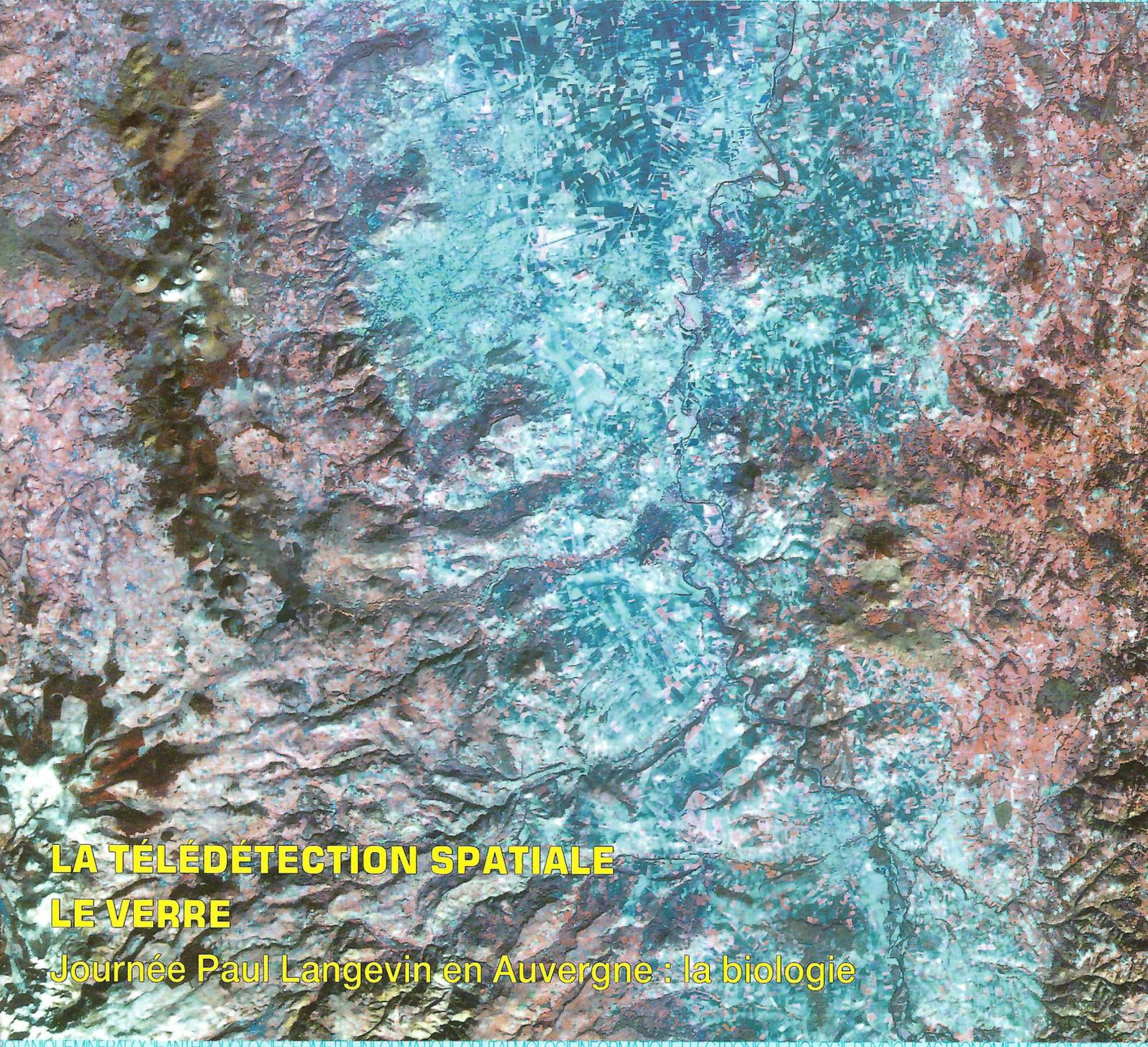


ARITHMETIQUE GEOMETRIE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE OPTIQUE ALGÈBRE  
THERMODYNAMIQUE OPTIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE ARCHEOLOGIE CYBERNETIQUE ZOOLOGIE ELECTRICITE OPHTALMOLOGIE MECANIQUE PHARMACIE THERMODYNAMIQUE  
GEOLOGIE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE CHIMIE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE VULCANOLOGIE CYBERNETIQUE  
ALGÈBRE ZOOLOGIE ELECTRICITE PHARMACIE MECANIQUE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE CHIMIE ARCHEOLOGIE INGENIERIE BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE  
BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE INFORMATIQUE OPHTALMOLOGIE INFORMATIQUE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE GEOLOGIE  
ARITHMETIQUE GEOMETRIE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE OPTIQUE ALGÈBRE  
THERMODYNAMIQUE OPTIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE ARCHEOLOGIE CYBERNETIQUE ZOOLOGIE ELECTRICITE OPHTALMOLOGIE MECANIQUE PHARMACIE THERMODYNAMIQUE  
GEOLOGIE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE CHIMIE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE VULCANOLOGIE CYBERNETIQUE  
ALGÈBRE ZOOLOGIE ELECTRICITE PHARMACIE MECANIQUE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE CHIMIE ARCHEOLOGIE INGENIERIE BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE

# SCIENCE EN AUVERGNE

BULLETIN DE L'ADASTA

N° 13 Janvier - Février - Mars 1990 20 F



LA TÉLÉDÉTECTION SPATIALE

LE VERRE

Journée Paul Langevin en Auvergne : la biologie

BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE INFORMATIQUE OPHTALMOLOGIE INFORMATIQUE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE GEOLOGIE  
ARITHMETIQUE GEOMETRIE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE OPTIQUE ALGÈBRE  
THERMODYNAMIQUE OPTIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE ARCHEOLOGIE CYBERNETIQUE ZOOLOGIE ELECTRICITE OPHTALMOLOGIE MECANIQUE PHARMACIE THERMODYNAMIQUE  
GEOLOGIE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE CHIMIE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE VULCANOLOGIE CYBERNETIQUE  
ALGÈBRE ZOOLOGIE ELECTRICITE PHARMACIE MECANIQUE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE CHIMIE ARCHEOLOGIE INGENIERIE BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE  
BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE INFORMATIQUE OPHTALMOLOGIE INFORMATIQUE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE GEOLOGIE  
ARITHMETIQUE GEOMETRIE ELECTRONIQUE BIOLOGIE PHYSIQUE ASTRONOMIE MEDECINE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE OPTIQUE ALGÈBRE  
THERMODYNAMIQUE OPTIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE ARCHEOLOGIE CYBERNETIQUE ZOOLOGIE ELECTRICITE OPHTALMOLOGIE MECANIQUE PHARMACIE THERMODYNAMIQUE  
GEOLOGIE BIOTECHNOLOGIE EDUCATION INDUSTRIE MATHÉMATIQUE GENÉTIQUE CHIMIE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE STATISTIQUE AGRONOMIE VULCANOLOGIE CYBERNETIQUE  
ALGÈBRE ZOOLOGIE ELECTRICITE PHARMACIE MECANIQUE ASTROPHYSIQUE TECHNIQUE CHIMIE ARCHEOLOGIE INGENIERIE BOTANIQUE MINERALOGIE ANTHROPOLOGIE GEOMETRIE

# SOMMAIRE

- **Conseil d'Administration et Assemblée générale de l'ADASTA**  
par S. Gély ..... 2
- **La recherche :**  
**La télédétection spatiale**  
par Jean-Yves Scanvic ..... 3
- **Le dossier :**  
**Le verre : propriétés et applications**  
par Michel Massaux ..... 5
- **Conférence**  
Les supraconducteurs à haute température critique  
par C. Chaillout ..... 10
- **Visites** ..... 11-12
  - Visite du radiotélescope de Nançay
  - Visite de l'Usine Rhône-Poulenc Nutrition animale à Commentry
- **Informations régionales** ..... 13-16
  - Images de la recherche en Auvergne
  - Le point sur Volcania
  - Universités
  - Centenaire du Premier Tramway électrique
  - Publications
  - Les Etats Généraux de la culture scientifique, technique et industrielle
- **Journée Langevin 1989 (suite)**  
**Les hormones et leur évolution dans le règne animal**  
par Pierre de Puytorac

## CONSEIL D'ADMINISTRATION ET ASSEMBLEE GENERALE DE L'ADASTA

le 19 décembre 1989 à la salle de Conférences de l'E.N.S.C. aux Cégeaux

**Conseil d'administration :** réunion à 17 h sous la Présidence de M. VESSIERE.

### Etaient Présents :

- M. R. Vessière, Président
- M<sup>me</sup> Chatonier, Vice-Présidente
- M<sup>me</sup> Gély, Secrétaire
- M. Capelani, Trésorier
- M. Jouanisson, Directeur Scientifique
- MM. Ackermann, Directeur du CUST
- Barnoux, Professeur Centre J.-Perrin
- Béal, Directeur du CRDP
- Chapelle, Professeur col. G.-Philippe
- Dépreux, Prof. Lycée S.-Apollinaire
- Fontaine, Prof. Université. B.-Pascal
- Gélas, Directeur à l'E.N.S.C.
- Massaux, Maître de Conférences à l'Université
- Mercier, Professeur à l'IUT Montluçon
- M<sup>me</sup> Yacine, Prof. Lycée de Chamalières

### Etaient excusés :

- MM. Boutin, Président de l'Université Blaise-Pascal
- Guyon, Directeur du Palais de la Découverte
- Irigaray, Chef de Mission Académique
- M<sup>me</sup> Jobert, Conservateur de la Bibliothèque Universitaire
- MM. Malterre, Président de l'INRA
- Le Maréchal, Directeur Régional EDF
- Rondreux, Directeur des Affaires Scientifiques et Techniques à la Manufacture Michelin
- M<sup>me</sup> Rouhette, Présidente de l'Université de Clermont I.

**Rapport moral :** Rappel des principales actions réalisées au cours de l'année 1989.

- 1°) **Présentation de l'exposition "Les Insectes, mi-démons, mi-merveilles" au CRDP avec 10.000 visiteurs, 16 ateliers, 5 conférences (du 20 février au 19 mars 1989).**
- 2°) **Actions en faveur des lycées et collèges :**
  - stages de formation en liaison avec la MAFPEN (Mission Académique à la Formation des Personnels de l'Education Nationale).
  - fourniture de documents pédagogiques.
  - diffusion d'une exposition itinérantes "Le Rôle des Scientifiques pendant la Révolution Française" dans les établissements scolaires.
- 3°) **Publication de la Revue "Auvergne-Sciences" (3 numéros en 1989).**
- 4°) **Organisation :**
  - de visites à caractères scientifique et technique (CERN à Genève, Roussel-Uclaf à Vertolay, Verdôme à Puy-Guillaume, Rhône-Poulenc à Commentry).
  - de conférences grand-public sur des sujets d'actualité : "L'effet de Serre et le climat", "les Supraconducteurs à haute température critique".

**Rapport financier** présenté par M. Capelani. Les comptes sont approuvés à l'unanimité.

**Renouvellement du mandat du Directeur Scientifique :** à l'unanimité, M. Jouanisson a été reconduit dans la charge de Directeur Scientifique pour une durée de 3 ans.

Le Conseil d'Administration étant terminé, M. Vessière déclare ouverte l'Assemblée Générale.

Après rappel du rapport moral et du rapport financier, le Président propose les actions programmées pour 1990 :

- stages de formation pour les enseignants
- université d'été du 27 août au 1<sup>er</sup> septembre 1990 à recrutement national au Département de Physique.
- création de matériel et documents pédagogiques.
- création d'une exposition itinérante d'Astronomie.
- organisation de conférences, de visites,...

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 19 h.

S. GÉLY

### L'ADASTA a reçu en 1989 le soutien financier

- de la Délégation à l'Information Scientifique et Technique (Ministère de la Recherche et de la Technologie)
- du Conseil Régional d'Auvergne
- de la Direction Régionale des Affaires Culturelles (Ministère de la Culture et de la Communication)

### Auvergne-Sciences : publication trimestrielle

#### Adhésions et Abonnements :

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Adhésion à titre individuel ..... | 100 F             |
| Adhésion à titre collectif .....  | 500 F             |
| Membre bienfaiteur .....          | 1000 F (au moins) |

L'adhésion donne droit au service gratuit du bulletin et à des réductions sur les différents services rendus par l'Association (publications, stages, visites,...).

Adressez le courrier à ADASTA, UFR Sciences, 63177 Aubière Cedex - Tél. 73 40 72 26

Directeur de la Publication : Roger VESSIERE

Rédaction : Roland JOUANISSON

**Bulletin trimestriel – Abonnement : 100 F par an**

Edité par ADASTA – Complexe des Cégeaux  
63177 AUBIERE CEDEX – Tél. 73 40 72 26

Photographie de la couverture :

Chaîne des Puys - Image SPOT.

Traitement BRGM - Copyright CNES.

# LA RECHERCHE

## LA TELEDETECTION SPATIALE

### UN NOUVEL OUTIL DE L'AMENAGEMENT DE NOTRE PLANETE

par Jean-Yves Scanvic\*



La télédétection est une technique d'exploration du milieu naturel héritée de l'aérophotographie. Elle a été développée pour une utilisation aérospatiale, mais son essor actuel est étroitement associé à celui de la technologie spatiale.

#### HISTORIQUE

L'aérophotographie est née en 1839 avec l'invention du daguerrotype par Niepce et Daguerre. Gaspard Félix Tournachon, dit Nadar dépose le premier brevet en 1844 et réalise en 1858 la première photographie aérienne de Paris à partir d'un ballon. Arago, Laussedat, Deville et Van Opel établissent les bases de la photogrammétrie moderne qui permet la réalisation des cartes topographiques en courbes de niveaux et la présentation cartographique rigoureuse des documents thématiques.

Dès lors, les photographies aériennes sur émulsion panchromatique, en couleur ou en fausse couleur, à toutes échelles, servent de base à l'interprétation géologique ou pédologique de régions entières. Ainsi, la cartographie géologique du Sahara, puis des territoires francophones d'Afrique, connaît un essor fantastique dès 1950. Certaines découvertes pétrolières doivent beaucoup à l'aérophotographie et c'est ainsi que dès cette époque la plupart des organismes d'Etat des sociétés privées intéressés aux ressources terrestres en deviennent des utilisateurs réguliers.

Le passage de l'aérophotographie à la télédétection est l'aboutissement d'efforts entrepris dès 1960 sur deux plans : la diversification des "vecteurs" avec l'emploi de satellites<sup>(1)</sup> et la diversification de "capteurs", par le développement de technologies d'acquisitions nouvelles au delà de la caméra photographique classique et des émulsions sensibles à la lumière du jour.

Les premières photographies spatiales sont d'abord rapportées par les cosmonautes des satellites GEMINI et APOLLO : elles suscitent immédiatement l'intérêt des géologues habitués déjà à l'exploitation des photographies aériennes, mais il faut attendre 1972, avec le lancement des satellites d'observation LANDSAT et SKYLAB, pour juger de la qualité de l'information recueillie.

\* Jean-Yves SCANVIC a fait ses études de géologie à l'Université de Clermont-Fd. Géologue en Afrique à ses débuts, il se spécialise ensuite à l'Institut Français du pétrole sur l'interprétation des photographies aériennes, puis dès 1968 au BRGM, en Télédétection. Il est l'auteur d'un ouvrage "Télédétection Géologique".

(1) Le premier SPOUTNIK russe a été lancé en 1957.

Entre temps, les techniques d'acquisition ont changé : des images photographiques aux performances limitées, on est passé aux images numériques multibandes. Puis, les différentes technologies d'acquisition, de traitement du signal et d'interprétation thématique se développent. En France, le Centre National des Etudes Spatial (CNES), fondé il y a 25 ans, y contribue largement pour sa part, en février 1986, avec le lancement réussi du satellite SPOT, premier d'une série au service des utilisateurs du monde entier.

Il est clair que la télédétection est désormais synonyme d'Espace, même si à l'ombre des satellites une télédétection aéroportée se développe.

Mais l'historique, nécessaire il est vrai, n'est pas tout et il nous faut maintenant répondre à certaines questions fondamentales pour juger de l'intérêt de cette technique : pourquoi, comment, à quelle fin et dans quelles limites ?

#### PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET APPLICATIONS ACTUELLES

La vision synoptique qu'autorise l'enregistrement de données depuis un satellite est irremplaçable pour l'étude des sciences de la Terre et du milieu. LANDSAT nous donne accès, à chaque image, à 33 000 km<sup>2</sup>, SPOT à 3600 km<sup>2</sup> dans des conditions climatiques variées : sols nus ou couverts de végétation, secs ou humides. Cette dimension d'observation est très complémentaire de celle du spécialiste à l'échelle du terrain. Elle est à l'origine d'informations originales dont l'impact n'est pas encore totalement exploré car elle permet une perception globale de facteurs divers : contenu en eau des sols, état de la végétation, nature des sols, géologie et tectonique que, du fait des cloisonnements disciplinaires, le cerveau humain n'a pas encore appris à intégrer. Or, cette intégration, base de l'aménagement de notre environnement et de sa protection, seule la télédétection est actuellement capable d'en permettre la réalisation, en fédérant les observations thématiques, spécifiques à chaque type d'observation.

Comment, dès lors la télédétection permet-elle d'acquérir ces données ? Quelques rappels de physique sont nécessaires pour le comprendre car la télédétection est fondée sur la notion de spectre électromagnétique.

En effet, les éléments constitutifs de l'écorce terrestre, roches, sols, végétation et eau, ainsi que les objets qui la recouvrent, absorbent, réfléchissent ou émettent une quantité d'énergie qui dépend :

- de la longueur d'onde,
- de l'intensité du rayonnement incident,
- des caractéristiques des objets et éléments et en particulier des caractéristiques d'absorption,
- de l'orientation de ces objets et éléments par rapport au sol et ou à la source d'éclaircissement...

La télédétection est une technique qui permet de détecter à distance, sous forme de photographies ou d'enregistrement donnant lieu à images, les variations d'absorption, de réflexion et d'émission des ondes électromagnétiques.

Ces enregistrements sont généralement sous une forme numérique ; ils sont transmis vers la Terre aux stations de réception équipées à cet effet et réparties un peu partout sur notre planète. Il existe toutefois des zones d'ombre, sur l'Afrique par exemple, mais les enregistreurs de bord permettent d'y remédier, au moins partiellement.

