN GROUPEMENT RÉCENT

Il faut exclure la disparté des formes, des volumes, des "styles" et l'éparpillement anarchique ou les dispositions trop rigides. (Le lotissement).

OUI



Il faut rechercher la cohérence, l'homogénéité, par le rythme, la modulation, en volume et en façade, ceci ne devant pas exclure la fantaisie.

Ce choix à efficacité égale est déterminé par le coût comparé de l'installation par habitant. Les travaux étant supportés par le contribuable et l'habitant, il est important que ce choix soit judicieux, c'est-à-dire adapté, économique.

Considérant le développement prévu de la commune (2 000 - 3 000 habitants) et la situation de nombreux rejets d'eaux résiduaires domestiques éconduits dans des puits désaffectés depuis l'installation de l'eau potable, le conseil municipal décida d'installer un réseau d'assainissement du type séparatif, d'une capacité initiale de 1 500 équivalent habitant dont l'étude fut confiée à la direction départementale de l'agriculture dans le courant de 1971. Le projet présenté fut retenu après quelques modifications en 1974. La demande d'inscription au programme départemental fut satisfaite pour le début de la première tranche en septembre 1976. L'appel d'offres a été lancé le 6 octobre. Les travaux commenceront incessamment. Ils concernent la pose de collecteurs en bordure de la route nationale et seront suivis du redressement de cette voie dans le cadre d'une opération nationale, avec bordures de trottoir.

Le coût de cette première tranche (2 500 mètres environ de canalisations) atteindra environ un million de francs.

Services sociaux

Si l'accroissement de la population entraîne souvent la restructuration de certains territoires, il a aussi d'autres conséquences. Son impact sur les « mœurs » locales est d'autant plus important que les nouveaux venus sont plus nombreux et qu'ils présentent généralement, par suite de leur origine hétérogène, une plus grande diversité de tendances. Le maintien d'une « âme commune », ce charme de nos campagnes, si naturellement associé à

la vie agricole, ne peut être préservé et maintenu que si l'on dispose des moyens nécessaires, c'est-à-dire des locaux facilitant les contacts et une animation convenable leur donnant un sens.

Une étude faite sous la direction du professeur Vignalou, médecin-chef de l'hospice d'Ivry, a conduit à concevoir un centre social susceptible de satisfaire, par sa conception, son équipement et sa gestion, un ensemble de besoins sociaux, comportant un centre du troisième âge, des équipements sociaux, un centre d'observation médico-socio-économique.

Le centre du troisième âge

De tels centres attirant la partie de la population dont l'isolement et le désir d'un cadre sécurisant ne peuvent pas être traités autrement. La lutte contre la ségrégation qui aggrave les phénomènes physiologiques du vieillissement est assurée de plusieurs façons : par des logements pour jeunes ménages, par la diversité des origines professionnelles, conséquences du recrutement auprès de différentes caisses de retraite, enfin par l'accès de l'ensemble de la population communale aux équipements sociaux. Capacité d'hébergement : soixante personnes âgées ; vingt jeunes ménages ; l'ensemble correspondant à une attribution de quarante HLM environ.

Les équipements sociaux

Les équipements prévus (restaurants, foyer, club, halte garderie, ateliers, salle de sports et de rééducation, centre de soins et salle de jeux, etc...) seront mis au service de toute la population résidente ou communale, toujours dans le souci de lutter contre la ségrégation et d'assurer les contacts communaux, mais aussi pour les commodités de la vie collective et l'équilibre financier du centre.

Dans le cadre de la gestion d'un service intercommunal d'aide ménagère et de soins à domicile, les équipe-

ments sociaux serviront à assurer aux personnes âgées non résidentes les mêmes services qu'aux résidents.

Le centre d'observation médico-socio-économique

Il est naturel qu'un projet élaboré soit suivi avec une certaine rigueur, afin de reconnaître ses avantages et ses lacunes et d'en tirer un enseignement général. Il a été prévu dans ce but l'intervention d'une petite équipe d'observateurs discrets, spécialistes des problèmes « socio-économiques ».

Le financement

Les logements seront réalisés grâce à un prêt HLM. Les parties communes seront réalisées avec le concours financier des institutions de retraite complémentaire et les organismes départementaux.

Les réalisations

Ce projet est original dans la mesure où il cherche à prendre en compte l'essentiel de l'acquis éprouvé dans chaque domaine et à l'associer dans un souci socio-économique. Et, afin de réaliser ce programme, un certain nombre d'actions ont été engagées, certaines sont terminées, telles que : - l'achat par la commune d'un terrain de près de trois hectares, situé au centre du village ;

- l'établissement d'un projet d'exploitation et de réalisation, d'un centre social et d'une maquette ;

- l'obtention d'une attribution nationale d'HLM ;

- la création d'une société sans but lucratif (loi de 1901) pour l'étude, l'exploitation et la gestion du centre social de Loury.

Actuellement, et après l'avis favorable du Ministère de la Santé et de l'ARRCO*, différentes caisses de retraite complémentaire ont été récemment sollicitées.

* Association des régimes de retraites complémentaires.

De nombreuses raisons expliquent, sans toutefois les justifier, les lenteurs de cette entreprise commencée en 1972. Elles tiennent aux difficultés même de la période présente, à la lenteur des services administratifs, à l'absence de personnel assurant les contacts nécessaires, aux difficultés de coordination entre différents services, etc. Elles tiennent également à la prise de position fortement hostile d'une petite fraction du conseil municipal.

Il faut cependant convenir que la réalisation de telles entreprises demande toujours beaucoup de patience et de persévérance tant les difficultés sont nombreuses.

Revenus et stabilité démographique

Le rêve de toute municipalité est de disposer d'un nombre suffisant d'activités de production lui assurant des facilités financières, ainsi que des emplois pour les habitants et des clients pour les commerces, sans toutefois subir les nuisances qui accompagnent parfois la production industrielle. L'industrie, source essentielle de prospérité nationale, est soucieuse de ne pas être tolérée comme un mal nécessaire. Elle souhaite contribuer le plus possible, dans le cadre des lois, à la prospérité communale. Elle ne refuse donc pas de se soumettre aux mesures nécessaires pour prévenir et le cas échéant pour lutter contre ses propres « nuisances », lorsque les dites mesures sont efficaces et supportables. Trop souvent l'industrie, la petite surtout, connaît mal les règlements et assez peu les techniques de prévention et de lutte.

Les conflits nés de la proximité des industries et des habitations particulières seront désormais traités de façon plus rationnelle et plus systématique. Une évolution profonde est en cours. Elle repose notamment sur l'actualisation de la loi de 1917 qui réglemente les établissements industriels, sur la formation de fonctionnaires d'autorité compétents, enfin sur la constitution de « comités privés de défense », de plus en plus informés et exigeants. Encore balbutiants dans leur application nouvelle et sensibles aux difficultés de l'heure, l'intervention et l'arbitrage administratifs seront bien en place aux premiers signes de prospérité industrielle.