Les capteurs ou radiomètres qui permettent l'acquisition des données depuis l'espace sont spécifiques de certains domaines de longueur d'onde. La gamme du visible et du proche infrarouge est certes privilégiée, mais il existe aussi des radiomètres opérant dans la gamme infrarouge moyen et thermique : ainsi, la télédétection permet de voir ce que notre œil perçoit, mais aussi de visualiser sous forme de fausse couleur ce que l'œil est incapable de percevoir.

Enfin, un autre système, spécifique du domaine des hyperfréquences permet en mode actif d'accéder à une vision beaucoup plus "morphologique" de la surface de la Terre, quelle que soit la couverture nuageuse

## LA RECHERCHE

qu'il est seul à "traverser" : c'est le radar latéral, très utilisé en zone équatoriale.

Les vecteurs de ces radiomètres sont mieux connus. Les satellites et les navettes, CHALLENGER, COLOMBIA, DISCOVERY ont conquis depuis longtemps droit de cité grâce à la spectaculaire "conquête" de la Lune. En matière de sciences de la Terre, les satellites sont généralement de type à défilement placé sur une orbite héliosynchrone du Soleil, sub-polaire, d'environ 800 à 1 000 km, permettant une surveillance totale de la Terre lorsque les conditions météorologiques sont favorables. Grâce à un accord international, les données qu'ils recueillent sur l'ensemble de la planète sont accessibles à tous, partout et pour de nombreuses applications, sur des bases commerciales bien établies : c'est le cas du système américain LANDSAT, du système SPOT franco-suédois. Actuellement, même les photographies prises par les satellites soviétiques sont disponibles à la vente à Toulouse, via le GDTA<sup>(2)</sup>, correspondant en France de l'Agence Soyouzka agrée pour la commercialisation des produits Cosmos et Soyouz.

Du fait de ses caractéristiques, la télédétection est largement utilisée pour l'observation et l'acquisition de connaissances sur le milieu naturel, ce qui traduit le panorama qui suit.

C'est d'abord un formidable outil de **pédagogie**, car la photographie du milieu et son commentaire sont infiniment plus démonstratifs qu'une explication théorique. La télédétection a droit de cité dans nos lycées où géographes et naturalistes s'en servent pour leur démonstration et les médias ne se sont pas trompés sur l'impact visuel de documents qu'ils utilisent maintenant fréquemment pour illustrer l'événement : Mexico, Medelin, Tchernobyl... les images SPOT ayant saisi la catastrophe en temps quasi réel ont fait la une des magazines.

En **météorologie**, chacun d'entre nous est habitué à voir à la télévision les images des satellites spécialisés, METEOSAT ou NOAA, reçues par la station de LANNION, (Massif armoricain) sur lesquelles sont fondées les prévisions de temps : leur animation nous aide largement à comprendre le commentaire, et sa fragilité dans certains cas.

En **océanographie**, l'IFREMER<sup>(3)</sup> a largement développé l'utilisation de la télédétection : repérage des zones de température élevée, propices à la pêche, bathymétrie des zones littorales, détection des eaux riches en plancton, véritables prairies des mers.

En **agronomie**, l'INRA<sup>(4)</sup> et le BDPA<sup>(5)</sup> développent des applications qui connaissent actuellement un grand essor car les satellites récents, qualifiés de seconde génération, sont mieux adaptés que les premiers à la résolution des problèmes posés dans ce domaine. LANDSAT THEMATIC MAPPER,

(résolution 30 mètres) et SPOT HRV, (résolution 20 et 10 mètres) permettent la cartographie du parcellaire agricole, l'inventaire des cultures et leur suivi dans le temps, aide précieuse à l'évaluation des récoltes : c'est l'objet d'une étude entreprise à l'échelle européenne, avec le concours de la CEE, à laquelle participent le BDPA, spécialiste du développement agricole et le BRGM dont l'expérience en traitement numérique des données de télédétection est reconnue.

En **matière d'aménagement**, les études fondées tout ou en partie sur la télédétection sont nombreuses : cartographie des sols, recherche de site de tracés linéaires, routes, voies ferrées, pipelines, cartographie urbaine, implantation d'ouvrage d'art, tirent bénéfice de la télédétection.

En **géologie appliquée**, les exemples d'utilisation sont nombreux, en particulier pour l'établissement de cartes lithologiques et structurales, qui constituent des documents de base pour les recherches minières, pétrolières, de matériaux divers et d'eaux souterraines. Ils le sont aussi en cartographie des zones de "risques naturels" : tremblement de terre, volcanisme, mouvement de terrain.

La télédétection s'avère notamment très utile dans la phase d'appréciation du risque : la France, par exemple, a connu cette année deux fléaux : la sécheresse et l'une de ses conséquences, les feux de forêt. SPOT a servi à dresser un constat du premier de ces fléaux et établir, sur une base objective, l'importance des dégâts, pour l'appréciation de ceux-ci. En matière de feux de forêt, une étude a été entreprise par le BRGM à la demande du Ministère de l'Environnement à partir des images thermiques NOAA pour mettre en évidence, avant le départ du phénomène, certains points chauds plus sensibles à son démarrage.

Les études à caractère géologique sont souvent fondées sur la télédétection et plusieurs d'entre elles, réalisées par le BRGM en région Auvergne, ont tiré profit de la méthodologie mise en œuvre un peu partout sur notre planète par des équipes de géologues ayant une double compétence : leur spécialité est la télédétection. C'est le cas des synthèses métallogéniques qui sont en cours de réalisation sur plusieurs régions du Massif Central : dans la région de Pontgibaud, district plombo-argentifère, et en Limousin autour des aurières de Nexon. Ces synthèses ont pour objectifs la relance de la prospection minière sur des bases nouvelles.

Il y a quelques années lors des études préliminaires à la construction du barrage sur l'Arnon, à Sidalles (Cher), la télédétection spatiale a largement contribué à la connaissance géologique du site, mettant en évidence des failles inconnues auparavant.

L'image SPOT de la région de Clermont-Fd a été choisie pour illustrer certains aspects de l'utilisation de la télédétection. C'est une reproduction en fausse couleur destinée à visualiser l'information de type infrarouge que l'œil ne perçoit pas normalement.

Le code adopté, hérité de l'expérience est le suivant :

- en rouge : l'information de type infrarouge entre 0,79 et 0,89 micron.
- en vert : l'information entre 0,61 et 0,68 micron (orangé).
- en bleu : l'information entre 0,50 et 0,59 micron (vert).

Sur cette image du 10 novembre 1986, on note une dominance de la couleur rouge, qui révèle la végétation par l'intermédiaire de la vigueur de l'assimilation chlorophyllienne, sensible à l'infrarouge. Ailleurs la couleur bleue trahit les sols nus et les tâches de couleur marron reflètent des phénomènes plus variés, les forêts par exemple.

Les sols nus caractérisent la Limagne, bassin d'âge tertiaire limité par des accidents cartilignes que souligne le contraste de couleur car les zones en rouge, où dominent les pâturages, correspondent aux formations du socle granitique et métamorphique du Massif Central. La tache marron orientée Nord Sud dans le quart Nord Ouest de l'image nous restitue avec précision le contour du volcanisme de la chaîne des Puys, dont chaque volcan se détache avec netteté malgré la vision depuis 836 km d'altitude dans l'espace. La coulée "en pince de homards" du Puy-de-Côme est parfaitement restituée. Lacs, rivières, agglomérations, sont bien identifiables, même pour un observateur inexpérimenté. On situe bien Clermont-Ferrand, le circuit de Ladoux.

Signalons au plan régional, l'initiative de la société SAT Edition qui vient de publier sur l'Auvergne une série de posters et de cartes postales en vue tridimensionnelle.

### LIMITES ET PERSPECTIVES

Pour conclure, ce rapide examen du potentiel d'utilisation de la télédétection en sciences de la Terre et du milieu, il nous faut tracer les limites actuelles de l'outil. Ces limites sont d'abord technologiques : résolution spectrale, donc taille des objets qu'on peut observer ; résolution spatiale, donc accès à une information de plus en plus spécifique ; stéréoscopie, donc perception des formes du relief. Des avancées technologiques ont été réalisées avec Thematic Mapper (LANDSAT) et HRV\* (SPOT). D'autres progrès sont prévisibles puisqu'on envisage déjà des radiomètres affichant des résolutions à 5 mètres : il reste à convaincre les militaires, toujours soucieux de la protection des aménagements stratégiques.

Une autre limite freine encore le développement de la télédétection, celle du coût des matériels de traitement du signal et la haute qualification du personnel que nécessite leur utilisation : à cet égard, l'évolution est rapide, grâce au développement des micro et mini-ordinateurs ainsi qu'à celui des stages spécialisés, organisés en particulier au GDTA, à Toulouse.

Enfin, pour terminer, signalons trois rendez-vous, le lancement de SPOT 2, janvier 90, le lancement d'ERS 1, satellite radar européen, début 1991 et le grand projet international de plate-forme orbitale, (EOS) que l'on pourra visiter dès l'an 2000 avec la navette française HERMES.

(2) Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale auquel participent : le CNES, le BDPA, l'IGN, l'IFP et le BRGM.

(3) Institut Français de la Mer.

(4) Institut National de Recherche Agronomique.

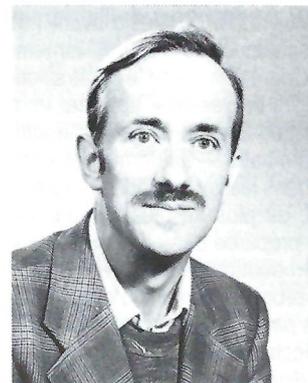
(5) Bureau pour le Développement de la Production Agricole.

\* Haute résolution dans le visible.

# LE VERRE : PROPRIÉTÉS ET APPLICATIONS

par Michel Massaux\*

Le verre est à la fois un matériau banal et secret. Produit de consommation, de prix négligeable lorsqu'il sert à l'emballage ("verre perdu"), il devient un matériau de haute technologie à forte valeur ajoutée dans ses applications, en optique ou en télécommunications (fibres), en électrotechnique, en technologie spatiale ou en génie chimique (verres frittés, membranes capillaires).



Par ailleurs, quand on examine la part que l'enseignement lui consacre, on s'aperçoit qu'il est traité en parent pauvre, en comparaison avec les alliages métalliques ou les semi-conducteurs, par exemple. Il y a une raison simple à cet état de fait : le verre est beaucoup moins facile à étudier et à décrire qu'eux. Et c'est pour tenter de corriger cette carence que nous nous proposons de vous le faire un peu mieux connaître, dans un article qui s'étalera sur deux numéros d'Auvergne-Sciences. Dans une première partie, nous allons mettre en lumière les aspects expérimentaux qui font du verre un matériau énigmatique, puis son histoire et son utilisation dans l'expression artistique, et nous rappellerons enfin l'existence de verres naturels en géologie. Dans la seconde partie, à paraître, nous examinerons les caractéristiques structurales, la fabrication moderne, les propriétés et les applications des verres. Et nous y adjoindrons tout naturellement une présentation des activités verrières de notre région : des entreprises performantes y sont en effet installées : VERDOME à Puy-Guillaume, SEDIVER à Saint-Yorre occupent, dans des spécialités différentes, une place de choix dans cette industrie fondamentale.

## INTRODUCTION

Le verre (ou plus généralement tout composé vitreux) est un matériau étonnant à plus d'un titre. De composition chimique variable, il présente des propriétés physiques allant d'un extrême à l'autre : naturellement fragile, on peut le rendre incassable au point d'en faire des blindages ou des écrans pare-balles ; fondant facilement, dans les conditions normales, on l'emploie après un traitement approprié, pour réaliser des récipients utilisables à très haute température ; rigoureusement transparent à certaines radiations, il peut être totalement opaque à d'autres rayonnements. Cette diversité de propriétés est le reflet d'une structure particulière, et c'est par une étude structurale approfondie que l'on doit espérer éclaircir l'origine des

disparités observées, et justifier l'importance technologique – et donc économique – des matériaux issus du verre et de ses dérivés.

## LES FAITS EXPÉRIMENTAUX

Quelles sont les caractéristiques permettant de classer un matériau dans la famille des verres ? Voilà une question fondamentale à laquelle il n'est pas facile d'apporter une réponse précise : le plus simple est de procéder par élimination. Si l'on examine les solides qui nous entourent, on remarque que certains, comme les métaux, ont un point de fusion précis, à tel point qu'on l'utilise parfois comme repère dans l'échelle des températures. Ce n'est pas le cas du verre, dont la fusion pâteuse s'étale sur un domaine de plusieurs centaines de degrés. D'autre part, les métaux **crystalisent**, comme un très grand nombre de composés de formule chimique définie ; les solides cristallisés ont des propriétés physiques anisotropes, c'est-à-dire qu'elles dépendent de la direction dans laquelle on les mesure. Ce n'est pas le cas du verre, qui manifeste une remarquable **isotropie** de ses propriétés physiques. Une expérience amusante, et simple à réaliser, permet de le montrer.

Pour ce faire, il faut disposer d'une lame cristalline à faces parallèles (par exemple du gypse ou du mica) et d'un morceau de verre à vitres. On les trempe dans de la paraffine fondue, et on les retire ; en laissant refroidir, on obtient une couche mince, d'épaisseur uniforme, sur les deux lames. En appliquant contre elles une pointe préalablement chauffée, on voit fondre localement la paraffine, autour de la pointe, et la limite de la zone fondue dessine deux contours totalement différents : une **ellipse** allongée avec le mica, ou le gypse et un **cercle** avec le verre. Cette expérience illustre l'anisotropie de la conduction thermique du mica et du gypse, alors que le verre se comporte de façon isotrope. Des expériences plus élaborées confirment que l'ensemble des propriétés physiques (mécaniques, acoustiques, optiques, électriques ou magnétiques) mesurées sur des verres n'ayant subi aucun traitement particulier après leur

fabrication, révèle une isotropie globale, sans exception. On peut déduire de ce faisceau convergent d'observations que le verre n'est pas un matériau cristallisé : on doit le classer dans la famille des solides **amorphes**.

On retrouve cette originalité dans les aspects chimiques. Le verre ordinaire est obtenu par fusion de silice ( $\text{SiO}_2$ ), chaux ( $\text{CaO}$ ) et "soude" ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Les proportions convenables sont dans l'ordre, environ 70 %, 15 %, 15 %. Mais elles peuvent varier notablement, sans que le produit obtenu soit fondamentalement différent. Il est également possible d'introduire d'autres oxydes sans voir changer beaucoup les propriétés physico-chimiques du verre réalisé. La composition d'un verre peut donc varier dans de larges proportions ; seules, des caractéristiques de détail sont affectées. Ces observations confirment que le verre n'est pas cristallisé ; les cristaux ont – à quelques rares exceptions près – des compositions chimiques parfaitement définies : la cristallisation est d'ailleurs une méthode très classique de purification des espèces chimiques.

Les verres traditionnels, sont d'origine minérale ; avec le développement des matériaux organiques, on a réalisé des verres formés de macromolécules à squelette carboné. Ils ne seront pas étudiés en détail dans cet article, car ils appartiennent à la grande famille des matières plastiques, dont nous aurons l'occasion de parler plus tard, dans un prochain article.

## HISTOIRE DU VERRE

Le verre a probablement été découvert par hasard, au cours d'opérations de poterie ou de métallurgie primitive, à une date difficile à préciser, mais remontant à au moins 6000 ans. On ne sait pas davantage où la découverte s'est produite : on la situe généralement en Egypte ou en Mésopotamie. Il existe, au Musée du Caire, une tablette d'argile portant, en caractères cunéiformes, la "recette" de fabrication du verre : un mélange de 60 parties de sable, 18 parties de cendres de plantes marines et 5 parties de craie, portées à

\* Michel MASSAUX, Maître de Conférences à l'Université Blaise-Pascal.

haute température dans un four de potier, donne un matériau translucide, que l'on peut colorer en vert par des oxydes de fer, en bleu par du cuivre. Au X<sup>e</sup> siècle avant notre ère, cette technique se répand largement au Moyen-Orient : on utilise le sable siliceux, des coquillages broyés pour apporter un calcaire plus pur que la craie, et le natron, carbonate de sodium naturel, qui forme des dépôts fréquents dans les zones arides d'Asie Mineure. La pâte, de plus en plus homogène, mieux fondue, préparée dans des creusets qui évitent l'introduction de nombreuses impuretés, permet progressivement d'obtenir par moulage des petits objets décoratifs ou utilitaires. Au 1<sup>er</sup> siècle avant notre ère, on commence à réaliser des vases par soufflage : des verriers syriens ou carthoginois s'installent en Italie, car la civilisation romaine attache beaucoup de prix aux objets en verre. L'empereur Néron payait 6000 sesterces (environ 12000 F actuels !) pour un verre presque transparent, et les secrets de fabrication étaient jalousement gardés. Des estampilles apparaissent. Le III<sup>e</sup> siècle après J.-C. marque l'apogée d'un art qui va ensuite subir les avatars des invasions barbares. Les soudes d'Orient sont inaccessibles, on tente de les remplacer par de la cendre de bois, riche en potassium ; la technologie évolue confusément et une période incertaine s'étale jusqu'au Moyen-Âge.

Au XI<sup>e</sup> siècle, on observe une véritable renaissance de l'art du verre : à Venise d'abord, où les méthodes de fabrication s'inspirent des techniques traditionnelles du Moyen-Orient ; puis en Normandie, où elles sont sans doute introduites par des navigateurs. Au XIV<sup>e</sup> siècle, d'autres foyers de création se développent, en particulier en Bohême, en Rhénanie, puis en Lorraine à partir du XV<sup>e</sup> siècle.

Ce sont les verriers vénitiens, installés dans les îles de la Lagune, pour éviter la propagation d'incendies (Murano) qui ont découvert le rôle de fondant de débris de verre introduits dans les matières premières naturelles : ce "calcin" permet d'abaisser notablement le point de fusion du mélange, facilitant ainsi le travail de la "pâte" obtenue ; ils mirent également au point de nombreux tours de main pour réaliser des verres torsadés, des verres à pied, des verres colorés, des verres plats très minces à partir de verres creux, cylindriques, fendus le long d'une génératrice ; ils furent également les premiers à réaliser des miroirs au mercure ; d'autres verriers, installés à Altare, près de Gênes, concurrencent fortement Venise et créent une émulation très bénéfique pour la qualité des produits obtenus, qui sont largement exportés, au cours des XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles.