Il importe donc d'éviter ce conflit en supprimant certaines de ses causes. Et d'abord en éloignant le plus possi-

ble, les habitations particulières des implantations industrielles, ces dernières devant prendre de toute façon les dispositions utiles pour réduire leurs « nuisances » et aussi pour ne pas offenser l'esthétique.

Ces considérations ne suffisent pas toujours à entraîner le choix d'un emplacement par l'industriel mais dans un proche avenir elles y contribueront puissamment.

L'aménagement d'une zone industrielle à Loury n'a pas reçu jusqu'ici un début d'exécution. Le POS a réservé un terrain de onze hectares environ situé à environ un kilomètre du bourg, le long de la route nationale en direction d'Orléans.

Ce terrain bien desservi, facile à équiper, est limité par des terres de culture. Les nuisances d'origine industrielle ne devraient pas gêner le voisinage en raison de l'éloignement de ce dernier. De même, il a été prévu d'atténuer notablement les bruits de la circulation par la déviation, à l'est de l'agglomération, de la RN 51 et du CD 11 itinéraire vert traversant l'une et l'autre le village.

Logements et moyens communaux

Il va de soi qu'un développement ne peut s'effectuer sans assurer les « logements » nécessaires. A ce titre, la commune a acquis près d'un hectare de réserves foncières. Différents projets ont été engagés depuis plusieurs années. Ils arriveront bientôt à échéance.

Données financières

Les opérations d'aménagement (logement, lotissement et plus particulièrement équipement) font appel à des régimes de financement variés : prise en charge par le constructeur pour certaines actions, attribution de subventions de diverses provenances dans de nombreux cas, etc...

Une étude approfondie des perspectives financières de la commune a été réalisée pour la période allant jusqu'en 1978. Les conclusions de cette étude montrant que la commune est en mesure de financer les besoins prévus pour la période allant jusqu'en 1978, compte tenu de la prise en charge de nombreux équipements par les constructeurs ; des subventions ; de la modestie du nombre et de l'importance des équipements à réaliser dans la période considérée, exception faite de l'assainissement ; de l'augmentation prévue du nombre et de la valeur des

centimes parallèlement à la croissance de la population et à celle des ressources.

Une bonne gestion demeure certes l'essentiel de l'action municipale. Mais on conviendra que celle-ci est très influencée par la nature des biens qu'il convient de gérer, lesquels dépendent beaucoup des soins que l'on a pris à les concevoir et à les réaliser. La qualité de vie d'une collectivité, qu'elle repose sur le progrès, qu'elle s'inspire de la tradition ou qu'elle emprunte aux deux à la fois, dépend directement de la qualité et de la cohérence des projets qui auront pu être étudiés et réalisés.

L'essentiel des projets d'aménagement de Loury a été exposé. En dépit du soin apporté à leur préparation par des intervenants de qualité et malgré un commencement d'exécution parfois avancé, le conseil municipal a rejeté tardivement certains projets. De ce fait, la cohérence des réalisations retenues devra être reconsidérée. Sans discuter la légitimité de ce choix démocratique, les efforts méthodiques qui ont été accomplis comportent des enseignements généraux.

Problèmes fonciers

Peut-être s'étonnera-t-on qu'une place plus importante n'ait pas été réservée à l'examen des problèmes fonciers. Leur complexité ne permet pas de les traiter dans le cadre de cet article. Il est évident que le POS et tous actes contraignants (déclaration d'utilité publique, etc...) modifient considérablement les lois du marché foncier, alimentent la spéculation et restreignent le droit de propriété. Les conséquences économiques de cet acte d'aménagement volontaire, d'intérêt général, ne doivent pas être considérées comme une manifestation du hasard, mais équitabement réparties.

Conclusions

Désirer rationaliser une action de développement complexe, en coordonnant et en assurant la cohérence des objectifs retenus ne paraît pas discutable. De telles dispositions assurent la rentabilité relative de l'effort sur tous les plans considérés. Etant entendu qu'il ne s'agit pas de révolutionner les habitudes de vie dans une conception abstraite du meilleur et du pire, mais d'adapter dans un souci socio-économique, avec mesure et bon sens, le développement d'une commune, aux circonstances et aux moyens de notre temps.

En dépit de leur diversité, les problèmes posés par le développement des communes rurales ont de nombreux points communs permettant de dégager les principes d'une méthode d'action comportant plusieurs étapes.

Définir les principaux objectifs à atteindre. Par exemple : l'accroissement de la population possible et souhaitable, l'importance et la nature de la restructuration, le type de vie souhaité, etc... Une large concertation des responsables est nécessaire. Un éventail de suggestions peut être facilement présenté sous forme de plaquettes.

Recueillir les informations utiles à la préparation des projets de développement. Les données nécessaires varient notablement selon que l'on considère une restructuration d'ensemble ou une intervention ponctuelle.

Cependant, beaucoup de ces données, qu'elles soient fondamentales (géologiques, pédologiques, écologiques, etc...) ou appliquées (paysagères, architecturales) peuvent rarement être réunies par un conseil municipal, parce que ce dernier ne dispose pas le plus souvent des moyens ni parfois de la compétence nécessaires.

Elaborer des projets d'actions cohérents et leur donner un support légal. Toutes ces dispositions peuvent être commentées sous les trois rubriques utilisées jusqu'ici.

Commune agricole

L'évolution progressive de la culture vers une production régulière de plus en plus rentable est profondément motivée. Cette évolution doit être soumise aux « règles » des connaissances éprouvées et conduite par un ensemble de responsables bien assortis et compétents. Elle s'étend sur un large front, allant de la production animale à la production végétale et à leurs transformations. Elle comprend aussi l'aménagement rural.

Certaines étapes paraissent relativement faciles à franchir parce qu'elles reposent sur des expériences acquises, des exemples concluants qu'il convient seulement de généraliser.

Par exemple, le remembrement, le drainage et l'irrigation s'imposent à court terme. En raison de leur technicité et de leur coût, il est souhaitable que les études et les réalisations soient concurremment entreprises par les services de l'Etat, les communes et les cultivateurs. Elles devraient être collectives, complètes, aussi rapides que possible, afin d'éviter une prise en

« considération » coûteuse d'initiatives individuelles très louables mais pas toujours compatibles à l'intérêt général.

Dans cette évolution de l'agriculture, l'intervention des sciences expérimentales et rationnelles paraît largement prépondérante. La part des facteurs humains est relativement faible, tant les intérêts généraux et les intérêts particuliers semblent coïncider. Les cas limites, s'ils sont traités avec toute l'attention et la compréhension possibles, ne semblent pas devoir constituer des obstacles insurmontables à l'action collective, ni des raisons suffisantes pour mobiliser l'opinion.