Les verreries normandes s'intéressent particulièrement au verre plat : à partir d'une sphère obtenue par soufflage, que l'on fend selon 2 plans diamétraux orthogonaux, on réalise des sortes de "pétales" que l'on étire pour faire des plaques. La découverte de

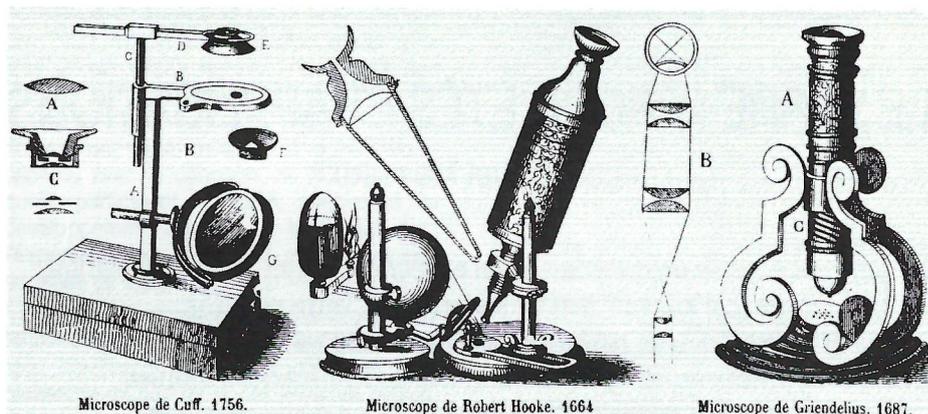


Photo n° 1 - Instruments anciens

cette technique originale remonte à 1330. Ces verreries artisanales travailleront jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, et disparaîtront avec l'avènement d'une méthode industrielle de fabrication du verre à vitre.

Bohême et Lorraine s'orientent vers la production de verres potassiques de très haute pureté, utilisés en optique ou pour réaliser des objets d'art de grandes dimensions, taillés et polis. La Bohême possédait, au Moyen-Âge, des exploitations minières uniques au Monde qui extrayaient des métaux rares, comme le cobalt, le nickel ou l'argent : les verriers locaux réussirent, avec les oxydes de ces métaux, des colorations somptueuses et inaltérables, largement utilisées dans l'art du vitrail.

À la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, la verrerie sort des structures artisanales, où les secrets étaient jalousement gardés, parfois même perdus. Vers 1750, des chimistes sont capables de définir les compositions optimales des mélanges fusibles pour obtenir du verre. La Manufacture Royale, installée à Saint-Gobain, dans l'Aisne, joue dans ce domaine un rôle pilote. Les fours utilisent encore le bois ; il en faut des quantités énormes, et les verreries s'installent toujours dans des régions forestières. Les creusets sont en argile ; la fusion des matières premières exige au moins 1300°C. On coule le verre "sur table" pour obtenir des verres plats, ou on le souffle pour réaliser les verres creux : travail particulièrement pénible, car on part d'une boule de verre fondu d'environ 20 kg. C'est également à cette époque que l'on découvre l'utilité du *recuit*, qui diminue la fragilité des pièces, provoquée par un refroidissement irrégulier et trop rapide ; ce recuit est réalisé dans les superstructures du four, qui est spécialement aménagé.

Il faut signaler à cette occasion l'importance de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert, qui vulgarisa et répandit largement la technique de fabrication du verre sous toutes ses formes et mit fin aux "bricolages" géniaux, mais souvent hasardeux et peu reproductibles, qui avaient marqué l'élaboration du verre depuis ses origines.

L'évolution récente correspond à une industrialisation croissante, avec comme

objectifs simultanés une augmentation de la production, une amélioration de la qualité et une diminution des coûts : chauffage au charbon, puis au gaz ou au fuel lourd des fours ; récupération de la chaleur des gaz de combustion pour réchauffer l'air admis aux brûleurs ; fours continus, laminage continu, polissage automatique, verre "float" pour les glaces ou verres plats ; moulage par processus "pressé-soufflé" avec recuit automatique pour les bouteilles ou la gobeletterie.

Des techniques nouvelles se sont développées récemment pour l'élaboration de verres spéciaux (filtres optiques, verres photochromes), les traitements de surface particuliers (trempe, dépôts réfléchissants ou semi-réfléchissants, revêtements conducteurs), la réalisation de composants nouveaux (fibres optiques, composants électroniques) ou la mise en forme de nouveaux matériaux (laine de verre pour l'isolation thermique, fibres pour les composites).

La fabrication du verre, qui s'est largement diversifiée à l'époque moderne, s'ouvre, à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle, sur un avenir riche de



Travail du souffleur de verre

promesses et d'innovations, faisant du verre un des matériaux de synthèse les plus polyvalents qui soient.

## LE VERRE, MATERIAU SUPPORT D'EXPRESSION ARTISTIQUE

La verre a été, dès ses origines, un matériau privilégié pour l'expression artistique ; malléable, façonnable, soudable, pouvant être coloré dans la masse, à volonté transparent ou translucide, il peut être gravé ou même sculpté. Il est stable, inaltérable, durable. Seul défaut : sa fragilité, qui a causé la perte d'un grand nombre d'œuvres anciennes.

### 1°) VASES ET PIÈCES GRAVÉS OU SCULPTÉS

Les plus vieux objets en verre qui nous sont parvenus intacts sont des vases de petite taille, trouvés dans des tombes égyptiennes remontant au XVI<sup>e</sup> siècle avant J.-C. Un peu plus tard, sous le règne d'Aménophis IV, vers 1400 avant J.-C., l'Égypte produisait des vases moulés sur un noyau de sable, qu'il fallait éliminer ensuite. Ils étaient décorés de fils de verre colorés, incorporés à chaud à la paroi translucide du vase. Des anses et un pied étaient soudés en fin de réalisation. Des plats, des statuettes ont également été fabriqués, les premiers par façonnage à la forme, les seconds par moulage, sans doute à la cire perdue.

Au III<sup>e</sup> avant J.-C., toujours en Égypte ou en Asie Mineure, sont réalisés des verres comportant une feuille d'or, éventuellement décorée, prise entre deux couches de verre débordantes, soudées entre elles.

Le verre soufflé apparaît au 1<sup>er</sup> siècle avant J.-C. Des vases réalisés suivant cette technique ont été découverts dans des tombes étrusques. Des centres de production ont été repérés en Égypte, en Syrie, en Phénicie et en Palestine ; puis on en retrouve en Italie, en Sicile, à Chypre, en Dalmatie ; enfin en Gaule, en Germanie, aux Pays-Bas. C'est à Pompéi que l'on a pu vérifier, en 79 après J.-C., l'abondance et la variété des objets de verre dans les intérieurs des villas patriciennes. Ces objets sont décoratifs autant qu'utilitaires : ils présentent des reliefs en bossages ou en creux, des gravures, des colorations, des incrustations, des filigranes. Le verre est parfois peint ou émaillé, agrémenté de cabochons en cristaux naturels, ou de plaques métalliques (or, argent, cuivre). On peut dire que, sous l'Empire romain, les verriers ont acquis une maîtrise de la décoration qui ne fut dépassée que dix siècles plus tard.

La chute de l'Empire romain vit disparaître ces productions admirables. C'est en Allemagne, Belgique, Scandinavie et dans le nord de la France que la verrerie d'art occidentale survécut aux bouleversements de l'époque. Les invasions barbares ont sans doute entraîné la destruction des pièces réalisées à cette époque : on peut toutefois citer les vases "à lar-

mes", (Rüsselbecher), produits et Rhénanie ; ce sont de gros verres coniques dont les parois extérieures comportent des excroissances creuses, sortes de grosses bulles irrégulièrement disposées (on les a retrouvés dans des tombes mérovingiennes). En Orient, c'est à Byzance que l'art du verre est le mieux préservé. Des ateliers prospèrent en Perse, à Tyr, à Antioche, à Damas et à Tripoli. Les œuvres produites, du V<sup>e</sup> au VIII<sup>e</sup> siècle, sont surtout des vases gravés, taillés ou décorés par émaillage. Puis à partir du X<sup>e</sup> siècle, elles s'enrichissent de dorures, de pierres précieuses ou de camées. Elles nous ont été transmises par les Croisés et figurent le plus souvent dans les Trésors des églises ou des cathédrales (par exemple St-Marc, à Venise).

La chute de Byzance, en 1204, ramène en Occident les secrets de fabrication et de décoration du verre ; c'est à Venise que des artistes s'installent pour produire des œuvres d'art remarquables, dès le XIII<sup>e</sup> siècle. Mais il faut attendre le XV<sup>e</sup> siècle pour que le rayonnement de Venise s'étende à toute l'Europe : des coupes, aiguères, plats ou vases, en verre aux couleurs vives, comportant des scènes à personnages ou animaux en relief sont exportés à grande échelle. Leurs formes très variées, leur décoration souvent exubérante créent une véritable renaissance artistique. Des imitations sont produites dans tous les pays européens, grâce à des verriers formés à Venise ou aux environs, comme par exemple à Murano.

Pendant ce temps, en Allemagne, et en particulier à Nuremberg, des foyers artistiques naissent, se consacrant à la peinture sur verre, tandis qu'à Prague, c'était la gravure qui était développée. Ce fut le point de départ de l'étonnant succès du verre de Bohême imitant le cristal de roche (Quartz) et caractérisé par une taille profonde dans un matériau de limpidité exceptionnelle. Cette pureté, qu'aucun verrier n'avait pu obtenir jusqu'alors, était due à l'utilisation massive dans l'élaboration du verre, de quartz broyé, sous-produit, très répandu dans la région, des exploitations minières ayant contribué à la richesse de la Bohême.

Le verre de Bohême (appelé à tort "cristal") garde, à notre époque, une renommée indiscutable.

Tandis qu'à Venise, on développait la technique des miroirs, largement utilisés en architecture (par exemple la Galerie des Glaces, à Versailles), le XVII<sup>e</sup> siècle voyait naître, en Angleterre, un nouveau verre de haute qualité : **le cristal**, un verre au plomb, dans lequel l'oxyde de plomb, jouant le rôle de fondant, remplace la chaux et représente de 24 à 30 % de la composition globale. Ce verre, dense, parfaitement transparent, d'indice plus élevé que le verre ordinaire, est plus facile à tailler. En plus, il jouit d'une sonorité cristalline remarquable. Partout, on cherche à imiter cette fabrication. En France, on y parvient

vers 1760. Les verreries royales de Saint-Louis, près de Bitche, en Moselle, sont les premières à s'adapter à cette nouvelle technique ; une cristallerie est fondée à Baccarat, dans la Meurthe et Moselle, en 1764. D'autres usines se développent, au Creusot, à Choisy-le-Roi (1821), à Bercy (1827), à Sèvres, au Val-Saint-Lambert, etc... Des artistes, attachés à certaines cristalleries, créent des œuvres originales, aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. Parmi les plus célèbres, on peut citer Brocard, Daum, Dammouse, Larche, Lévillé ; Emile Gallé (1846-1904) développe l'Art nouveau, suivi par René Lalique (1860-1945), décorateur renommé, et par Maurice Marinot (1882-1960), peintre sur verre.

En Europe, ce sont les pays scandinaves qui ont sans doute le plus innové dans l'expression artistique contemporaine ; mais les verreries italiennes, en particulier Murano, ou allemandes, ont su maintenir une tradition d'originalité et de qualité expliquant leur renommée internationale.

### 2°) LE VITRAIL ET LES TECHNIQUES APPARENTÉES.

Le vitrail est une composition décorative translucide, faite de pièces de verre, teintées dans la masse, serties dans un réseau de languettes de plomb. Destiné à fermer une ouverture, il a été très utilisé dans les édifices religieux, dès le Moyen-Âge. Les origines remontent aux premiers siècles de notre ère : les basiliques paléochrétiennes, Sainte-Sophie à Constantinople en comportaient, sous une forme primitive. Un vitrail du IX<sup>e</sup> siècle existait à Séry-lès-Mézières, en Picardie ; il a été détruit pendant la guerre de 1914-1918. Une figuration du Christ se trouvait à l'église de Wissembourg (bas-Rhin) en 1060 : elle est conservée au Musée de Strasbourg.

C'est au XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles que le vitrail parvient à une expression artistique achevée : pour rendre le détail des formes, l'artiste modifie la transparence des pièces en les peignant, sur la face interne, avec de la grisaille, qu'une cuisson à 500°C environ incorpore au verre (la grisaille est un mélange de verre pilé et d'oxydes métalliques délayés dans l'eau). Les motifs sont composés par panneaux rectangulaires limités par des cadres en fer forgé (barlotières) permettant de fixer les vitraux à la maçonnerie de la fenêtre.

Les vitraux de cette époque sont constitués de motifs principaux (le plus souvent des personnages isolés) entourés de décors secondaires (scènes bibliques, allégories), disposés dans des compartiments géométriques répétitifs. Les couleurs sont très vives, avec dominance de bleu. La cathédrale de Clermont-Fd garde quelques vitraux des XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles. Pendant la seconde moitié du XIII<sup>e</sup> siècle, on voit apparaître des panneaux plus clairs, où seule la grisaille intervient pour souligner un décor simplifié. Le but est, sans doute, d'éclairer davantage le chœur des églises.

## LE DOSSIER

Au XIV<sup>e</sup> siècle, priorité est donnée au dessin : la couleur est atténuée, les représentations prennent du relief, le sens de la perspective se développe. Des peintres de grande renommée sont appelés à créer des œuvres destinées à des vitraux. Les styles caractéristiques des grandes écoles de peinture apparaissent : c'est très net à la cathédrale de Bourges, par exemple. La fin du Moyen Âge se traduit par un réalisme proche de l'illustration : les meilleurs exemples sont dans l'Est de la France (Metz, Strasbourg), mais notre région en comporte également, par exemple dans le chœur de la cathédrale de Moulins, ou à la Sainte Chapelle de Riom.

La Renaissance voit un développement du style inspiré des artistes italiens. Perfection du dessin, rigueur des formes, douceur des coloris caractérisent une ère de stabilité dans l'art du vitrail. Mais le XVII<sup>e</sup> siècle annonce une stagnation, puis un déclin pour le vitrail religieux. Dans le même temps, les châteaux commencent à utiliser cette forme d'expression artistique pour leur décoration intérieure : scènes de chasse, motifs bucoliques ou héraldiques se répandent et connaissent un grand succès en Allemagne, en Suisse ou en Belgique.

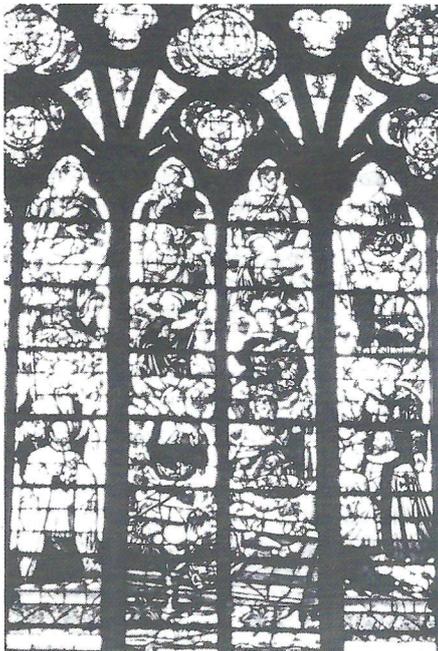


Photo n° 2 - Vitrail

Au XIX<sup>e</sup> siècle, on cherche d'abord à reproduire des vitraux anciens, détruits pendant la Révolution (Sainte-Chapelle de Paris, par exemple). Puis, un renouveau se manifeste, et atteint son apogée avec le "style 1900" : symbolisme dans l'expression, jeux de lumière caractérisent cette période ; on voit apparaître, au XX<sup>e</sup> siècle, les grandes tendances de la peinture : expressionnisme, cubisme, art abstrait (Braque, Matisse, Léger, Bazaine,

Manessier, Chagall). Le vitrail moderne reste un moyen privilégié d'expression artistique ; les maîtres verriers partagent leur activité entre la restauration de vitraux anciens et la recherche d'innovations créatrices.

Des techniques apparentées au vitrail se sont développées à notre époque : d'abord, l'architecture moderne utilisant largement le béton, on a remplacé les vitraux par des dalles de verre coloré juxtaposées, ou des plaques découpées et scellées dans les murs. Tout récemment, on a utilisé des résines synthétiques à la place du plomb pour l'assemblage des verres. On obtient ainsi des créations d'art abstrait qui s'expriment par la géométrie des contours et l'association des couleurs.

D'autre part, le peintre français Jean Crotti (1878-1959) imagina en 1939 une nouvelle forme artistique à base de verre coloré : le **gemmail**. On le réalise en juxtaposant et superposant des morceaux de verre coloré, ce qui donne sous éclairage intense, un chatouement très particulier.

On peut voir des gemmaux remarquables à la station de métro "Franklin Roosevelt", à Paris. Un musée lui est consacré, à Tours. Il est installé dans un vieil hôtel particulier de la place Plumereau, au cœur du quartier médiéval de la ville.

Précisons pour finir que, lors d'une prochaine sortie en Berry, au printemps, l'ADASTA\* se propose de faire visiter aux participants la cathédrale de Bourges, qui possède l'une des plus belles séries de vitraux de France ; on admire en particulier des œuvres du XIII<sup>e</sup> siècle dans le chœur, et des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles, dans les chapelles latérales.<sup>(1)</sup>

### LES VERRES NATURELS : APERÇU SUR LES ROCHES VITREUSES

Les volcans ont parfois fonctionné comme de gigantesques fours verriers. L'étude des roches éruptives montre en effet que, si la majorité d'entre elles sont formées par juxtaposition de minéraux bien cristallisés (basalte, trachyte, andésite, par exemple), il arrive aussi qu'elles soient amorphes, et très proches des verres silicatés artificiels. Ces roches sont désignées, dans leur ensemble, sous le nom de **roches vitreuses**.

Leur classification chimique se fait en fonction de leur composition chimique, en deux grandes familles : les roches vitreuses **acides** et les roches vitreuses **basiques**.