Mais il est capital que l'agriculteur soit bien informé et qu'il participe aux études et aux réalisations dont il sera l'artisan, le « responsable » et le bénéficiaire.

Commune résidentielle

Le souci d'assurer à une commune un caractère résidentiel agréable par la mise en valeur du paysage naturel, la qualité de l'architecture d'ensemble et de détails et par la prévention des nuisances, peut s'exprimer, en partie du moins, dans un PQS.

Le règlement du PQS, quel qu'il soit, ne peut satisfaire tout le monde. Il s'inscrit généralement entre deux tendances limites. L'une est représentée par un règlement très élaboré, de ce fait parfois contraignant, intégrant mal l'événement imprévisible, les occasions du futur, léssant quelquefois les intérêts particuliers, mais dont l'intransigeance, porteuse d'enseignements, est une assurance contre la plupart des mésaventures. L'autre serait un règlement plus laxiste, indicatif surtout d'intentions, laissant une place plus ou moins grande à l'interprétation des responsables.

Dans le premier cas, l'application du règlement conduit aux excès parfois « inhumains » des lois ; dans le second cas, aux excès « humains » des hommes. Quel que soit le compromis retenu, les bases de la réglementation et celle des documents annexés doivent s'appuyer sur des études convenables bien interprétées par des professionnels et communiquées de façon claire aux responsables de l'action municipale.

Il semble nécessaire que les recommandations résultant de ces études soient élaborées à un niveau de compétence satisfaisant et présentent un caractère officiel admis par les représentants de la profession (architectes, constructeurs, organismes divers) invi-

tés à participer à l'élaboration de ces documents essentiellement professionnels.

Concrètement, il est souhaitable que des études paysagères et architecturales d'ensemble, coordonnées par un organisme comme le conseil régional, soient exécutées à une échelle fixée par des considérations de « terroir ». Il est souhaitable aussi qu'elles aboutissent à des recommandations n'excluant pas l'innovation mais dénonçant le mauvais goût excessif. La connaissance des erreurs criantes du passé nous impose de ne pas compromettre les intérêts des générations futures par une consommation de l'espace inconsidérée.

Commune autonome et sociale

Un effort aussi important que possible doit être accompli afin d'assurer à la communauté la possibilité d'élaborer et de maintenir une âme collective, une unité communale, et aussi d'acquiescer une autonomie suffisante.

Ces caractères particulièrement appréciés en milieu rural ne peuvent être assurés que si l'on dispose de moyens d'animation suffisants, entretenus et utilisés le plus et le mieux possible, excluant toute ségrégation. Le bénévolat généreux, si nécessaire, doit être animé par un service responsable, compétent, dont l'efficacité sera la règle.

Dans l'état actuel des institutions, l'autonomie, la stabilité, ne peuvent guère être recherchées ailleurs que dans des activités de production, dont l'implantation et le climat social doivent être facilités le plus possible. Cette nécessité, cet appel du monde rural se concilie et répond à d'autres nécessités, à d'autres pressions socio-économiques, en quelque sorte complémentaires (décentralisation, qualité de vie, climat social, etc.).

Les moyens

Les problèmes complexes, comportant des données ponctuelles et des données prospectives, tels ceux posés par l'aménagement du territoire, sont traités le plus souvent avec des moyens insuffisants. De ce fait, certains aspects importants de ces problèmes, relevant d'une discipline non représentée, sont laissés dans l'ombre. D'autres aspects, au contraire, sont exagérément privilégiés.

Ce traitement en « dents de scie » des problèmes pluridisciplinaires suffirait à expliquer bien des échecs par l'omission d'une ou plusieurs recherches ou par les excès d'autres.

Il entretient une tension, un malaise, et contribue à maintenir l'atmosphère de mécontentement et le sentiment de gaspillage liés aux solutions trop imparfaites.

Grâce à l'intervention désintéressée de nombreux organismes de recherche et de personnalités qualifiées, le cas de Loury a pu être étudié de façon sinon exhaustive du moins aussi développée que cela a paru possible et nécessaire. Plus de cent personnes, spécialistes, enseignants, élèves, ont participé à ces études et l'on peut dire que les résultats de cette confrontation interdisciplinaire est l'un des aspects les plus originaux et les plus positifs de l'action engagée. L'apport pour chacun des participants ne se situe pas au niveau des connaissances fondamentales mais dans les possibilités d'application des connaissances fondamentales. Bien des spécialistes chevronnés se sont rendus compte de l'interpénétration des disciplines et de la nécessité de prendre en considération les observations faites par des spécialistes de formation différente.

Pour les élèves, la révélation a été beaucoup plus profonde. Un exemple démonstratif, rapporté par un professeur aux Beaux-Arts de Paris, montre bien le bénéfice professionnel qu'un esprit attentif peut retirer de telles confrontations. Parmi les élèves architectes ayant participé aux études de Loury, certains, avant la fin de leur scolarité, ont remporté des concours, incluant des éléments d'urbanisme, auxquels participaient d'excellents architectes confirmés. Ce succès a été attribué à l'expérience et à la maturité acquises au cours des travaux effectués à Loury.

L'aménagement du territoire en général et l'aménagement des communes rurales en particulier représentent pour l'enseignement comme pour la recherche, un terrain d'expérience incontestablement riche. Les études évoquées ont permis de reconnaître avec certitude l'intérêt pédagogique, didactique et de recherche, de ces opérations. Elles ont permis d'apprécier la volonté et l'intérêt professionnel et civique du dialogue entre les représentants de diverses disciplines et les responsables.

Une mobilisation des établissements intéressés dans un cadre de préférence régional aurait une grande portée. Une telle tâche présente des difficultés nombreuses qu'il ne faut cependant pas surestimer.

Assurer la cohérence et le bon accueil des projets

La collecte des informations de base utiles à l'élaboration des projets est relativement aisée et fait appel, soit à des renseignements que l'on peut trouver dans la littérature existante, soit à des compléments expérimentaux nécessitant des interventions ponctuelles : leur interprétation globale et réaliste est d'autant plus malaisée que le niveau de compétence des responsables est plus bas. Si le niveau de compétence nécessaire est atteint : le plus souvent grâce à l'intervention de spécialistes intermédiaires, il n'y a plus de difficultés, c'est un problème de choix, dans lequel les solutions irréflechies n'auront pas passé le barrage.

On ne peut pas dire que les conseils municipaux des communes rurales au voisinage des centres en expansion soient invités par les responsables de l'aménagement à s'inspirer d'une méthode de développement éprouvée, ni que les moyens permettant l'acquisition des données nécessaires à la préparation de projets sérieux soient mis à leur disposition.