#### 1°) LES ROCHES VITREUSES ACIDES

Appelées **obsidiennes**, elles sont proches des rhyolites, roches éruptives cristallisées. Leur composition chimique les apparente aux granites, dont les minéraux dominants sont le quartz (SiO<sub>2</sub>) et le feldspath (aluminosilicate alcalin, comme l'orthose ou le microcline). De couleur noire, elles présentent une cassure

conchoïdale très caractéristique, comparable à celle du verre. Ce sont des roches dures (dureté 5 à 6 dans l'échelle de Mohs, c'est-à-dire comparable à l'apatite (5) et à l'orthose (6), et inférieure à celle du quartz (7)). La masse volumique est comprise entre 2,3 et 2,5 t.m<sup>-3</sup>. En lames minces, ces roches ont tout-à-fait le comportement optique du verre : on peut facilement vérifier l'isotropie de la transmission de la lumière ; l'indice de réfraction est compris entre 1,4 et 1,5.

Chimiquement, les obsidiennes sont des roches anhydres, à forte teneur en silice (au moins 70 %), et contenant de l'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et des oxydes alcalins Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O. Il existe une variété hydratée (environ 5 % d'eau en masse), appelée **rétinite** ou "pëchstein" : de couleur brune ou jaunâtre, cette roche a un éclat résineux, d'où son nom ; elle contient souvent de petites gouttes de "verre" : on l'appelle alors **perlite**.

La structure des obsidiennes ou rétinites est typique de celle des verres. Des tétraèdres SiO<sub>4</sub> ou AlO<sub>4</sub> sont liés par leurs sommets O ; le rapport du nombre d'atomes O/Si + Al est très proche de 2. Les ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> sont en position interstitielle, et compensant la différence de valence entre Si (4) et Al (3).

Dans la rétinite, l'eau contenue peut être éliminée en quasi-totalité par chauffage à 500°C. Elle n'est pas fortement liée et paraît résulter d'une hydratation secondaire, postérieure à la formation de roche. Les phénomènes métamorphiques agissant sur des massifs d'obsidiennes peuvent, exceptionnellement, provoquer une cristallisation partielle au sein de ces roches. Il paraît certain que le passage d'eau hydrothermale joue un rôle essentiel dans cette transformation : on observe alors l'apparition de sphérolites à structure radiale, formés à partir de germes ayant amorcé la cristallisation. Les roches présentant cet aspect très caractéristiques sont appelées **pyromérides**.

Les obsidiennes forment des coulées visqueuses, massives, dont l'altération est lente. On les trouve au voisinage immédiat des volcans d'où elles sont issues. Les gisements les plus célèbres se trouvent en Méditerranée, près de la Sicile (Iles Eoliennes : Vulcano, Lipari, Pantelleria) ; dans l'Atlantique aux Iles Canaries ; au Mexique, etc... L'Auvergne n'en présente pas de très bons exemples ; on peut toutefois signaler l'existence de rhyolites comportant des domaines amorphes dans des coulées provenant de la Banne d'Ordanche, près de Murat-le-Quaire et de perlites au Pessy, dans le même secteur ; des pyromérides sont visibles près du buron de Pédaire, aux abords du bois de la Paillère, partiellement détruit par la tempête de novembre 1982 : dans une pâte vitreuse de couleur claire, on peut observer des sphérolites plus sombres de 1 à 5 cm de diamètre.

Remarquons enfin que les obsidiennes ont toujours été recherchées comme matériaux

(1) NDLR : n'oublions pas que la Cathédrale de Clermont possède également une remarquable série de vitraux, notamment du XIII<sup>e</sup> siècle.

## SOMMAIRE

JOURNÉE PAUL LANGEVIN  
(24 MAI 1989)

(suite)

## INTRODUCTION

I . Evolution des systèmes  
neuro-endocrines et endocrines  
chez les métazoaires diploblastiques  
et les métazoaires triploblastiques

- Cnidaires
- Plathelminthes
- Annélides
- Mollusques
- Deutérostomiens

## II . Les hormones stéroïdiennes

III. Des hormones peptidiques et  
protéiques des vertébrés ne  
représentent qu'une suite  
d'un processus d'évolution  
des hormones des invertébrés

- A. Analogies de coloration
- B. Analogies de réponses immuno-histochimiques
- C. Similitude des processus métaboliques
- D. Homologies de séquences
  - a) entre groupes phylogénétiquement proches
  - b) entre groupes phylogénétiquement éloignés
- E. Parentés entre précurseurs d'hormones d'Invertébrés et de Vertébrés
- F. Récepteurs communs aux Invertébrés et Vertébrés

IV. L'origine des gènes ancestraux  
des gènes codant pour les hormones  
ne serait-elle pas à rechercher  
chez les unicellulaires  
(hypothèse de Roth et Al.)

## CONCLUSION

LES ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES  
EN AUVERGNE

L'Académie de CLERMONT a organisé en 1989 deux journées "Langevin". Le 24 mai 1989 s'est déroulée aux Cézeaux la deuxième Journée dont l'objectif était de présenter à un large public quelques aspects de la recherche de pointe menée dans les laboratoires des universités auvergnates.

Le Ministre de l'Education Nationale avait encouragé de telles initiatives dans les régions. En les adaptant aux sciences mathématiques, physiques et biologiques, nous avons voulu nous inspirer des traditionnels "entretiens de Bichat" qui drainent chaque automne, un grand nombre de praticiens venus s'informer des derniers progrès de la médecine.

Cette "journée auvergnate" a été une réussite puisque près de 200 auditeurs ont suivi les différentes conférences.

La Mission Académique de CLERMONT a donc organisé cette journée et a pris en charge les frais d'intervention et les déplacements des auditeurs.

Il nous a paru utile de publier le contenu de ces exposés. Dans ce numéro d'Auvergne-Sciences, bulletin de l'ADASTA, on trouvera le texte de la conférence de Monsieur le Professeur de Puytorac que je tiens à remercier pour cet important travail.

Les autres conférences concernant la biologie et les sciences physiques seront publiées dans un prochain numéro.

Le Chef de Mission  
J.L. IRIGARY

# LES HORMONES ET LEUR ÉVOLUTION DANS LE RÈGNE ANIMAL

par Pierre de Puytorac\*

Après la réalisation d'un état pluricellulaire et la différenciation de lignées cellulaires distinctes, il y a *a)* complexification et prolifération des systèmes signaux-récepteurs et *b)* localisation et régionalisation des cellules porteuses de tels systèmes récepteurs (cellules-cibles) et des cellules émettrices de tels signaux (cellules sécrétrices).

Il y a une évolution parallèle de l'organisation des systèmes neuro-endocrines dans les lignées protostomienne et deutérostomienne des Métazoaires triploblastiques, marquée par le groupement des corps cellulaires de neurones sécrétrices (organe X des Crustacés, pars intercerebralis des Insectes, noyaux hypothalamiques des Vertébrés) et assemblage des extrémités axonales dans des organes neuro-hémaux (glande du sinus des Crustacés, corpora cardiaca des Insectes, post-hypophyse et urophyse des Vertébrés). Des hormones, de nature peptidique ou protéique, des Vertébrés ne sont qu'une suite de l'évolution d'hormones présentes chez les Invertébrés, comme le suggèrent 1) les analogies de réponses immunohistochimiques (des anticorps d'hormones de Vertébrés réagissent positivement avec des produits de sécrétion d'Invertébrés et des anticorps d'hormones d'Invertébrés réagissent positivement avec des produits de sécrétion de Vertébrés), 2) les homologues de séquence entre hormones de groupes phylogénétiquement éloignés, 3) la conservation totale de certaines hormones (facteur encéphalique de l'Hydre), 4) les parentés entre précurseurs d'hormones d'Invertébrés et de Vertébrés, 5) la présence de récepteurs communs aux Invertébrés et aux Vertébrés.

Au cours de l'évolution des Métazoaires, la formation de centres nerveux précède celle de glandes endocrines. Les cellules nerveuses sont endocrines avant que se différencient des cellules sécrétrices endocrines. Une origine génétique paraît commune à certains hormones. Quand un gène ancestral s'exprime, ce serait d'abord dans des neurones avant que ses descendants ne s'expriment dans d'autres types cellulaires (cellules digestives).

L'origine des gènes codant pour les hormones serait à rechercher chez les Unicellulaires. Ces gènes ne seraient-ils pas proches de ceux codant pour les facteurs de croissance et les facteurs mitogènes ? Facteurs mitogènes, facteurs de croissance, neurohormones, hormones, ne représenteraient-ils que le déroulement d'un même système fondamental de communication ?

L'utilisation de peptides, d'une part, conduisant généralement à l'activation d'un second messenger contrôlant des systèmes enzymatiques, et des stéroïdes, d'autre part, aboutissant à une régulation directe de l'expression génétique, pourraient représenter 2 voies distinctes, parallèles, mais complémentaires dans l'évolution de ce système. On remarquera alors que des processus similaires ont été sélectionnés dans les différentes lignées de l'état métazoaire.

## INTRODUCTION

Tout organisme vivant est pourvu de systèmes d'information. Les Bactéries mobiles (*E. coli*, *Salmonella*...) peuvent s'orienter dans un gradient chimique, grâce à la possession de récepteurs spécifiques de diverses molécules externes. La liaison protéine-récepteur, avec une molécule un effet d'attraction ou de répulsion, aboutit à activer le changement de méthylation d'une autre protéine qui transmet le signal au rotor de la base du flagelle (voir G. HAZELBAUER, 1981). Dans un tel système, l'organisme synthétise les récepteurs et les molécules-signal sont présentes dans l'environnement (Fig. 1).

Une nouvelle étape est franchie chez d'autres Procaryotes où l'organisme synthétise aussi des molécules-signal auxquelles il peut répondre par des récepteurs spécifiques (comme dans la chémotaxie d'agrégation des Myxobactéries) (voir D. KAISER et al., 1979).

Une complexification supplémentaire apparaît chez les Eucaryotes Unicellulaires tels que *Dictyostelium discoideum* où l'agrégation des formes amibes en un ensemble multicellulaire fait intervenir une substance signal (AMPc), un récepteur spécifique de cette substance mais aussi une enzyme (AMP phosphodiesterase) qui inactive la substance-signal (Fig. 1).

Les systèmes de communication signaux-récepteurs sont très diversifiés chez les Protistes où les processus d'accolement de gamontes ou de gamètes mettent en jeu de nombreux récepteurs spécifiques de nombreuses substances-signal produites par le type sexuel complémentaire et soit diffusibles, soit intégrées dans la membrane cellulaire (voir P. de PUYTORAC, J. GRAIN, J.-P. MIGNOT,

1987). Ces systèmes aboutissent à une très grande diversification des processus d'isolement sexuel.

Avec la réalisation d'organismes pluricellulaires et la différenciation de lignées cellulaires, morphologiquement et physiologiquement distinctes, il y a, d'une part, *a)* complexification croissante et prolifération de tels systèmes (signaux-récepteurs), et d'autre part, *b)* localisation et régionalisation de cellules porteuses de tels ou tels systèmes récepteurs (cellules-cible) et de cellules émettrices de tels ou tels signaux et *c)* pluralisme des types de récepteurs pour une même molécule, ce qui multiplie les modalités de réponse.

Chez les organismes eucaryotes pluricellulaires animaux, les systèmes signaux-récepteurs interviennent dans le développement des organismes (inductions embryonnaires), dans l'intégration des organes en un organisme (systèmes hormonaux, nerveux), dans le comportement des individus et leurs activités sociales (phéromones,...) (voir J.-T. BONNER, 1984)

Des systèmes capables de capter des signaux du milieu extérieur ou de cellules voisines, de les transmettre et de les traduire apparaissent donc dans l'évolution bien avant la séparation des animaux et des végétaux (D. BÜCKMANN, 1987). Chez ces derniers, ils sont également présents mais de façon différente, en raison de l'absence de système nerveux (voir C.-M. CHADWICK et D.-R. GARROT, 1986), de la présence d'une membrane pecto-cellulosique et d'espaces intercellulaires remplis d'air.

Chez les animaux, les communications entre cellules peuvent se faire par des substances chimiques informatrices (Fig. 2).

*a)* échangées d'une cellule à l'autre, au niveau des zones d'attaches cellulaires, l'information étant alors immédiate, directe et possible dans les deux sens,

*b)* libérées dans l'espace intersynaptique par la terminaison post-synaptique d'une cellule nerveuse et agissant sur les récepteurs présynaptiques d'une autre cellule nerveuse, contigüe, l'information étant alors polarisée d'une cellule informatrice à une cellule-cible et la substance porteuse d'information étant dite un neurotransmetteur, de type acétylcholine, acide aminobutyrique, ou une amine bio-

\* Pierre de PUYTORAC, Professeur à l'Université Blaise-Pascal.

gène (dopamine, sérotonine, octopamine...) ou un peptide,

c) déversées par une cellule sécrétrice dans le milieu (cellule neurosécrétrice ou cellule endocrine), autour de la cellule, dans le milieu extracellulaire, dans le sang, l'hémolymphe ou dans le liquide céphalorachidien et agissant à distance sur des récepteurs de cellules-cible éloignées et de types divers. L'information est polarisée; le message est diffusé à plusieurs cellules et la substance porteuse de l'information est dite une hormone, de type peptidique, diphénylique ou stéroïde.

Une même substance peut être présente dans un phylum comme hormone ou comme neurotransmetteur, selon les relations qu'elle entretient avec les cellules-cible et intervenir dans un même organisme comme hormone ou comme neurotransmetteur selon le niveau de son action. L'adrénaline et la noradrénaline sont des neurotransmetteurs, dans le cerveau des Vertébrés et des hormones quand elles sont libérées par la médullo-surrénale.

En outre, de même que des neurones ont des propriétés sécrétrices semblables à celles des cellules endocrines, certaines de ces dernières, comme des cellules nerveuses, peuvent répondre à des stimulus par des variations de conductance ou des développements de potentiels d'action.

Enfin, les mêmes substances peuvent se retrouver dans les cellules nerveuses et dans les cellules endocrines (comme les substances immunoactives aux antisérums dirigés contre les peptides gastro-intestinaux présentes dans le cerveau) et, des cellules à sécrétion peptidique d'action hormonale ont aussi la capacité de produire des amines de types biogène (paraneurones), (comme les cellules pancréatiques à insuline et à glucagon synthétisant la 5-hydroxytryptamine) (B. KRISCH, 1985) ou les cellules immunoactives à la dopamine des ganglions sous-œsophagiens de la larve de *Bombyx* produisant une substance de type  $\alpha$ -endorphine (S. TAKEDA et al., 1986) ou la colocalisation de catécholamine et de neuropeptide dans des cellules neurosécrétrices d'Orthoptères (J. VIELLE-MARINTE et al., 1982). Un même neurone peut donc agir, sur différentes cellules-cible, de façon simultanée et complémentaire (ex. : le comportement de ponte de la Lymnée où des neurones de la commissure intercérébrale (CDC) des cérébroïdes, d'une part, synthétisent une hormone d'ovulation (Fig. 3) (= CDCH) et différents peptides (H.-H. BOER et E.-W. ROUBOS, 1985) passant dans l'hémolymphe et agissent, d'autre part, par action non hormonale mais neurale sur un interneurone modulant lui-même l'activité de neurones moteurs pédiens, ce qui est lié à une partie du comportement de ponte (J. JOOSE et al., 1985).

La coexistence de plusieurs neuropeptides dans un même neurone peut être due à ce qu'ils dérivent du même précurseur ou à ce qu'ils dérivent de précurseurs différents

emballés dans des vésicules différentes.

Le système endocrine peut être considéré comme formé de trois groupes cellulaires, différenciés par la nature de leur sécrétion (FUJITA, 1983).

1. **Cellules à sécrétion peptidique**
  - neurones
  - paraneurones
2. **Cellules à sécrétion diphénylique**
  - thyroïde
3. **Cellules à sécrétion stéroïde**
  - cellules endocrines proprement dites.

Presque tous les peptides d'abord découverts dans les cellules endocrines ont leurs correspondants dans le système nerveux central et périphérique et, inversement, tous les peptides du cerveau ont leurs correspondants dans les cellules endocrines (à l'exception du VIP (peptide vaso-intestinal) qui ne serait que dans les neurones (S. FALKMER, 1985).

Une troisième source de neuropeptides est la peau des Amphibiens. La caeruleine de *Hyla caeruleus* provoque la contraction de la vésicule biliaire des Mammifères. La bombésine (*de Bombina bombina*) induit la production de gastrine chez les Mammifères.

## I. EVOLUTION DES SYSTEMES NEURO-ENDOCRINES ET ENDOCRINES CHEZ LES METAZOAIRES DIPLOBLASTIQUES ET LES METAZOAIRES TRIPLOBLASTIQUES

### CNIDAIRES

Aucun neurotransmetteur n'a été identifié chez les Cnidaires (C.-J.-P. GRIMMELIKHUIJZEN et al., 1987), bien que les observations ultrastructurales révèlent l'existence des synapses chimiques chez les Hydrozoaires, les Scyphozoaires et les Anthozoaires (J.-A. WESTFALL, 1987). Des cellules neurosécrétrices y sont, par contre, observées, et des peptides de type RF amidés détectés (tel l'antho-RF amide : Glu-Gly-Arg-Pheamide), ce qui peut suggérer que la forme première d'activité hormonale chez les animaux serait une régulation de type neuro-hormonal.

### PLATHELMINTHES

D'autant plus que chez les Plathelminthes, organismes triploblastiques dont l'origine (Fig. 5) est bien différente de celle des Métazoaires diploblastiques (K.-G. FIELD et al, 1988). La synthèse hormonale est aussi assurée uniquement par des neurones, les cellules neurosécrétrices étant dispersées dans tout le système nerveux et leurs axones se terminant à la périphérie des nerfs.

### ANNÉLIDES

Chez les Annélides, il y a une tendance au rassemblement des cellules neurosécrétrices dans le système nerveux central, notamment les ganglions supracœsophagiens. En outre, leurs terminaisons axonales se concentrent en une glande infracérébrale où il y a stockage des produits sécrétés. Les cellules

neurosécrétrices sont nombreuses dans les ganglions cérébroïdes des Polychètes (DHAINAUT, COURTOIS et GOLDING, 1988) où une glande intracérébrale pourrait être un organe neurohémal. La nature chimique des hormones y reste peu connue et leur rôle physiologique demeure imprécis (voir M. PORCHET, 1989).