Cette vacuité laisse à chacun une initiative qui, dans la pratique, rencontre vite ses limites dans un domaine où, cependant, l'état des connaissances et les moyens de l'époque pourraient laisser espérer mieux.

La qualité des projets qui résulteront de l'interprétation d'informations aussi méthodiquement recueillies les unes que les autres, sera de valeur très inégale, selon les caractères du groupe humain qui interviendra. Mais le pire sera le plus souvent évité. L'esprit d'innovation bienfaisante est en effet fort rare. L'art d'assembler des éléments connus, de façon originale et heureuse, fait appel à lui. Autant que la « nouveauté » sans racines apparentes, c'est l'âme du progrès.

Si l'on peut éduquer classiquement la grande majorité des responsables, les novateurs se manifestent inopinément. Encore faut-il que leurs initiatives soient heureuses. Pour cela, il faut perfectionner doctrines et méthodes afin d'éliminer peu à peu les faux problèmes, donner aux cas limitaires la place modeste que leur confère leur caractère d'exception, intégrer utilement les enseignements des études ponctuelles approfondies qui trop souvent errent à la recherche d'un support concret.

Compétence d'abord, capacité d'innover sont les mots clefs de cette vaste opération d'aménagement aux conséquences si importantes pour chaque citoyen. Là encore, les difficultés existent, il ne faut pas les surestimer. Les sciences qui créent bien des problèmes ont aussi le pouvoir de les résoudre.

La réalisation de l'aménagement d'un territoire conciliant dans une finalité socio-économique idéale, les contraintes et les potentialités de l'espace, les exigences légitimes des citoyens, les connaissances et les moyens de l'époque, les données de la conjoncture et le sentiment de solidarité qui unit les générations est incontestablement une utopie. Mais de ces utopies dont Gide disait : « C'est par la porte étroite de l'utopie qu'on entre dans la réalité bienfaisante ».

Ce caractère utopique tient beaucoup moins aux difficultés présentées par l'analyse et l'utilisation des facteurs rationnels relevant de la connaissance, de l'expérience et de la compétence, qu'à l'inconsistance et aux contradictions des facteurs humains. Bien qu'on ne puisse, loin de là, affirmer que les premiers soient maîtriser, les seconds, à défaut de buts indiscutables, disposent de moyens efficaces pour atteindre leurs objectifs quels qu'ils soient. Depuis le traditionnel procédé de « bouche à oreille » immortalisé par Beaumarchais, jusqu'aux moyens d'information audiovisuels les plus modernes, l'opinion se crée et s'impose aux responsables apparents de la décision. De sorte que les difficultés encore considérables que pose la conduite cohérente des études pluridisciplinaires, n'incluant pas de facteurs humains, paraissent bien plus faciles à surmonter que celles rencontrées lorsque les opinions et les sentiments collectifs en milieu libéral doivent être également pris en compte. Les unes et les autres doivent cependant, de plus en plus, s'aborder concurremment et se résoudre ensemble. L'avenir de notre société en dépend. On peut espérer que le traitement convenable des premières difficultés, actuellement plus accessibles aux hommes expérimentés et productifs, conduira, peu à peu, les responsables à aborder les secondes avec plus d'efficacité, de méthode et de résolution.

Pierre CHABRIER

Directeur de recherche (ER 41)
Président de la société d'études
des sciences de l'environnement

5 ANS D'ASTRONOMIE SPATIALE EN AVION



L'observatoire G.P. Kuiper de la NASA, sur avion C-141. On distingue sur la partie avant gauche du fuselage le « dôme » du télescope partiellement obstrué par la trappe de protection.

Le 29 juin 1927, un bimoteur d'Imperial Airways s'élevait lentement au-dessus des brouillards londoniens pour photographier une éclipse totale de soleil : c'était sans doute la première observation astronomique en avion.

La mise en exploitation d'avions subsoniques volant vers 12 km, à la base de la stratosphère, au-dessus des couches nuageuses et de la plus grande partie de l'atmosphère responsable de l'absorption du rayonnement, offrait, dès les années 60, la possibilité de quelques observations ponctuelles.

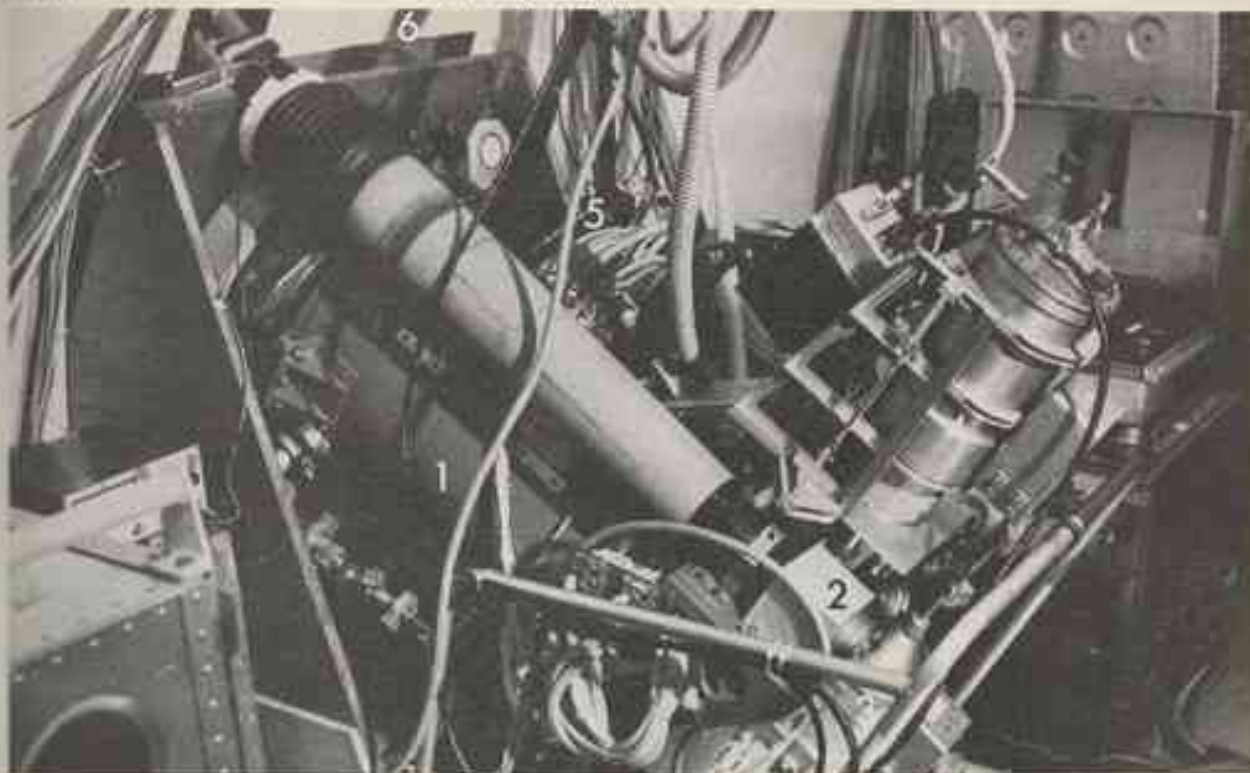
Alors que les domaines spectraux X, γ , ultraviolets demandaient des altitudes plus élevées et justifiaient de construire des expériences montées sur ballons, fusées ou satellites, l'astronomie infrarouge pouvait faire appel aux avions, plus de 90 % de l'absorption atmosphérique disparaissant à 12 km d'altitude aux longueurs d'onde comprises entre 20 et 500 microns. Très vite, aux États-Unis, les premières mesures faites à bord d'un Lear Jet conduisirent en 1968 à la découverte de l'émission infrarouge intense du centre de la Galaxie, tandis qu'un Convair-

990 explorait dès 1968 le spectre du soleil et des planètes les plus brillantes.

En France, où la tradition aéronautique est forte et où existent de remarquables compétences en moyens d'essais, l'institut national d'astronomie et de géophysique soutenait dès 1970 un programme de développement pour l'usage astronomique de moyens aériens, avec le concours du centre national d'études spatiales. Ce développement, qui s'étend maintenant sur plus de cinq années, a été mené à l'Observatoire de Meudon

Une vue de détail du télescope et de ses photomètres associés. Le cliché est pris sur la maquette de l'avion Conquer-990, lors de l'intégration à Forzein (RFA) des expériences de simulation de la navette spatiale. (photo J. Frey)

- 1 - Cavité contenant le télescope
- 2 - Caméra de télévision
- 3 - Bolomètre au foyer Cassegrain
- 4 - Spectromètre Perot-Fabry au foyer Coude
- 5 - Source de calibration
- 6 - Fuselage de l'avion



groupe infrarouge spatial, équipe de recherche associée au CNRS et à l'université Paris VII), en collaboration avec différents laboratoires français, dont le laboratoire de physique stellaire et planétaire, et étrangers.

Il s'agissait d'abord de démontrer que, malgré un environnement hostile (vibrations, turbulence), sur une plateforme en mouvement constant, il était possible de réaliser des conditions d'observation satisfaisantes pour l'observation astronomique : ce fut le premier programme qui a conduit à la réalisation d'un observatoire embarqué de diamètre modéré, mais qui peut aujourd'hui être mis à la disposition de différentes équipes, et sur différents avions.

Il fallait ensuite connaître avec précision les propriétés de la stratosphère, qui s'interpose entre l'avion et la source observée. En particulier, toute observation spectroscopique d'une source infrarouge est difficile aussi longtemps qu'on ne connaît pas les spectres d'absorption atmosphérique résiduelle. Sur Caravelle, puis sur Concorde, un important programme de spectroscopie atmosphérique a été mené à bien par A. Marten.

Enfin, certaines sources infrarouges analysées à très haute résolution spectrale, n'émettent qu'un très faible flux et demandent donc un large dia-

mètre collecteur. Un troisième programme a donc utilisé un observatoire développé aux Etats-Unis à bord d'un quadrireacteur C-141. Ce dernier programme démontre, en particulier, que les conditions d'observation à bord d'un avion sont désormais comparables à celles obtenues au sol, qu'il s'agisse d'observations planétaires comme celles du groupe planètes de l'observatoire de Meudon, ou qu'il s'agisse des observations dont nous allons parler ci-dessous.

Un observatoire d'astronomie infrarouge sur Caravelle

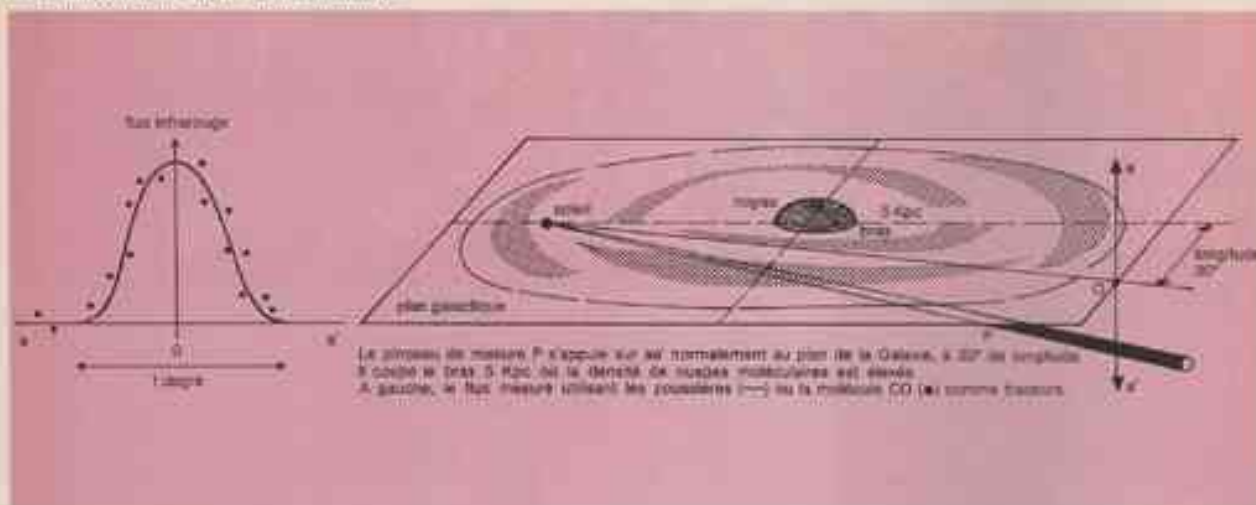
Etant donné le coût fixe d'un avion en exploitation, il était exclu d'envisager qu'un avion soit, en France, uniquement affecté dès 1975 à la recherche astronomique. Il fut donc décidé de réaliser un observatoire « escamotable » qui pourrait être monté, pour des missions de durée variable, sur la Caravelle 116 du centre d'essais en vol, ou même, à l'occasion, sur d'autres avions. Ce choix fut maintenu, après que la perspective de modifier le fuselage d'un Mystère 20 de l'Institut géographique national a dû être abandonnée, bien que le coût d'exploitation de ce dernier avion soit bien inférieur. En quatre années, tous les problèmes liés à cette réalisation nouvelle ont été résolus grâce au concours du service

des prototypes du CNRS, et surtout de C. Darpentigny et G. Van Habbest.