### MOLLUSQUES

Chez les Mollusques, il y a une très grande variété de types de cellules neurosécrétrices mais des cellules non nerveuses, souvent groupées en glandes endocrines ont aussi la capacité de synthétiser des hormones. Une comparaison du contrôle de la reproduction chez un Prosobranch (*Crepidula*), un Pulmoné d'eau douce (*Lymnaea*), un Pulmoné terrestre (*Helix aspersa*) peut donner une idée de ce que peut être l'évolution du système hormonal chez les Gastropodes, par exemple (M. GERSCH, 1984) (Fig. 4). Chez *Crepidula*, l'activité de la gonade dépend directement d'une neurohormone produite par les ganglions cérébraux (contrôle du premier ordre). Il en est de même pour l'activité du testicule de Limnée, alors que la maturation des ovocytes est stimulée par une hormone des corps dorsaux, eux-mêmes contrôlés par des neurohormones des cellules des corps latéraux (contrôle de deuxième ordre). Il en est de même pour l'activité reproductrice, tant mâle que femelle, chez l'Escargot où, en outre, la gonade femelle a, elle aussi, une fonction endocrine (contrôle de troisième ordre). Il n'y a pas d'organes neurohémiaux spécialisés, chez les Mollusques.

### ARTHROPODES

Chez les Arthropodes, les régulations des fonctions telles que le métabolisme de l'eau, l'excrétion, les changements de coloration, l'activité cardiaque sont du type contrôle neuroendocrine de premier ordre, alors que les processus de morphogénèse et du développement sont plutôt du type contrôle neuroendocrine de deuxième ordre, c'est-à-dire avec intervention d'un système neurohormonal puis de glandes endocrines spécifiques (Fig. 4). En outre, sont présents des organes neurohémiaux spécialisés et nombreux, ce qui compense la déficience vasculaire (absence d'un système circulatoire clos, faible vitesse de distribution de l'hémolymphe) par rapport aux Vertébrés. Les formes primitives de ces organes sont, chez les Insectes, les organes péricardiques de la chaîne ventrale et des aires de terminaisons des axones dans le cerveau, mais se différencient aussi des aires spécialisées : la glande du sinus des Crustacés, les corpora cardiaca des Insectes.

### DEUTEROSTOMIENS

On remarquera alors que, dans les lignées protostomiennes et deutérostomiennes, les systèmes neurosécréteurs s'organisent parallèlement, de façon analogue, c'est-à-dire avec un groupement des corps cellulaires de neurones sécréteurs (organe X des Crustacés, pars intercerebralis des Insectes, noyaux hypothalamiques des Vertébrés) et un

assemblage des extrémités axonales dans des organes neurohémaux qui sont des centres de stockage et de libération des hormones, en relation avec le système circulatoire (glande du sinus des Crustacés, corpora cardiaca des Insectes, post-hypophyse et urophyse des Poissons, post-hypophyse des Vertébrés supérieurs). On notera aussi que, chez les Echinodermes, classiquement situés, vers la base des Deutérostomiens et considérés comme phylogénétiquement proches des Cordés, la maturation des ovocytes et la libération des gamètes restent dans un système de contrôle direct, du type annélien : une neurohormone du système nerveux (= substance gonado stimulante) agit sur les cellules folliculaires qui sécrètent une 1-méthyladénine induisant la maturation de l'ovocyte et le comportement reproducteur.

## II. LES HORMONES STÉROIDIENNES

Enfin, il faut souligner qu'en plus des synthèses d'hormones de nature peptidique ou protéique, il apparaît, à partir des Mollusques chez les Prostomiens, des Procordés chez les Deutérostomiens, une synthèse d'hormones de nature stéroïdienne (ecdystéroïdes et juvénoïdes des Arthropodes, corticostéroïdes et œstrogènes des Vertébrés) puis diphénylyque (hormones thyroïdiennes des Vertébrés).

On trouve des ecdystéroïdes dans presque tous les phylums d'Invertébrés : Cœlentérés, Helminthes, Annélides, Mollusques, Arthropodes, mais comme ils sont aussi présents chez beaucoup de Végétaux (R. LAFONT et D.-H.-S. HORN, 1989), la démonstration de leur origine (exogène ou endogène) est à faire. Or, la capacité à synthétiser à partir du cholestérol (dans des glandes paires situées à l'arrière de la tête ou dans le prothorax) de l'ecdysone convertie dans les tissus périphériques en 20-hydroxyecdysone (hormone active) n'a été bien établie que pour les Insectes (voir J.-A. HOFFMANN et M. CHARLET, 1985).

Les Crustacés, en plus de l'ecdysone sécrétée par les organes Y céphalothoraciques et hydroxylée dans divers tissus périphériques en 20-hydroxyecdysone, contiennent aussi dans leur hémolymphe de la 25-déoxy 20-hydroxyecdysone ou ponastéron A qui serait produite par les organes Y (LACHAISE et al., 1986). Quelques Insectes et Crustacés ont un C-28 ecdystéroïde (ou makistéron A) (voir FELDLAUFER et SVOBODA, 1986) et leurs glandes de mue secréteraient la 20-déoxymakistéron A (REDFERN, 1984).

Parmi les ecdystéroïdes identifiés chez le Pantopode *Pyonogonum litorale*, le plus abondant est le 6, 20-hydroxyecdysone 22 acétate (D. BÜCKMANN et al., 1986). Les ecdystéroïdes y seraient d'origine endogène mais la nature des tissus producteurs reste inconnue.

Les Hirudinées ne pourraient pas synthétiser d'ecdysone à partir de 2-déoxyecdysone ou de 2-22-didéoxyecdysone (M. GARCIA et al.,

1989) et, chez les Annélides, aucune preuve n'a été donnée d'un rôle de messagers hormonaux pour des ecdystéroïdes effectivement présents dans le sang, la musculature ou le tégument.

De même, aucune fonction n'est connue pour les ecdystéroïdes des Nématodes, des Trématodes, des Cestodes et aucune donnée n'est fournie sur la présence d'ecdystéroïdes chez d'autres Mollusques que les Gastéropodes qui sont capables de réaliser la 20-hydroxylation de l'ecdysone (M. GARCIA et al., 1986).

On peut enfin penser que les ecdystéroïdes (20-hydroxyecdysone, ajugastéron C (A. GUERRIERO, F. PIETRA, 1985) de l'Hexacoralliaire *Gerardia savaglia* et de la Méduse d'eau douce *Craspedacusta sowerbyi* sont d'origine alimentaire.

Rappelons que, chez les Urocordés, la fixation des iodes et la biosynthèse des hormones iodées sont réalisées essentiellement dans la tunique, que chez les Céphalocordés, la concentration de l'iode et la synthèse d'une substance semblable à la thyroglobuline s'effectue au niveau de l'endostyle, que chez les adultes de Cyclostomes et de Poissons, les follicules thyroïdiens sont dispersés dans le conjonctif proche de l'aorte ventrale et que la thyroïde des Vertébrés dérive d'une invagination de l'endoderme pharyngien.

## III. DES HORMONES (Peptidiques et Protéiques) DES VERTEBRES NE REPRESENTENT QU'UNE SUITE D'UN PROCESSUS D'EVOLUTION DES HORMONES D'INVERTEBRES

Le fait que les hormones des Vertébrés ne sont qu'une suite du développement d'un système hormonal d'Invertébrés est attesté par des observations de types divers :

### A. ANALOGIES DE COLORATION

Des analogies de coloration, dues à des analogies de groupements chimiques, sont décelables entre cellules sécrétrives d'Invertébrés et de Vertébrés, par exemple, entre les cellules des noyaux magnocellulaires de l'hypothalamus et des cellules de la pars intercerebralis du Criquet élaborant la neuroparsine A (partiellement transformée en neuroparsine B au niveau des extrémités axoniques dans les corpora cardiaca), ayant une fonction antidiurétique comme la vasopressine des Mammifères (B. FOURNIER et J. GIRARDIE, 1988), augmentant la glycémie comme le glucagon des Vertébrés (R. MOREAU et al., 1988), et ayant un effet anti-juvénile (J. GIRARDIE et al., 1987) en inhibant le système allate qui maintient les caractères larvaires par production d'une hormone juvénile. Pour autant, les cellules neurosécrétrices présentant des similitudes tinctoriales ne sécrètent pas nécessairement des substances semblables. Ainsi, chez le Criquet, parmi toutes les cellules colorées par la fuschine paraldéhyde, deux péricaryons seulement synthétisent une substance de type vasopressine-neurophysine.

Des produits de neurosécrétion de cellules d'Invertébrés et de Vertébrés de même affinité de coloration peuvent présenter aussi des analogies de réactions immunologiques (voir, par exemple, REMY, 1984), témoignages de la présence de déterminants antigéniques communs.

### B. ANALOGIES DE REPONSES IMMUNOHISTOCHIMIQUES

De très nombreuses analogies de réponses immunohistochimiques ont été mises en évidence pour des sécrétions d'organismes fort différents, ce qu'ont confirmé les isolements et analogies en RIA (radioimmessai).

a) On a pu détecter, par des anticorps d'hormones de Vertébrés, chez les Protistes (MARUO et al., 1979 ; LE ROITH et al., 1984 ; BERELOWITZ et al., 1982) :

- une réaction anti-choriogonadotropine,
- une réaction anti-insuline (Sporozoaires, Ciliés),
- une réaction anti-ACTH (Ciliés),
- une réaction anti-endorphine (Ciliés),
- une réaction anti-somatostatine (Ciliés),

Chez les Cœlentérés (C.-J.-P. GRIMMELIKHUYZEN, 1983), des réactions anti-bombésine, anti-gastrine, anti-ccK, anti-neuropeptide Y, anti-neurotensine, anti-ocytocine, anti-substance P, anti-vasopressine.

Chez les Plathelminthes et les Nématodes (GUSTAFSSON et al., 1986), des réactions anti-ACTH, anti-gastrine, anti-GnRH, anti-neurophysine, anti-ocytocine, anti-polypeptide pancréatique, anti-somatostatine, anti-urotensine, anti-vasotocine.

Chez les Annélides (M. PORCHET et N. DHAUNAUT-COURTOIS, 1988), des réactions anti-ACTH, anti-neurophysine, anti-ocytocine, anti-vasopressine, anti-ccK, anti-CRF (= anticorticolibérine), anti-encéphalines, anti-endorphines, anti-dinorphine, anti-gastrine, anti-GhRH, anti-MSH (melanotropine), anti-somatostatine, anti-insuline, anti-LHRH, anti-neurotensine, anti-neuropeptide Y, anti-angiotensine, anti-motiline.

Chez les Mollusques (C.-J.-P. GRIMMELIKHUYZEN et al., 1987), des réactions anti-ACTH, anti-bombésine, anti-calcitonine, anti-encéphaline, anti-gastrine, anti-insuline, anti-MSH, anti-ocytocine, anti-peptide pancréatique, anti-sécrétine, anti-somatostatine, anti-vasopressine, anti-substance P, anti-vasotocine, anti-VIP, anti-ccK, anti-CRF, anti-prolactine, anti-urotensine 1.

Chez les Crustacés (R. KELLER et al., 1985) et les Insectes (C. REMY, 1984 ; M. TAMARELLE et al., 1988 ; C.-J.-P. GRIMMELIKHUYZEN et al., 1987 ; C. REMY et J. VIELLEMARINTE, 1988), de même, il y a des réactions croisées avec les anticorps de somatostatine, vasopressine, neurophysine, MSH, ocytocine, encéphaline, substance P, gastrine/ccK, calcitonine.

Enfin, dans la lignée des Deutérostomiens, chez les Urocordés des anticorps d'hormones de Vertébrés donnent des réactions anti-

ACTH, anti-LHRH, anti-insuline, anti-bombésine, anti-calcitonine, anti-endorphine, anti-polypeptide pancréatique, anti-substance P, anti-VIP, anti-gastrine/ccK, anti-MSH, anti-prolactine, anti-somatostatine, anti-STH (hormon thyroïdienne), anti-LH, anti-GnRH.

b) Inversement, des anticorps d'hormones d'invertébrés (C. REMY, 1984) donnent des réactions positives avec des produits de sécrétion de Vertébrés. Il en est ainsi, a) pour un facteur céphalique de croissance de l'Hydre (mitogène, responsable de la différenciation céphalique), qu'on retrouve dans le cerveau et l'intestin de Rat et dans l'hypothalamus et l'intestin de l'Homme (Fig. 6), b) pour le tétrapeptide cardio-accélérateur FMRF de *Venus* (Fig. 7) donnant une réaction immunologique positive dans le cerveau de Poisson (*Poecilia latipinna*) et de Souris, c) pour l'hormone adipocinétique AKH des corpora cardiaca du Criquet, qui libère les diglycérides circulants du tissu adipeux et favorise leur utilisation par oxydation des acides gras, retrouvée dans l'hypothalamus, l'éminence médiane, la moëlle épinière du Rat, d) pour la proctoline du système nerveux de la Blatte (exerçant son action sur les muscles du proctodeum) retrouvée immunologiquement dans le cerveau de Souris.

Notons que les réactions immunocytochimiques confirment la localisation possible de plusieurs peptides différents dans une même cellule. Ainsi, encéphalines et dynorphines coexistent avec la vasopressine dans la neurohypophyse du Rat, de même que coexistent l'ocytocine avec la cholécystokinine et la corticolibérine avec les encéphalines chez les Vertébrés, ou, semblablement, des substances de type bombésine et ocytocine chez l'Hydre, corticolibérine et somatolibérine chez les Annélides, gastrine et polypeptide pancréatique ou gastrine et mét-encéphaline chez les Insectes.

### C. SIMILITUDE DES PROCESSUS MÉTABOLIQUES

Il y a une grande similitude dans les processus de biosynthèse, de transfert axonal, de maturation, de libération des produits de neurosécrétion, entre Invertébrés et Vertébrés (Fig. 8). Le relargage dépend d'une activité électrique du système nerveux et il est induit par une dépolarisation électrique ou chimique. En outre, les peptides en se liant à des récepteurs spécifiques déclenchent l'activité d'un second messager.

La production d'une hormone particulière dans des tissus différents peut dépendre a) de la transcription d'un seul gène avec possibilité de variations translationnelles aboutissant à des produits différents,

+ soit par épissage alternatif (ex. : gène du CGRP et de la calcitonine (Fig. 9) : la maturation de l'ARN transcrit primaire produit par épissage, soit l'ARNm d'une prohormone dont la maturation donnera la calcitonine (de

33 a.a.) dans les cellules thyroïdiennes, soit l'ARNm d'une prohormone dont l'expression sera le peptide (37 a.a.) lié au gène calcitonine (CGRP) dans les cellules nerveuses et hypothysaires (M.-G. ROSENFELD et al., 1985). Le gène, tant chez l'Homme que chez le Rat, a 6 exons. Les trois premiers sont communs aux deux types d'ARNm, le quatrième code pour la calcitonine, un peptide carboxy-terminal de 21 acides aminés, et une partie non traduite 3' de l'ARNm de la calcitonine ; le cinquième exon code pour le CGRP et un tétrapeptide C terminal ; le sixième exon code pour une partie 3' non traduite de l'ARNm du CGRP (MARSHALL J. et al., 1986). La calcitonine est antagoniste de la parathormone, en réduisant le nombre et l'activité des ostéoclastes. Le CGRP serait un neurotransmetteur ou un neuromodulateur,

+ soit par clivages différents post-translationnels et spécifique d'un tissu, d'un même précurseur polypeptidique (ex. : la pro-opiomélanocortine (Fig. 8) est un précurseur commun de l'ACTH (hormone corticotrope hypothysaire), des  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\gamma$  MSH (hormones stimulant les mélanocytes), des endorphines (B.-G. JENKS et al., 1986).

Dans l'hypothèse antérieure, les produits prédominants du POMC sont ACTH et  $\beta$ -endorphine ; dans la pars intermedia,  $\alpha$  MSH, peptides de type corticotrophine (CLIP) et des formes acétylées, biologiquement inactives d'endorphine.

+ Les deux processus peuvent s'additionner. Par exemple, les tachynines (peptides ayant en commun la séquence C terminale Phe-X-Gly-Leu-Met-NH<sub>2</sub>, telles que substance P et neurokinine A) sont synthétisées à partir de 2 précurseurs polypeptidiques :  $\alpha$  et  $\beta$  préprotachynines qui dérivent de l'épissage alternatif d'ARN transcript primaire d'un seul gène (A.-J. HARMAR et al., 1986).

S'il y a plusieurs copies du gène codant pour une préprohormone, telle copie plutôt que telle autre peut être utilisée dans tel type de cellule.

Les mêmes gènes seraient exprimés dans les cellules nerveuses et dans les cellules du tube digestif. Pour préciser les rôles qu'ils jouent respectivement, on peut disposer de modèles expérimentaux tels la Souris hypogonadique (hpg) déficiente en production de LHRH (= GnRH) dans les cellules nerveuses (et il n'y aurait qu'un seul gène LHRH).

### D. HOMOLOGIES DE SÉQUENCES

La composition chimique des hormones confirme leurs parentés, même quand elles sont présentes dans des organismes éloignés phylogénétiquement. Des homologues de séquences entre hormones d'invertébrés et hormones de Vertébrés sont de même ordre que celles observées entre hormones de même groupes chez les Vertébrés, ce qui suggère que, pour certaines d'entre elles, il s'agit de molécules qui seraient issues d'un gène ancestral commun.

#### a) Entre hormones de groupes phylogénétiquement proches.

On constate d'abord des homologues entre hormones dans un même groupe ou entre groupes voisins. Par exemple, les calcitonines (Fig. 10) de Saumon, de Mouton, de Bœuf, de Porc, d'Homme ont toutes 32 a.a. et les homologues représentent 30 % de la molécule (in J.-M. GIRARDIE, 1987). Des observations de même ordre ressortent d'une comparaison des GHRH d'Homme, de Rat, de Porc, de Bœuf (Fig. 12). Les gonadolibérines de Poissons, d'Oiseaux, de Mammifères sont toutes des décapeptides ne différant entre elles que par un ou deux acides aminés en position 7 et 8 (Fig. 11). Il y a des homologues de séquences entre l'urotensine 1 des Poissons, la sauvagine des Batraciens, le CRF de Mouton (Fig. 13). Les facteurs myotropes (Fig. 14) dénommés ocytocine chez l'Homme, mésoctocine chez les Oiseaux, Reptiles, Amphibiens, isotocine chez les Téléostéens, glumitocine chez les Raies, valitocine chez certains Requins, aspergtocine chez d'autres, sont tous formés de neuf acides aminés dont seuls ceux en position 4 et 8 varient d'un groupe à l'autre (78 ou 88 % d'homologies) (R. ACHER, 1985).