Le télescope est monté à l'intérieur d'une cavité ouverte à l'air extérieur, et formant récession dans le fuselage : aucun matériau n'aurait en effet fourni une fenêtre ayant la rigidité suffisante pour tenir la différence de pression et la transparence nécessaire aux observations infrarouges. Monté sur un cardan, il est asservi gyroscopiquement à suivre une direction inertielle, liée aux étoiles, malgré les mouvements de roulis ou de lacet de l'avion, qui peuvent atteindre le degré, ou plus, en zone turbulente. Une caméra de télévision ultra-sensible vise, par un hublot latéral, la même région du ciel et permet de contrôler le champ en y observant des étoiles jusqu'à la magnitude 12. Les dérives des gyroscopes sont corrigées par un second asservissement, astreint à suivre une étoile du champ. Ainsi, le télescope peut rester pointé pendant près d'une heure sur la même source, à mieux que 15 secondes d'arc. L'ensemble est suspendu de façon souple sur le plancher de la cabine, amortissant ainsi les vibrations résiduelles. Un plan de vol est établi, qui maintient toujours la région visée du ciel dans la direction normale à l'avion, et, si l'avion vole vers l'Ouest, l'élévation d'une source située au Sud ne varie guère.

En balayant le cône de mesure de α vers α' , celui-ci intègre le rayonnement de tous les nuages moléculaires contenant des poussières à basse température (~ 30 K) et le flux infrarouge

mesuré reproduit la « vue en coupe » de la Galaxie. Il se compare au flux émis par les molécules CO (a).



Dans la cabine se trouvent les servitudes de l'instrument : électronique de pointage, écran TV où s'inscrit le champ stellaire, magnétoscope où il s'enregistre à chaque instant.

L'expérimentateur peut disposer de deux foyers, Cassegrain et Coudé. Chacun d'entre eux accepte un récepteur infrarouge, associé à différents dispositifs d'analyse du rayonnement : filtres, interféromètre de Michelson, spectromètres Pérot-Fabry, etc... Il a accès direct à ces instruments pendant toute la durée du vol, et peut donc intervenir à tout moment sur l'expérience. Il dispose de contrôles de fonctionnement, ainsi que d'un petit ordinateur qui gère les instruments de mesure, enregistre les paramètres, et visualise sur un écran les données au fur et à mesure qu'elles sont acquises.

Lors d'un vol de plusieurs heures, mené à l'altitude maximum que peut atteindre l'appareil, chaque source est observée successivement, lorsque les mouvements combinés de l'avion et de la terre l'amènent dans le domaine de pointage du télescope. La durée d'observation peut atteindre plusieurs dizaines de minutes, permettant de cartographier la source ou d'améliorer la mesure en intégrant le signal, si ce dernier est très faible.

Les vols sont répétés plusieurs nuits de suite, et sont totalement indépendants des conditions météorologiques dans la troposphère : il y a là un avantage opérationnel considérable de l'avion sur les ballons, pour lesquels les conditions de lancement sont souvent critiques. C'est ainsi qu'en 1973 et 1974 au Maroc, pour observer des sources à basse latitude, puis en 1976

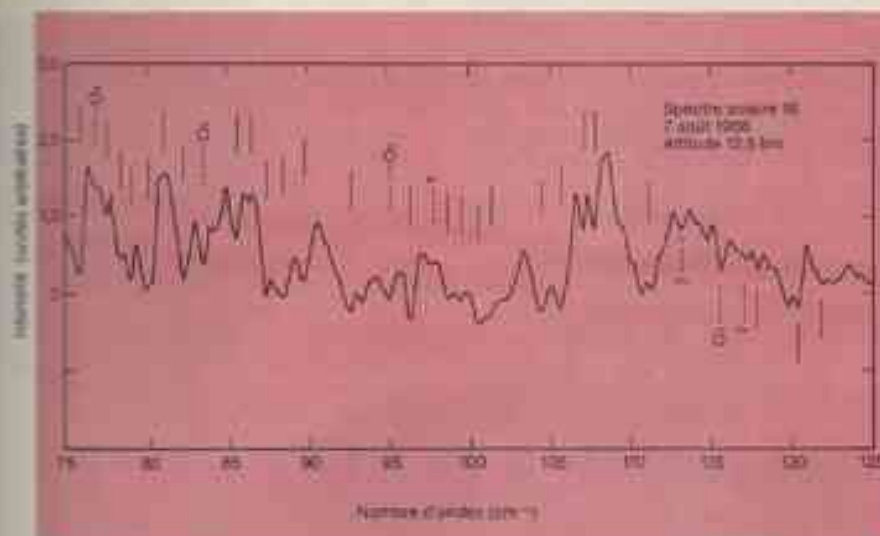
en France, plusieurs dizaines de vols ont été réalisés sur la Caravelle 116 : l'avion permet ainsi, sans mise en place d'une infrastructure coûteuse, d'explorer le ciel sous toutes les latitudes.

Cet observatoire « escamotable » est actuellement en cours de montage sur le Convoir 990 de la NASA, pour une campagne d'observation analogue aux précédentes, mais au-dessus de l'Ouest des États-Unis : le fait nouveau, ici, est qu'il s'agit d'une simulation d'un vol de la navette spatiale : dans le même fuselage est montée une douzaine d'expériences variées, dont cet observatoire astronomique. Confinés dans l'avion pendant une dizaine de jours, quatre candidats « astronautes » devront mener de front la mise en œuvre des différentes expériences, à l'occasion de vols répétés chaque nuit. À l'issue de la mission seront évalués leurs performances scientifiques et physiques, tandis que chaque expérimentateur recevra le résultat de ces mesures.

Plusieurs groupes européens utilisent à cette occasion l'instrument français : les uns et les autres viennent, comme sur un télescope classique, disposer leur instrumentation focale et confier à l'astronaute leur programme de mesures.

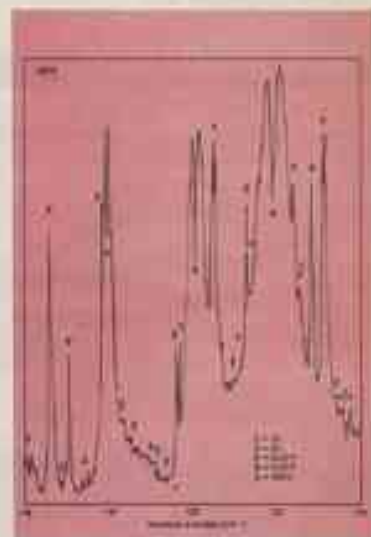
Le développement des découvertes en astronomie infrarouge lors des dernières années a été extrêmement rapide et nous ne mentionnerons ici que deux résultats récemment acquis sur Caravelle, lors de vols au printemps 1976 à partir de Toulouse Blagnac, et qui forment l'essentiel du travail de thèse de D. Rouan.