De même, chez les Invertébrés, il y a 60 % d'homologies entre l'AKH I des Insectes (10 a.a.) et l'hormone de concentration des pigments tégumentaires de Crustacés : RPCH de 8 a.a. (Fig. 15).

#### b) Entre hormones de groupes phylogénétiquement éloignés.

Des comparaisons entre hormones de Vertébrés et hormones d'invertébrés permettent parfois des constatations d'homologies de même ordre. Ainsi, l'hormone diurétique du Criquet (AVP like DH) produite par le ganglion sous-œsophagien est un homodimère de 2 x 9 a.a., dont le monomère ne diffère de la vasotocine, hormone antidiurétique des Vertébrés non mammaliens, que par 2 a.a. en position de 2 et 4.

On retrouve (Fig. 7) la totalité des 4 a.a. du tétrapeptide cardioaccélérateur des Mollusques (FMRF) dans la Met-encéphaline Arg 6-Phe 7 du système nerveux central et de la médullosurrénale des Mammifères : Tyr-Gly-Gly-Phe-Met-Arg-Phe-OH. Le facteur myotrope et hyperglycémant (M2 ou périplanétine 2) des corps cardiaques des Insectes à 8 a.a. dont 4 sont en commun avec la séquence Glu 3-Tyr 10 du glucagon (Fig. 16).

L'hormone prothoracotrope (PTTH) des Insectes qui stimule la sécrétion de l'ecdysone, existe sous 2 formes (une petite de 4 kd, une grosse de 22 KD). La petite forme a 2 chaînes (A, B) qui ont des acides aminés en commun avec l'insuline humaine (Fig. 17), et la chaîne A a aussi des acides aminés en commun avec l'IGF-I (Fig. 17). L'hormone MRCH de Bombyx a des homologues avec l'IGF II humain (Fig. 17).

Le facteur activateur de la tête de l'Hydre est totalement conservé chez les Mammifères



régulent l'expression génétique de cellules-cibles. Ils se lient à des récepteurs de la membrane ayant souvent une activité tyrosine-kinase (tel IGF I). Cette liaison induit un second messager intracellulaire (phosphoprotéines, inositol-phosphates-diacylglycérol, nucléotides-cycliques, ions mono- ou divalents) qui transmet le signal au noyau. Or, des facteurs de croissance peuvent être actifs sur les cellules mêmes qui les produisent (mécanisme autocrine).

Des facteurs mitogènes interviennent au cours de la morphogénèse et de la différenciation (M. MERCOLA et Ch.-D. STILER). EGF (dont le gène a des homologies avec les locus homéotiques *lin-12* de *Coenorhabditis* et *notch* de la *Drosophile*), pourrait stimuler la prolifération des cellules souches, puis la différenciation de l'expression de phénotypes différenciés dans les cellules matures, en permettant des interactions entre cellules par reconnaissance de récepteurs complémentaires.

### CONCLUSIONS

La réalisation d'un système de glandes endocrines productrices d'hormones spécifiques libérées dans l'hémolymphe ou le flux sanguin pour contrôler à distance une fonction physiologique de cellules-cibles (ce qui correspond à la conception classique d'hormones messagers chimique) ne nous apparaît donc plus que comme une spécialisation, au cours de l'évolution, d'un processus permanent fondamental de communication ou d'information, de type signal-récepteur, qui s'est semblablement développé dans les lignées diploblastiques et triploblastiques de Méta-

zoaires, c'est-à-dire dans 2 groupes de lignées, au moins, d'origines différentes, et qui est donc enraciné chez les organismes unicellulaires. Facteurs mitogènes, facteurs de croissance, neurohormones, hormones, phéromones pourraient n'être que des étapes d'un même processus évolutif qui se développe au cours de la réalisation de l'état pluri-cellulaire et de l'ascension des lignées de Métazoaires. Dans le système de messagers chimiques impliqués, les amines seraient les molécules les plus anciennes fonctionnellement et du fait qu'elles ne représentent qu'un nombre restreint de molécules, leur utilisation va de pair avec un type d'innervation très précis des neurones à atteindre. L'utilisation de peptides ou de protéines, d'une part, de stéroïdes dérivés du cholestérol, d'autre part, pourraient représenter deux voies d'évolution distinctes, parallèles, et peut-être complémentaires. On remarquera, en effet, que la première voie conduit généralement à l'activation d'un second messager contrôlant divers processus métaboliques alors que la deuxième voie aboutit à une régulation de l'expression génétique.

Enfin, on notera que les mêmes substances chimiques qui règlent les réponses métaboliques, agissant dans le sang sous forme d'hormones, règlent aussi les réponses comportementales correspondantes, agissant alors dans le cerveau comme neurohormone. Ainsi, la LH-RH (ou lülbérine) qui règle, par l'intermédiaire de l'hypophyse, la maturation des cellules sexuelles contrôle aussi le comportement reproducteur. L'angiotensine 2 qui, par voie sanguine, provoque la contraction des vaisseaux, par voie nerveuse, com-

mande la libération d'hormone antidiurétique, déclenche dans le cerveau le comportement de boisson. L'insuline, la gastrine du tube digestif participent, dans le cerveau, aux mécanismes du comportement alimentaire (J.-D. VINCENT et G. SIMONNET, 1986).

### Signification des abréviations d'acides aminés

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| Ala (= A) : | alanine                |
| Arg (= R) : | arginine               |
| Asn (= N) : | asparagine             |
| Asp (= D) : | aspartate              |
| Asx (= B) : | asparagine / aspartate |
| Cys (= C) : | cystéine               |
| Gln (= Q) : | glutamine              |
| Glu (= E) : | glutamate              |
| Glx (= Z) : | glutamine / glutamate  |
| Gly (= G) : | glycine                |
| His (= H) : | histidine              |
| Ile (= I) : | isoleucine             |
| Leu (= L) : | leucine                |
| Lys (= K) : | lysine                 |
| Met (= M) : | méthionine             |
| Phe (= F) : | phénylalanine          |
| Pro (= P) : | proline                |
| Ser (= S) : | sérine                 |
| Thr (= T) : | thréonine              |
| Trp (= W) : | tryptophane            |
| Tyr (= Y) : | tyrosine               |
| Val (= V) : | valine                 |

### LÉGENDE DES FIGURES

Fig. 1 - Schéma d'une complexification croissante des systèmes signaux-récepteurs chez les Unicellulaires.

Fig. 2 - Schéma des modalités de l'information chimique chez les Métazoaires.

Fig. 3 - Schéma des processus de synthèse probable de l'hormone d'ovulation CDCH de *Lymnaea* et indication des homologies (44 %) entre CDCH et ELH (= hormones de dépôt des œufs de *Lymnaea* (d'après J. JOOSE et al., 1985).

Fig. 4 - Schéma de l'évolution des systèmes d'information chimique chez les Annélides, les Mollusques, les Arthropodes (explication dans le texte).

Fig. 5 - Schéma d'une phylogénie possible des Métazoaires, d'après des homologies de séquence des ARN.

Fig. 6 - Facteur activateur Hyde-Mammifère pGlu-Pro-Pro-Gly-Ser-Lys-Val-Thr-Leu-Phe-OH.

Fig. 7 - Homologies de séquences d'encéphalines de Mollusques.

Fig. 8 - Schéma des processus de synthèse des produits terminaux issus du clivage protéolytique de la proopiomélanocortine (POMC). Prédomine comme peptides terminaux l'ACTH (hormone adrénocorticotrope) et la B-endorphine (BEP) dans l'hypophyse antérieure, l' $\alpha$ -MSH (hormone de stimulation des mélanocytes) et les CLIP (peptides de type corticotrophine dans le lobe intermédiaire de l'hypophyse. Ac = acétylation N-terminale; B-LPH = hormone lipotropique. Les nombres entre parenthèses indiquent les nombres d'acides aminés. (Modifié de B.G. JENKS et al., 1986).

Fig. 9 - Transcription et traduction du gène humain de Calcitonine/CGRP localisé sur le bras court du chromosome 11. Les 3 premiers exons sont communs à l'ARNm de la calcitonine produit dans les cellules du système nerveux central et périphérique. Le précurseur de la calcitonine (= préprocalcitonine) de 141 acides aminés est découpé en une partie N termi-

nale de 84 aa dont les 25 premiers correspondent au peptide signal, en calcitonine de 32 aa et en une partie peptidique C terminale de 21 aa (ou catacalcine). Le précurseur du CGRP est découpé en une partie N terminale de 80 aa, le CGRP de 37 aa et le peptide C terminal de 4 aa.

Fig. 10 - Homologies des séquences de la calcitonine chez des Vertébrés. La calcitonine est produite chez les Poissons Amphibiens, Reptiles et Oiseaux par les corps ultimobranchiaux qui demeurent chez les Mammifères étroitement associés à la thyroïde (cellules C). Le dernier acide aminé est le prolaminamide.

Fig. 11 - Homologies de séquences entre les hormones hypothalamiques, LHRH de Poisson, d'Oiseau, de Mammifère (d'après N.M. SHERWOOD, 1986) et avec le facteur de conjugaison (Phéromone) de la Levure (*Saccharomyces cerevisiae*).

Fig. 12 - Homologies de séquences du GRF de l'Homme, du Rat, du Porc, du Bœuf. Le GRF (growth hormone releasing factor) ou GHRH ou somatocristine est un facteur hypothalamique de 44 aa chez l'Homme (43 aa chez le Rat) activant la sécrétion de l'hormone de croissance (GH, de 191 aa) par les cellules somatotropes de l'antéhypophyse. La GH induit à son tour la synthèse et la libération de facteurs de croissance des cartilages de conjugaison, l'entrée des acides aminés et du glucose dans le myocyte et l'adipocyte. L'effet du GRF est inhibé par un autre facteur hypothalamique.

Fig. 13 - Homologies de séquences entre l'urotensine 1(41 aa) produite par l'urophise (complexe neurosécréteur + organe neurohémal) de la partie postérieure de la moëlle épinière de Carpe, la sauvagine (40 aa) isolée de la peau du Crapaud sud-américain *Phyllomedusa sauvagei* et le facteur hypothalamique CRF de Mouton (41 aa) stimulant la corticotropine. L'urotensine 1 stimule la libération d'ACTH chez les Poissons et chez le Rat. L'urotensine 1, la sauvagine et le CRF pourraient dériver d'une molécule ancestrale commune. Homologie de

séquences entre l'urotensine II du Gobie (12 aa) et la somatostatine de Mammifères (Mouton, 14 aa) (d'après T. ICHIKAWA).

Fig. 14 - Evolution hypothétique des peptides de Vertébrés de type ocytocine et vasopressine, à partir d'un type moléculaire ancestral. La valitocine et l'aspartocine sont présents chez les Poissons cartilagineux, la glutitocine chez les Raies, l'isotocine chez les Poissons osseux. La mésotocine est trouvée chez les Poissons à poumons, les Amphibiens, Reptiles, Oiseaux et les Marsupiaux australiens, l'ocytocine chez les Monotrèmes, les Marsupiaux américains et les Euthériens (modifié de R. ACHER, 1985; D.W. LINCOLN et J.A. RUSSELL, 1986).

Fig. 15 - Homologies de séquences entre l'hormone de concentration des pigments (RPCH) des Crustacés et l'hormone adipocinétique I de *Locusta*. Comparaison des séquences d'hormones adipocinétiques d'Insectes.

Fig. 16 - Homologies de séquences entre a) peptides hyperglycémants 1 et 2 de *Periplaneta* et l'hormone adipocinétique AK1 de *Locusta*, b) entre glucagon (portion 1-12 aa) et sécrétine (portion 1-12 aa) c) entre périplanetine 2, glucagon et sécrétine. Homologies de séquences entre a) gastrine II (partie terminale 7-17 aa) et cholecystokinine (partie terminale 9-17 aa) de Mammifères et b) leucosulfakinine 1 d'Insectes et gastrine II de Mammifères.

Fig. 17 - Homologies de séquences entre la chaîne A et la chaîne B de l'hormone prothoracotrope 4KD-PTTH de Bombyx, les chaînes A et B de l'insuline humaine et l'IGF-I (facteur de croissance de type insuline) dans sa partie 42-60 acides aminés.

Fig. 18 - Homologies de séquences entre le facteur 2 de type insulinoïque humain et l'hormone de coloration (= MRCH) de Bombyx.

Figure 1

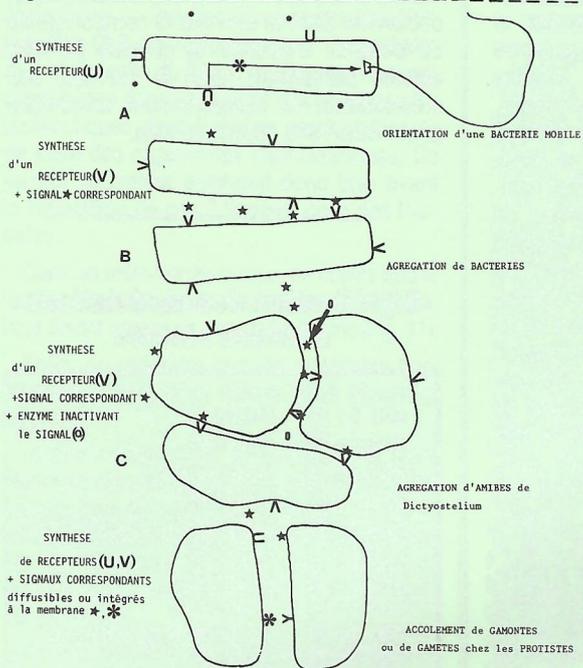


Figure 2

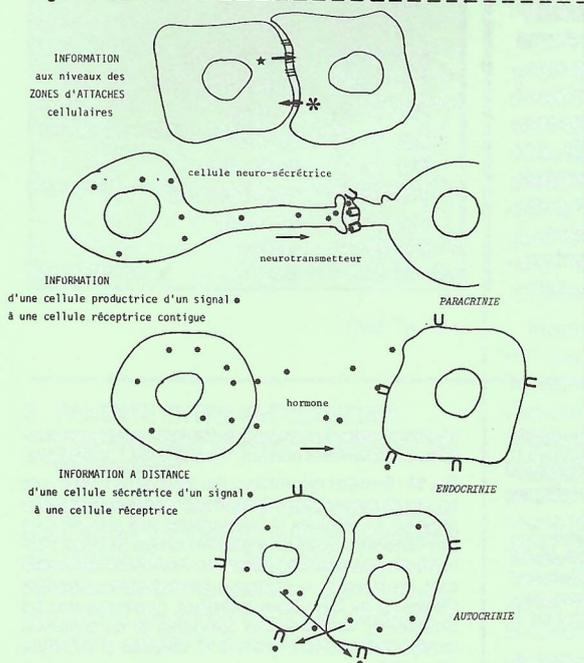


Figure 3

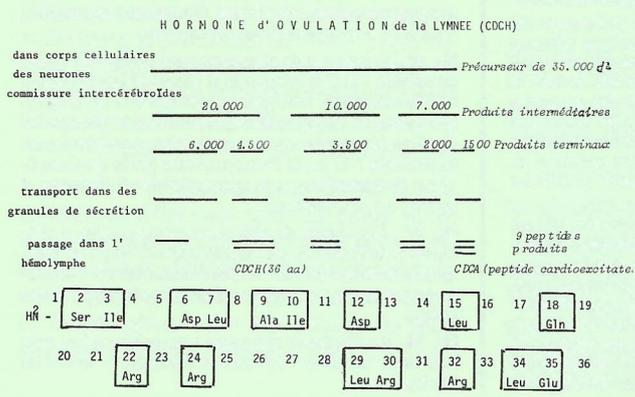


Figure 4

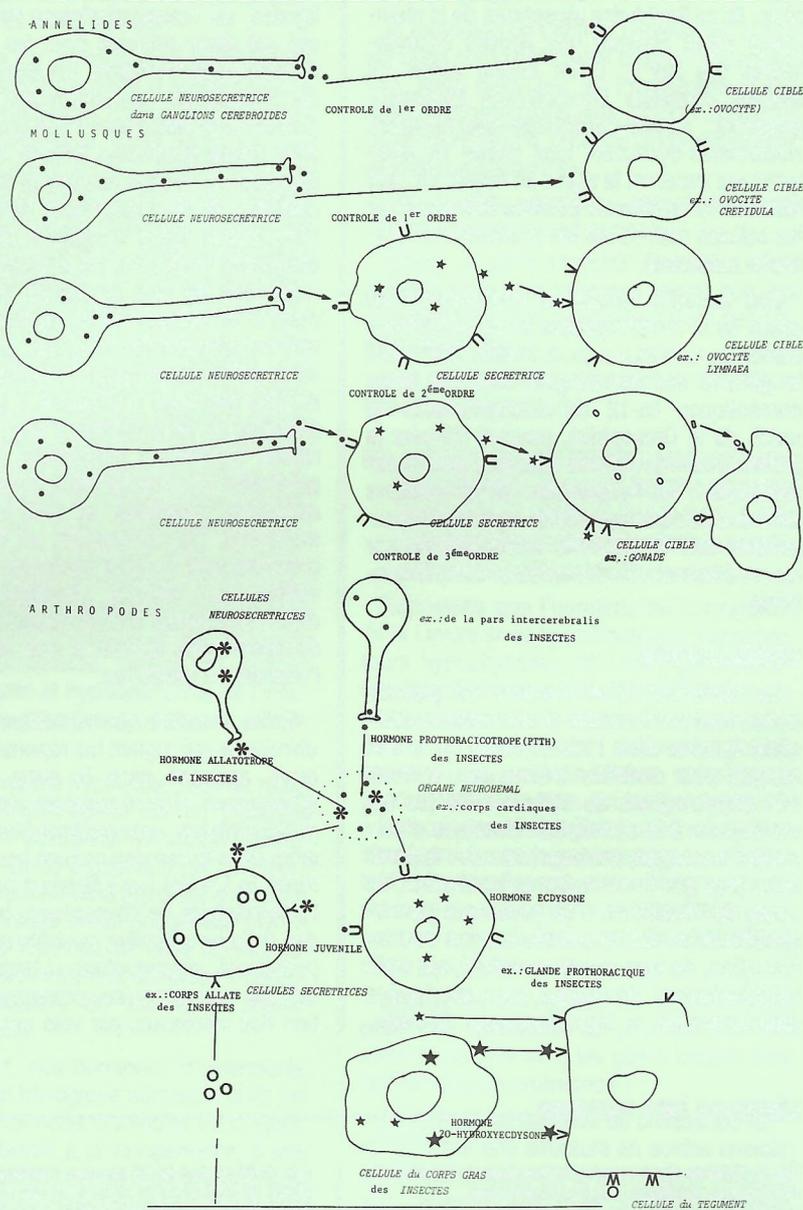


Figure 5

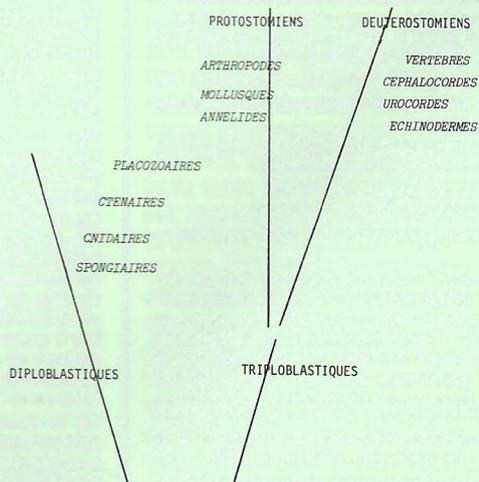


Figure 6

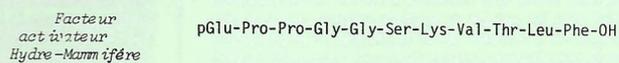


Figure 7

EN CEPHALINES de MOLLUSQUES

|   |   |
|---|---|
| Met-encéphaline<br>dans <i>S.N. Mytilus</i> | Tyr-Gly-Gly-Phe-Met   |
| Leu-encéphaline<br>dans <i>S.N. Mytilus</i> | Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu   |
| Heptapeptide<br>dans <i>S.N. Mytilus</i>    | Tyr-Gly-Gly-Phe-Met-Arg-Phe                                     |
| Heptapeptidamide<br>dans <i>Octopus</i>     | Tyr-Gly-Gly-Phe-Met-Arg-Phe<br>↓ FMRF, Amide<br>Met-encéphaline |