L'un concerne les nuages moléculaires denses de la Galaxie : on sait aujourd'hui qu'une fraction importante de la masse de la Galaxie — plus de 10 % — se situe en dehors des étoiles, et que l'hydrogène, pour l'essentiel, y est sous forme moléculaire, et à très basse température. Comme l'émission moléculaire de l'hydrogène ne peut se produire que sous forme de transitions peu probables, une mesure directe de sa présence est extrêmement difficile. Restent des traceurs indirects, présents en petite quantité, mais dont l'émission sera mesurable : la molécule CO est l'un d'entre eux, et on a mis récemment en évidence l'existence de nuages moléculaires denses, où la température ne dépasse pas 30 K, et qui paraissent contenir, enfouie dans le gaz, des étoiles jeunes. Ces nuages contiennent également de la poussière, formée de petites particules solides, de taille sans doute inférieure au micron : celle-ci rayonne dans l'infrarouge lointain et c'est elle, malgré sa fraction en masse faible, de l'ordre du %, qui contrôle l'équilibre thermique de nuage. L'émission de la poussière nous intéresse donc à un double titre : c'est un traceur de la matière, d'une part, et c'est l'outil d'investigation des conditions physiques du nuage, d'autre part. En avril 1976, le nuage S140 a été cartographié, sa température de 22 K a été mesurée : un autre nuage, inconnu jusqu'ici, a été découvert au voisinage immédiat du plan galactique, et P. Encrenaz pouvait, quelques mois plus tard, en confirmer la présence à l'aide de cet autre traceur qu'est la molécule CO. Le second résultat concerne l'émission de la galaxie.



Progrès en spectroscopie infrarouge lointain à très haute résolution : le même domaine spectral, en 1968, à bord d'un CV-990, et en 1978, à bord du C-141. Le premier spectre est en ab-

sorption sur le soleil, le second en émission thermique, mais dans l'un et l'autre cas les raies sont dues à des constituants stratosphériques (principalement H_2O).



La poussière interstellaire est en très grande partie condensée dans des nuages relativement denses, et il semble bien qu'un nombre important d'entre eux contiennent – on vient de le voir – des étoiles jeunes. Ces étoiles, et les autres étoiles de la Galaxie, transfèrent une partie importante de leur énergie à ces poussières qu'elles chauffent à quelques dizaines de degrés Kelvin. Ainsi, leur émission intégrée mesure-t-elle le rayonnement stellaire total présent dans la Galaxie, rayonnement inaccessible à l'observation directe dès qu'intervient une trop grande absorption. En balayant le plan galactique – celui de l'axe de la Voie Lactée – par un étroit pinceau de mesure, deux vols du printemps 1976 ont mis en évidence, à l'instigation de J.-L. Puget et C. Rytter, une émission limitée au plan, et dont l'intensité permet, moyennant certaines hypothèses encore fragiles liées aux propriétés optiques des poussières, de calculer la puissance totale émise par toutes les étoiles présentes dans cette région.

Bien entendu, l'observatoire réalisé en France est à la mesure des moyens mis en œuvre, mais son diamètre limité n'a pas empêché qu'il atteigne des résultats intéressants.

Pendant la même période, la NASA a développé sur le même principe un instrument beaucoup plus ambitieux : 31 cm de diamètre, à bord d'un quadri-réacteur C-141. Sur cet observatoire, plusieurs équipes françaises, sélectionnées par la NASA, ont pu implanter des instruments focaux.

Un programme de spectroscopie à très haute résolution

Entre les étoiles constituant notre Galaxie, l'espace interstellaire est rempli d'un gaz de faible densité, ionisé par endroit du fait de la proximité d'une étoile très chaude, parfois plus dense et tellement opaque qu'aucun photon visible ne peut y pénétrer. La connaissance des caractéristiques physiques de ce milieu est d'une grande importance puisque c'est à partir de celui-ci que de nouvelles étoiles prennent naissance. Or nous ne savons pas encore très bien par quel processus on passe de ce gaz tenu à une étoile bien formée telle que nous les voyons. Certains atomes du gaz interstellaire ont la particularité d'émettre des raies infrarouges résultant de transitions entre les niveaux de structure fine de leur état fondamental. De l'observation de ces raies peuvent être obtenus la densité et la température, les abondances chimiques, la structure d'ionisation, les distributions cinématiques et, au-delà, certaines réponses au problème de la formation des étoiles. La détermination des abondances des éléments est également reliée à l'évolution chimique de la Galaxie. L'avantage ici réside dans le fait que les photons infrarouges ont un libre parcours moyen dans la Galaxie beaucoup plus grand que les photons visibles, d'où la possibilité de « voir » plus loin et de pénétrer plus profondément dans les

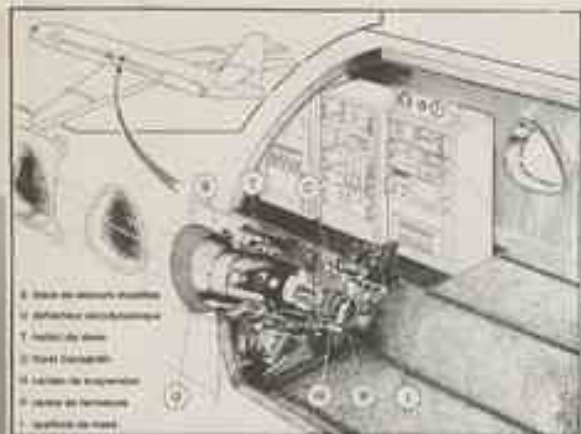
nuages appelés « obscurs » dans le domaine visible.

Malheureusement la plupart de ces raies infrarouges sont dans des zones spectrales inobservables depuis le sol, mais qui le sont à l'altitude des avions. C'est pourquoi l'observatoire G.P. Kuiper de la NASA, à bord de l'avion C-141, a été choisi pour mener à bien l'étude de ces raies.

Une telle entreprise présente néanmoins beaucoup de difficultés. En premier lieu les observations dans l'infrarouge lointain ($> 10 \mu m$) ont un sérieux handicap dû en grande partie à la faible sensibilité des détecteurs actuellement disponibles et aux limitations imposées par l'émission thermique de l'environnement. De plus les très faibles intensités des raies recherchées rend l'optimisation de tous les paramètres des appareils expérimentaux très critique pour obtenir un seuil de détection suffisant. Les conditions spécifiques aux vols en avion imposent des contraintes supplémentaires, en particulier les vibrations induites par la structure de l'avion, les interférences électro-magnétiques des moteurs couplés utilisées pour le pointage du télescope et l'apparition d'un bruit atmosphérique dû au déplacement à grande vitesse au travers d'une atmosphère thermiquement inhomogène. Une très grande résolution spectrale permet de maximiser le contraste de la raie d'émission sur le continuum

Vu de l'extérieur du fuselage, le télescope monté sur Caravelle. On distingue le miroir primaire de 32 cm de diamètre, le secondaire monté sur un trépied en Invar, la cavité et le hublot latéral de vision du système TV. La grille ajourée est un déflecteur destiné à stabiliser en vol la couche limite d'écoulement de l'air dans la cavité.