Figure 8

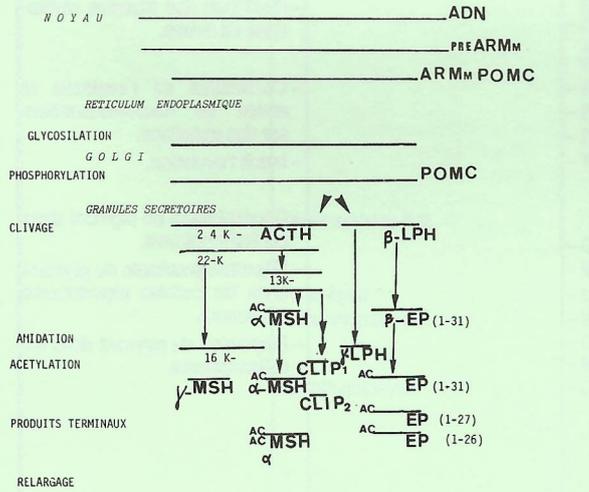


Figure 13

|                            |   |
|----------------------------|---|
| UROTENSINE I<br>CAREE      | H-Asn-Asp-Asp-Pro-Pro-Ile-Ser-Ile-Asp-Leu-Thr-Phe-His-Leu-Leu-Arg |
| SAUVAGINE<br>AMPHIBIEN     | pGlu-Gly-Pro-Pro-Ile-Ser-Ile-Asp-Leu-Ser-Leu-Glu-Leu-Leu-Arg      |
| CRF Mouton                 | H-Ser-Gln-Glu-Pro-Pro-Ile-Ser-Leu-Asp-Leu-Thr-Phe-His-Leu-Leu-Arg |
| UROTENSINE I<br>CAREE      | Asn-Met-Ile-Glu-Met-Ala-Arg-Asn-Glu-Asn-Gln-Arg-Glu-Gln-Ala-Gly   |
| SAUVAGINE<br>AMPHIBIEN     | Lys-Met-Ile-Glu-Ile-Glu-Lys-Gln-Glu-Lys-Glu-Lys-Gln-Gln-Ala-Ala   |
| CRF Mouton                 | Glu-Val-Leu-Glu-Met-Thr-Lys-Ala-Asp-Gln-Leu-Ala-Gln-Gln-Ala-His   |
| UROTENSINE I<br>CAREE      | Leu-Asn-Arg-Lys-Tyr-Leu-Asp-Glu-Val-NH <sup>2</sup>               |
| SAUVAGINE<br>AMPHIBIEN     | Asn-Asn-Arg-Leu-Leu-Leu-Asp-Thr-Ile-NH <sup>2</sup>               |
| CRF Mouton                 | Ser-Asn-Arg-Lys-Leu-Leu-Asp-Ile-Ala-NH <sup>2</sup>               |
| UROTENSINE II<br>CAREE     | H-Ala-Gly-Thr-Ala-Asp-Cys-Phe-Trp-Lys-Tyr-Cys-Val-OH              |
| SOMATOSTATINE<br>Mammifère | H-Ala-Gly-Cys-Lys-Asn-Phe-Phe-Trp-Lys-Thr-Phe-Thr-Ser-Cys-OH      |

Figure 14

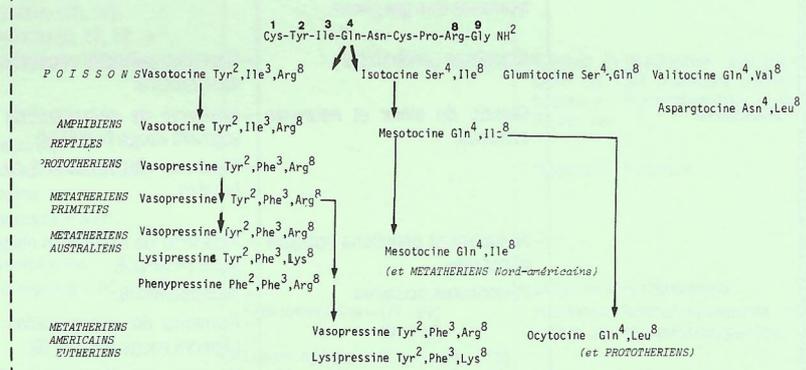


Figure 10

|    |                   |                   |                   |                   |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| H  | S                 | M                 | O                 | P                 |
| A  | A                 | A                 | O                 | O                 |
| M  | U                 | U                 | B                 | R                 |
| E  | O                 | O                 | E                 | R                 |
|    | N                 | N                 | F                 | C                 |
|    | N <sup>2</sup>    | N <sup>2</sup>    | N <sup>2</sup>    | N <sup>2</sup>    |
| 1  | Cys               | Cys               | Cys               | Cys               |
|    | Gly               | Ser               | Ser               | Ser               |
| 3  | Asn               | Asn               | Asn               | Asn               |
|    | Leu               | Leu               | Leu               | Leu               |
|    | Ser               | Ser               | Ser               | Ser               |
|    | Thr               | Thr               | Thr               | Thr               |
| 7  | Cys               | Cys               | Cys               | Cys               |
|    | Met               | Val               | Val               | Val               |
| 9  | Leu               | Leu               | Leu               | Leu               |
|    | Gly               | Gly               | Ser               | Ser               |
|    | Thr               | Lys               | Ala               | Ala               |
|    | Tyr               | Leu               | Tyr               | Tyr               |
|    | Thr               | Ser               | Trp               | Trp               |
|    | Gln               | Gln               | Lys               | Lys               |
|    | Asp               | Glu               | Asp               | Asn               |
|    | Phe               | Leu               | Leu               | Leu               |
|    | Asn               | His               | Asn               | Asn               |
|    | Lys               | Lys               | Asn               | Asn               |
|    | Phe               | Leu               | Tyr               | Phe               |
|    | His               | Gln               | His               | His               |
|    | Thr               | Thr               | Arg               | Arg               |
|    | Phe               | Tyr               | Tyr               | Phe               |
|    | Pro               | Pro               | Ser               | Ser               |
|    | Gln               | Arg               | Gly               | Gly               |
|    | Thr               | Thr               | Met               | Met               |
|    | Ala               | Asn               | Gly               | Gly               |
|    | Ile               | Ihr               | Phe               | Phe               |
| 28 | Gly               | Gly               | Gly               | Gly               |
|    | Val               | Ser               | Pro               | Pro               |
|    | Gly               | Gly               | Glu               | Glu               |
|    | Ala               | Thr               | Thr               | Thr               |
| 32 | Pro               | Pro               | Pro               | Pro               |
|    | CONH <sup>2</sup> | CONH <sup>2</sup> | CONH <sup>2</sup> | CONH <sup>2</sup> |

Figure 15

|                    |   |
|--------------------|---|
| RECH<br>CRUSTACES  | pGlu-Leu-Asn-Phe-Ser-Pro-Gly-Trp-CO-NH <sup>2</sup>         |
| AKH-I<br>CRIQUET   | pGlu-Leu-Asn-Phe-Thr-Pro-Asn-Trp-Gly-Thr-CO-NH <sup>2</sup> |
| AKH-ICrique t      | pGlu-Leu-Asn-Phe-Thr-Pro-Asn-Trp-Gly-Thr-NH <sup>2</sup>    |
| AKH-II Crique t    | Ser-Ala-Gly-Trp-NH <sup>2</sup>                             |
| Schistocera        | Ser-Thr-Gly-Trp-NH <sup>2</sup>                             |
| Gryllus            | Ser-Thr-Gly-Trp-NH <sup>2</sup>                             |
| Manduca, Heliothis | Thr-Ser-Ser-Trp-NH <sup>2</sup>                             |

Figure 16

|                              |  |
|------------------------------|--|
| AKH-1 Locusta                | pGlu-Leu-Asn-Phe-Thr-Pro-Asn-Trp-Gly-Thr-NH <sup>2</sup>     |
| HGH-1 Periplaneta            | pGlu-Val-Asn-Phe-Ser-Pro-Asn-Trp-NH <sup>2</sup>             |
| HGH-2 Periplaneta            | pGlu-Leu-Thr-Phe-Thr-Pro-Asn-Trp-NH <sup>2</sup>             |
| Glucagon 1-12                | His-Ser-Glu-Gly-Thr-Phe-Thr-Ser-Asp-Tyr-Ser-Lys              |
| Secretine 1-12               | His-Ser-Asp-Gly-Thr-Phe-Thr-Ser-Glu-Leu-Ser-Arg              |
| Leucooulfakinine I           | HGlu-Gln-Phe-Glu-Asp-Tyr-Gly-His-Met-Arg-Phe-NH <sup>2</sup> |
| gastrine II partie terminale | Glu-Glu-Glu-Glu-Ala-Tyr-Gly-Trp-Met-Asp-Phe-NH <sup>2</sup>  |
| cholécytokinine              | -Arg-Asp-Tyr-Met-Gly-Trp-Met-Asp-Phe-NH <sup>2</sup>         |

Figure 9

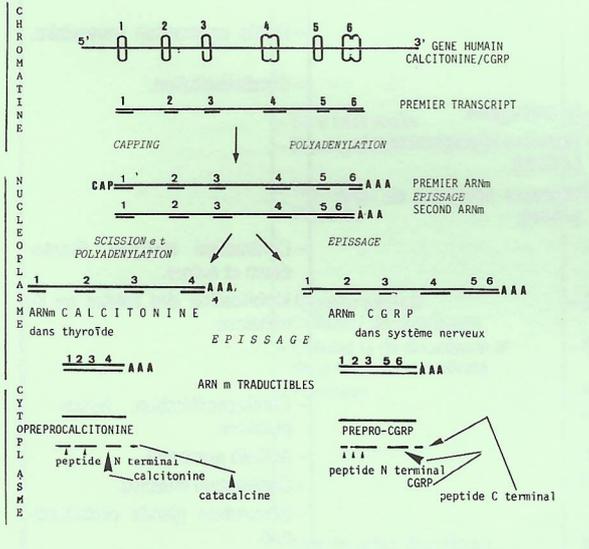


Figure 11

Trés courte et riche en acétylation de leucine

|                |  |
|----------------|--|
| LRRH Mammifère | NH <sup>2</sup> Trp-His-Trp-Leu-Gln-Leu-Lys-Pro-Gly-Gln-Pro-Met-Tyr- |
| LRRH Poule t 1 | pGlu-His-Trp-Ser-Tyr-Gly-Leu-Arg-Pro-Gly-CO-NH <sup>2</sup>          |
| LRRH Saumon    | pGlu-His-Trp-Ser-Tyr-Gly-Leu-Gln-Pro-Gly-CO-NH <sup>2</sup>          |
| LRRH Poule t 2 | pGlu-His-Trp-Ser-His-Gly-Leu-Tyr-Pro-Gly-CO-NH <sup>2</sup>          |

Figure 12

|       |   |
|-------|---|
| HOMME | 1 Tyr-Ala-Asp-Ala-Ile-Phe-Thr-Asn-Ser-Tyr-Arg-12 13 Lys-Val-Leu-Gly-Gln-Leu-Ser-Ala-Arg                                       |
| MAT   | His-Ser-Arg-Ile-Tyr   |
| PORC  | Tyr   |
| Boeuf | Tyr   |
|       | Lys-Leu-Leu-Gln-Asp-Ile-Met-Ser-Arg-Gln-Gln-Gly-Glu-Ser-Asn-Gln-Glu-34 40 Arg-Gly-Ala-His-Glu-Asn-Glu-Arg-Gln-Arg-Ser-Gln-Arg |
|       | Arg-Ala-Arg-Leu-NH <sup>2</sup>   |
|       | Phe-Asn-COH   |
|       | Val-  |
|       | Lys-Val-  |

Figure 17

|               |   |
|---------------|---|
| chaîne A      | 1 H-Gly-Ile-Val-6 Asp-Glu-Cys-Cys-Leu-Arg-Pro-Cys-Ser-Val-Asp-Val-Leu-Leu-Ser-Tyr-Cys   |
| chaîne A      | INSULINE  |
| IGF-I (42-60) | 1 H-Gly-Ile-Val-6 Asp-Glu-Cys-Cys-Phe-Arg-Ser-Cys-Asp-Leu-Arg-Arg-Leu-Glu-Met-Tyr   |
| chaîne B      | 1 pGlu-Gln-Pro-Gln-Ala-Val-His-Thr-Tyr-Cys-Gly-Arg-His-Leu-Ala-Arg-Thr-Leu-Ala-Asp-NH <sup>2</sup> -Phe-Val-Asn-Gln-His-Leu-Cys-Gly-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu-Tyr-Leu |
| chaîne B      | INSULINE  |
|               | Leu-Cys-Trp-Glu-Ala-Gly-Val-Asp-Co-OH   |
|               | Val-Cys-Gly-Glu-Arg-Gly-Phe-Phe-Tyr-Thr-Pro-Lys-Thr-Co-OH   |

Figure 18

|        |   |
|--------|---|
| MARCH  | 1 NH <sup>2</sup> -Pro-Leu-Ser-Glu-Asp-Met-Pro-Ala-Thr-Pro-Ala-Asp-Gln-Glu-Met-Tyr-16 |
| Bombyx | Leu-Leu-Glu-Thr-Tyr-Cys-Ala-Thr-Pro-Ala-Lys-Ser-Glu-CO-OH                             |
| IGF-II |   |
| Homme  |   |

## HORMONES PEPTIDIQUES OU PROTÉIQUES D'INVERTÉBRÉS

| ESPECES   | ORGANES   | PEPTIDES  | PROTEINES  | ACTION  |
|---|---|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Coelentérés</b></li> <li>• <b>Annélidés</b></li> <li>• <b>Mollusques</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hypostome</li> <li>- Cerveau</li> <li>- Ganglions nerveux</li> <li>- Système nerveux</li> <li>- Ganglion abdominal + quelques neurones des ganglions.</li> <li>- Ganglions cérébroïdes</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Activateur céphalique</li> <li>- Inhibiteur céphalique</li> <li>- Facteur de régénération</li> <li>- Néreidine</li> <li>- FMRF amide (4)</li> <li>- Faible peptide cardioactif (LMP)</li> <li>- Fort peptide cardioactif (HMP)</li> <li>- Hormone de ponté (ELH)</li> <li>- Hormone cellulaire caudodor-sale (CDCH).</li> </ul>  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excitation ou inhibition de muscles cardiaques ou autres.</li> <li>- Excitation des muscles cardiaques ou autres.</li> <li>- Contraction de l'ovotestis et action de neurotransmetteur sur des ganglions.</li> <li>- Induit l'ovulation.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Crustacés</b></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Glande du sinus et neurones centraux.</li> <li>- Neurones et ganglions optiques et cerveau.</li> <li>- Pédoncules oculaires.</li> <li>- Neurones de tous les ganglions centraux et connectifs inter-ganglionnaires.</li> <li>- Organe péricardique.</li> <li>- Glande androgène.</li> <li>- Pédoncules oculaires.</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormone de concentration du pigment rouge (= RPCH)</li> <li>- Hormone d'adaptation à la lumière.</li> <li>- Hormone de dispersion du pigment (= BPDH).</li> <li>- Androstimuline.</li> <li>- Hormone de concentration du pigment rouge (RPCH) (8).</li> <li>- Hormone neurodépressive (= NDH)</li> <li>- Hormone inhibitrice de la vitellogenèse (= VIH).</li> <li>- Proctoline (5).</li> <li>- Peptide cardioactif (= CCAP)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- H. androgène.</li> <li>- Hormone hyperglycémiant (= CHH).</li> <li>- Hormone inhibitrice de mue (= MIH).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentration du pigment dans les érythrophores.</li> <li>- Migration proximale du pigment dans les cellules pigmentaires rétinienne.</li> <li>- Dispersion du pigment dans les mélanophores.</li> <li>- Faible contraction musculaire.</li> <li>- Cardioexcitation.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Insectes</b></li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Neurones dans divers ganglions.</li> <li>- Neurones centraux et corps cardiaques.</li> <li>- Corps cardiaques.</li> <li>- Corps cardiaques.</li> <li>- Cerveau.</li> <li>- Ganglion sous-œsophagien.</li> <li>- Corps cardiaques.</li> <li>- Système Nerveux central.</li> <li>- Cerveau.</li> <li>- Cerveau et intestin.</li> <li>- Nerfs radiaux.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proctoline (5).</li> <li>- Hormone adipocinétique (9,10) (= AKH I).</li> <li>- Hormone adipocinétique. (= AKH II).</li> <li>- Peptides hyperglycémiques (= CC).</li> <li>- Leucosulfakinines (11).</li> <li>- Leucopyrokinine (8).</li> <li>- Hormone prothoracotrope : (A:20 B:28)</li> <li>- Hormone de diapause.</li> <li>- Hormone diurétique (= VP Like DH) (18).</li> <li>- Peptides myotropiques (= M1, M2).</li> <li>- Périplanétine.</li> <li>- Hormone gonadostimulante (= GSS)</li> <li>- Hormone inducteur de la maturation. (= MIS).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bursicon.</li> <li>- Hormone de développement des œufs (= EDNH).</li> <li>- Hormone d'éclosion (= EH) (62)</li> <li>- Hormone de coloration (= MRCH)</li> <li>- Neuparsines A, B (78).</li> <li>- Substances type insuline (= SAI)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contraction muscles, Proctodeum et autres.</li> <li>- Mobilisation des lipides ou du tréhalose.</li> <li>- Cardioaccélération, hyperglycémie.</li> <li>- Activité myotrope.</li> <li>- Contraction muscles.</li> <li>- Stimulation glande prothoracique.</li> <li>- Contraction des muscles squelettiques ; cardioaccélération hyperglycémie.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Echinodermes</b></li> </ul>   |   |   |  |   |