Hublot latéral de vision du système TV. La grille ajourée est un déflecteur destiné à stabiliser en vol la couche limite d'écoulement de l'air dans la cavité.



sous-jacent et d'isoler la raie inter-stellaire des raies d'émission résiduelles d'origine atmosphérique. De plus, il est nécessaire d'obtenir la résolution spectrale désirée en un temps très court pour que le passage de l'avion dans des zones de fortes turbulences et les changements périodiques de sa trajectoire pour suivre la source observée, pouvant provoquer à tout instant la perte de la source dans le champ du télescope, ne diminue pas de façon trop sévère le temps d'observation effectif.

L'appareil développé en commun avec le LPSP et l'Astronomy Division du centre technique de l'Agence Spatiale Européenne est un interféromètre de Michelson, de configuration optique classique, mais utilisant un balayage rapide du bras mobile, pour faire coïncider temps de mesure et périodes de stabilité maximale de l'avion. Le pouvoir de résolution est de 10 000 vers 50 μm . L'appareil peut couvrir la gamme 10-300 μm , mais il est optimisé (séparatrice et filtres) pour la raie étudiée, et les franges défilent à fréquence relativement élevée (80 Hz). Un mini-ordinateur embarqué gère l'ensemble de l'expérience, et visualise en temps réel pour l'observateur les spectres acquis.

Lors d'une première série de vols fin 1975, les performances de l'appareil ont été vérifiées et sont comparables à celles mesurées en laboratoire. Pour mesurer les progrès techniques accomplis, on peut comparer un fragment du spectre d'émission de la stratosphère (entre 116 et 124 cm^{-1}) mesuré au cours d'un de ces vols à un spectre de transmission obtenu sept ans plus tôt à la même altitude. La résolution spectrale est améliorée d'un facteur supérieur à 10 et simultanément le rapport signal/bruit par élément spectral est également amélioré de près d'un facteur 10, soit un gain global en seuil de détection de 2 ordres de grandeur. Dans les spectres stratosphériques, de nombreuses raies observées sont attribuées aux composants minoritaires de l'atmosphère et en particulier les raies des isotopes de la vapeur d'eau (HDO , H_2^{18}O et H_2^{17}O) ont été observées et identifiées pour la première fois dans un spectre atmosphérique dans l'infrarouge lointain. Des déterminations précises de la fréquence des transitions sont ainsi obtenues, qui présentent un grand intérêt spectroscopique.

Deux raies d'émission interstellaires ont été observées dans la nébuleuse

d'Orion. Il s'agit d'une raie due à l'ion S^{++} à 18,7 μm et d'une raie due à l'ion O^{++} à 88,3 μm . Bien que l'existence des raies de structure fine soit prédite depuis longtemps, très peu d'observations ont été effectuées jusqu'à présent les concernant, de par les difficultés rencontrées. Ces premières observations démontrent donc la possibilité de mener à bien des mesures de spectroscopie à très haute résolution et confirment que les raies spectrales infrarouges nous fournissent un nouveau traceur des milieux ionisés de la Galaxie, à des longueurs d'onde où celle-ci est pratiquement transparente



Un spectre à très haute résolution montrant la raie d'émission de l'ion S^{++} dans la région ionisée par le rayonnement UV des étoiles de la nébuleuse d'Orion.

dans toute son épaisseur. Un programme d'observation systématique des raies d'émission de la matière inter-stellaire devient possible et on peut espérer obtenir dans les prochaines années des informations originales sur le milieu inter-stellaire.

Perspectives

Quelles sont les perspectives ouvertes par ces cinq années d'expérimentation ?

L'astronomie infrarouge est un discipline toute neuve, à peine âgée de 10 ans, et qui n'a pas même encore cartographié la totalité du ciel de l'hémisphère Nord. De ses progrès dépendent la compréhension du processus de naissance d'une étoile, et vraisemblablement de celle des systèmes planétaires qui peuvent l'accompagner. Aussi tous les groupes de chercheurs se préoccupent-ils aujourd'hui de disposer, en Europe, en URSS et aux

Etats-Unis, de plateformes d'observation situées à une altitude suffisante. En Europe, l'observatoire Caravelle va désormais être exploité sur une base européenne, et voler régulièrement, permettant ainsi de tester en son plan focal des détecteurs et des spectrographes plus élaborés que ceux décrits plus haut. Peut-être, lors d'événements exceptionnels, telles les éclipses de soleil ou les occultations d'étoiles par les planètes, sera-t-il possible de faire à nouveau appel à cette remarquable plateforme d'observation astronomique que Concorde s'est révélé être lors de l'éclipse de 1973.

Aux Etats-Unis, l'avion C-141 est en exploitation de routine, volant plus de 200 nuits par an ; mais déjà la NASA a dans ses cartons le projet d'équiper un Boeing 747 d'un télescope de 3 m de diamètre ! près du diamètre du télescope que la France et le Canada installent à Hawaï. C'est dire qu'en quelques années les problèmes de l'astronomie aéroportée, mentionnés plus haut, ont été largement résolus. La navette spatiale représente l'extrapolation de ces concepts : accélérations, vibrations, stabilité, puissance électrique, de cet « avion spatial », sont très comparables aux conditions rencontrées sur un avion tel la Caravelle ou le C-141. Aussi différents instruments infrarouges sont-ils actuellement en étude en France, à l'Agence spatiale européenne, ou en Allemagne Fédérale, pour y être embarqués. La suppression totale de l'atmosphère terrestre, la disparition du fuselage permettent de construire un télescope entièrement refroidi à très basse température – quelques dizaines de degrés Kelvin – et de détecter ainsi la présence et les caractéristiques spatiales de sources très froides.

En particulier, la cartographie de l'émission diffuse des poussières de la Galaxie – ce traceur extrêmement sensible de la présence de matière – permettra sans doute de déterminer la quantité totale de rayonnement stellaire dans la Galaxie, et dans les galaxies voisines, tandis que la cartographie détaillée de ces nuages moléculaires denses, devenus transparents dans l'infrarouge lointain, permettra d'y discerner les étoiles en train de naître.

Jean-Paul BALUTEAU
Pierre LENA

Astronomie Infra-rouge
(ERA n° 377)
Observatoire de Meudon
et Université Paris VII