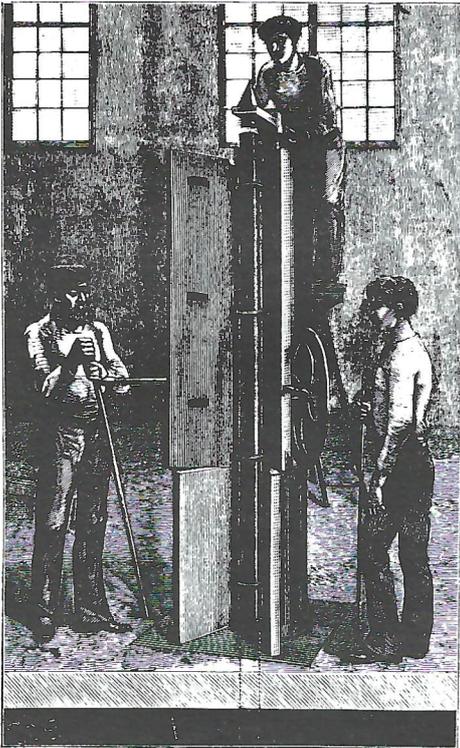
## HORMONES PEPTIDIQUES OU PROTÉIQUES DE VERTÉBRÉS

| ESPECES | ORGANES   | PEPTIDES   | PROTEINES  | ACTION  |
|---------|---|--|--|---|
|         | - Hypothalamus                                      | - Corticolibérine = CRF (41)<br>= corticotrophin releasing factor<br>- Somatolibérine = GHRH-(GRF)<br>(44, 40, 37) somatocrinine.<br>- Somatostatine : GHRH (SRIF) (14)<br><br>- Gonadolibérine : GNRH des Vertébrés non mammaliens : gonadotrophin releasing hormone = LHRH = lulibérine des Mammifères (10).<br>- Encéphalines<br>- Endorphines (16, 17).<br>- Dynorphines (8, 17, 32...)<br>- Thyroélibérine = TRH (3). |  | - Stimule la production hypophysaire d'ACTH.<br>- Régulation de la croissance.<br><br>- Inhibition de la sécrétion de l'hormone de croissance GH.<br>- Stimule les cellules gonadotropes hypophysaires à FSH et LH.<br><br>- Active sur la douleur.<br><br>- Stimule la production hypophysaire de TSH (hormone thyrotropine =) thyroestimuline et de prolactine. |
|         | - Neurotensine (13).                                | - Ocytocine (9).   |  | - Régulation hydrique.  |
|         | - Urophyse  | - Vasopressine = ADH (9).  |  |   |
|         | - Neurohypophyse.                                   | - Urotensine.<br>- Vasopressine = AVP.<br>- Ocytocine.<br>- Met-encéphaline.   |  |   |
|         | - Antéhypophyse.                                    | - Corticotrophine = ACTH (39).   | - Follicotrophine = ( $\alpha$ : 92).<br>( $\beta$ : 118).<br>- Lutéotrophine : LH ( $\alpha$ : 115)<br>des Mammifères ( $\beta$ : 64)<br>non mammaliens.<br>- Prolactine = PRL. | - Régulation surrénalienne.<br>- Hormone folliculostimulante et active sur la spermatogenèse.<br>- Hormone de lutéinisation.<br><br>- Intervient dans l'ovulation, le maintien du corps jaune, l'initiation et le maintien de la lactation.   |
|         |   |  | - Thyrotrophine : TSH : hormone.<br>- Thyrotrope ( $\alpha$ : 92)<br>( $\beta$ : 112)<br>- GH : hormone de croissance (191)  | - Régulation de la thyroïdienne.<br>- Régulation de la croissance.  |
|         | - Pars intermedia                                   | - Melanotropine = MSH.   |  |   |
|         | - Parathyroïdes                                     |  | - Parathormone (= PTH) (84).   | - Hypercalcémiant et hypophosphatémiant.<br>- S'oppose à la parathormone.   |
|         | - Thyroïde  | - Calcitonine (32).  |  |   |
|         | - Placenta  |  | - Hormone chorionique gonadotrophique = CG.<br>- Hormone placentaire lactogène (PL).   |   |
|         | - Appareil digestif                                 | - Cholécystikinine = CCK (39)  |  | - Stimule la sécrétion pancréatique et contracte la vésicule biliaire   |
|         | Cellules I du duodénum                              | - Gastrine (17 ou 34)  |  | - Stimule la sécrétion acide gastrique.   |
|         | - Cellules G du duodénum et de la muqueuse centrale | - Polypeptide pancréatique = PP (36).  |  | - Inhibe la sécrétion des enzymes pancréatiques et contracte la vésicule biliaire.  |
|         | - Pancréas  | - Glucagon (29).<br>- Insuline ( $\alpha$ : 21)<br>( $\beta$ : 30)   |  | - S'oppose à l'action de l'insuline.  |
|         | - Intestin grêle, duodénum, jejunum, cellules S     | - Sécrétine (27)   |  | - Fixation du glucose et glyconéogenèse.  |
|         | - Cellules K  | - Gastric inhibitory peptide entéro-gastrone (GIP) (43)  |  | - Stimule la sécrétion pancréatique de carbonate acide.   |
|         | - Cellules EC <sub>2</sub> du duodénum jejunum      | - Motiline (22)  |  | - Insulinothope, ralentit l'évacuation gastrique.   |
|         | - Iléon, colon                                      | - Neurotensine (13)  |  | - Stimule les contractions du tube digestif.  |
|         | - Cellules EG de l'iléon                            |  | - Interoglucagon (>100)  | - Inhibe les effets moteurs de l'estomac.   |
|         | - Tractus gastro-intestinal                         | - Somatostatine (14)   |  | - Potentialise l'insulino-sécrétion et la gluconéogenèse hépatique.   |
|         | Cellules D  | - Peptide vaso-intestinal actif.<br>- (= VIP) (28)   |  | - Inhibe sécrétions et contractions.  |
|         | - Tous organes                                      | - Substance P (11)   |  | - Relaxe muscles lisses, neurotransmetteur.   |
|         | Cellules H  | - Bombésine (14)   |  | - Contracte les muscles lisses.   |
|         | - Cellules ED (entéro-chromaffines)                 | - Endorphines (5)  |  | - Sécrétomoteur   |
|         | - Tractus gastrointestinal                          |  |  | - Inhibe sécrétion et effets moteurs  |

Certains de ces peptides seraient paracrines ; ont le statut d'hormone : gastrine, sécrétine, CCK, GIP. CCK, Gastrine et Coeruleine ont en commun les 5 derniers AA ; le glucagon a 14 AA communs avec la sécrétine ; le VIP et le GIP ont 9 aa en commun avec la sécrétine.

## BIBLIOGRAPHIE

- Acher R., 1985. - *Biosynthesis, processing, and evolution of neurohypophysial hormone precursors, in Neurosecretion and Biology of neuropeptides* - Eds. Kobayashi et al., Japon Sci. Soc. Press, Springer-Verlag, 11-25.
- Bell G.I., Gerhard D.S., Fong N.H., Sanchez-Pescador R. et Rall L.B., 1985. - *Isolation of the human insulin-like growth factor genes : insulin-like growth factor II and insulin gene are contiguous* - Proc. natn. Acad. Sci. USA 82, 6450-6454.
- Bevis P.J.R. et Thorndryke M.C., 1981. - *Stimulation of gastric enzyme secretion by porcine cholecystokinin in the ascidian Styela clava* - Gen. comp. Endocrinol., 45, 458-464.
- Blundell T.L. et Humbel R.E., 1980. - *Hormone families : pancreatic hormones and homologous growth factors* - Nature Lond. 287, 781-787.
- Boer H.H. et Roubos E.W., 1985. - *Diversity and release of neuropeptides in Lymnaea stagnalis*. In *Neurosecretion and the biology of Neuropeptides* - Ed. Kobayashi H. et al. Springer-Verlag, 361-369.
- Bonner J.T., 1984. - *The evolution of chemical signal-receptor systems (from slime moulds to man)*. In *Oxford Surveys in evolutionary biology* - Ed. R. Dawkins et M. Ridley, Vol 1, 1-15.
- Bounias M. et Dubois M.P., 1982. - *Inhibition par la somatostatine de l'action hypoglycémiant de l'insuline chez l'Abeille in vivo et localisation histochimique d'un antigène apparenté à la somatostatine dans l'épithélium digestif ainsi que dans les tubes de Malpighi de l'Abeille* - C. R. Ac. Sc. Paris 294, 1029-1034.
- Bückmann D., 1987. - *Common origin and phylogenetic diversification of animal hormonal systems* - Experientia Suppl. 53, 155-166.
- Bückmann D., Starnecker G., Tomaschko K.H., Wilhelm E., Lafont R. et Girault J.P., 1986. - *Isolation and identification of major ecdysteroids from the pycnogonid Pycnogonum littorale (Ström)* (Arthropoda, Pantopoda) - J. Comp. Physiol. 156, 759-765.
- Chadwick C.M. et Garrod D.R., 1986. - *Hormones, receptors and cellular interactions in plants* - Cambridge Univ. Press.
- Crawford R.J., Hudson P., Shine J., Niall H.D., Eddy R.L. et Shows T.B., 1984. - *Two human relation genes are in chromosome 9*. EMBO J. 3, 2341-2345.
- Dhainaut-Courtois N., Golding D.W., 1988. - *Nervous system. in Handbook of Polychaeta morphology and cytology* - Ed. W. Westheide et C. Hermans, Gustav Fischer-Verlag, 215-230.
- Falkmer F., 1985. - *Phylogenetical aspects of the brain-gut axis with special reference to islet hormones in Invertebrates and lower Vertebrates*. In *Neurosecretion and the biology of neuropeptides* - Eds H. Kobayashi et al., Japon Sci. Soc. Press, Springer-Verlag, 317-325.
- Feldlaufer M.F., Svoboda J.A., 1986. - *Makisterone A, a 28-carbon insect ecdysteroid* - Insect Biochem. 16, 45-48.
- Field K.G., Olsen G.J., Lane D.J., Giovannoni S.J., Ghiselm M.T., Raff E.C., Pace N.R. et Raff R.A., 1988. - *Molecular phylogeny of animal kingdom*. Science, 239, 748-753.
- Fournier B. et Girardie J., 1988. - *A new function for the locust neuroparsins : stimulation of water reabsorption* - J. Insect Physiol. 34, 309-313.
- Fukita T., 1983. - *Messinger substances of neurons and paraneurons : their chemical nature and the routes and ranges of their transport to targets* - Biomed. Res. 41, 239-256.
- García M., Girault J.P. et Lafond R., 1986. - *Ecdysteroid metabolism in the terrestrial snail Cepaea nemoralis* (L.) Int. J. of Inv. Repr. and develop. 9, 43-58.
- García M., Gharbi J., Hetru C.H. et Lafond R., 1989. - *Ecdysteroid Metabolism in Leeches* - Inv. Reprod. and develop., 15, 57-68.
- Gersch M., 1984. - *Evolutionary aspects of neurosecretion in Invertebrates* - Nova Acta Leopoldina NF 56, 255, 51-64.
- Girardie J.M., 1987. - *Parentés entre neurohormones de Vertébrés et d'Invertébrés. Réalité phylogénique ou hasard* - Thèse Médecine n° 210, Univ. Bordeaux II, 83 pp.
- Girardie T., Bourème D., Couillaud F., Tamarelle M. et Girardie A., 1987. - *Anti-juvenile effect of neuroparsin' A, a new protein isolated from Locusts corpora cardiaca* - Insect Biochem., 17, 977-983.
- Grimm-Jorgensen Y., 1980. - *Effect of thyrotropin releasing hormone on the CAMP content in circumoesophageal ganglia of Lymnaea emarginata* - Life Sci., 26, 1211-1216.
- Grimm-Jorgensen Y., 1980. - *Effect of thyrotropin releasing hormone on Na uptake by the pond snail Helisoma carabaceum* - J. exp. Zool. 212, 471-473.
- Grimmelikhuijzen C.J.P., Graff D., Groeger A. et Mcfarlane I.D., 1987. - *Neuropeptides in invertebrates*. In *Nervous systems in Invertebrates* - Ed. M.A. Ali, Plenum Press NATO ASI series, vol. A, 141, 105-132.
- Grimmelikhuijzen C.J.P., 1983. - *Coexistence of neuropeptides in hydra* - Neuroscience, 9, 837-845.
- Guerrero A., Pietra F., 1985. - *Isolation, in large amounts, of the rare plant ecdysteroid adju-gasterone - C from the mediterranean Zoanthid Gerardia savaglia* - Comp. Biochem. Physiol. 80B, 277-278.
- Gustafsson M.K.S., Lehtonen M.A.I. et Sundler F., 1986. - *Immunocytochemical evidence for the presence of "mammalian" neurohormonal peptides in neurons of the tapeworm Diphylobothrium dendriticum* - Cell Tiss. Res. 243, 41-49.
- Harmar A.J., Pierotti A.R. et Keen P., 1986. - *Biosynthesis of the tachyins and somatostatin in Neuroendocrine molecular biology* - Eds. G. Fonk et al., Plenum Press, 147-159.
- Hazelbauer G.L., 1981. - *The molecular biology of bacterial chemotaxis in Biology of chemotactic Response* J.M. Lackie et P.C. Wilkinson - Ed. Cambridge : Cambridge Univ. Press.
- Hoffmann J.A. et Charlet M., 1985. - *Les ecdystéroïdes chez les Invertébrés* - Ann. Sc. Nat. Zoologie, 13<sup>e</sup> série, 7, 215-228.
- Jenks B.G. et Leenders H.J., Verburg-Van-Kemenade B.M.L., Tonon C. et Vaudry H., 1986. - *Stratégies in the régulation of secretory signals from proopiomelanocortine-producing cells*. In *Neuroendocrine molecular biology* - Eds. G. Fink et al., Plenum Press, 218-295.
- Joose J., Ebberink R.H.M., Geraerts W.P.M., Jansen R.F. et Maat A. Ter., 1985. *The caudo-dorsal cells of Lymnaea stagnalis : primary structure of the ovulation hormone and biosynthesis and role of multiple peptides released during egg-laying*. In *Neurosecretion and the biology of neuropeptides* - Ed. H. Kobayashi et al., Japon Scientific Soc. Press, Springer-Verlag, 50-59.
- Josefsson L., 1983. - *Invertebrate neuropeptide hormones* - Int. J. Peptide Protein Res., 21, 459-470.
- Kaiser B., Manoil C., et Dworkin M., 1979. - *Myxobacteria : cell interactions, genetics and development* - Ann. Rev. Microbiol., 33, 555-639.
- Keller R., Dircksen H., Mangerich S. et Jaros P.P., 1985. - *Hyperglycemic hormone and other neuropeptides in Crustacean neurosecretory structures*. In *Neurosecretion and the biology of neuropeptides* - Ed. H. Kobayashi et al., Japon Scientific Soc. Press, Springer-Verlag, 60-69.
- King G.L. et Khan C.R., 1985. - *Effect of insulin on growth in vivo and cells in culture*. In *Control of animal cell proliferation* - Vol. 1, ed. A.L. Boyston et H.L. Leffert, Orlando, F.L. : Academic Press, 210-249.
- Krisch B., 1985. - *General considerations on neurosecretion*. In *Neurosecretion and biology of neuropeptides* - Ed. H. Kobayashi et al., Japon Sci. Soc. Press, Springer-Verlag, 105-112.
- Lachaise F., Meister M., Hetru C. et Lafont R., 1986. - *Studies on the biosynthesis of ecdysone by the Y-organs of Carcinus maenas* - Mol. Cell. Endocrinol., 45, 253-261.
- Lafont R. et Horn D.H.S., 1989. - *Phytoecdysteroids, structures and occurrence*. In *Ecdysone* - Ed. J. Koolman, George-Thieme Verlag (sous presse).
- Le Roith D., Shiloach J., Roth I. et Lesniak M.A., 1980. - *The evolutionary origin of vertebrate hormones insulin in unicellular organisms* - Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 77, 6184.
- Le Roith D., Liotta A.S., Roth J., Shiloach J., Lewis M., Pert C.B. et Krieger D.T., 1982. - *ACTH and andorphan-like materials are native to unicellular organisms* - Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 77, 6184-6186.
- Loumaye E., Thomer J. et Catt K.J., 1982. - *Yeast mating pheromone activates mammalian gonadotrophs : evolutionary conservation of a reproductive hormone ?* Science, 218, 1323-1325.
- Marshall I., Al-Kazwini S., Holman J.J., Broad P.M., Edbrooke M.R. et Craig R.K., 1986. - *Structure, fonction and expression on the human calcitonin/ CGRP gene*. In *Neurocrine molecular biology* - Ed. G. Fonk et al. Plenum Press, 1-17.
- Maruo T., Cohen H., Segal S.J. et Koide S.S., 1979. - *Production of choriogonadotrophin-like factor by a microorganism* - Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 76, 6622.
- Mercola H. et Stiles (Ch.D.), 1988. - *Growth factor superfamilies and mammalian embryogenesis* - Develop., 102, 451-460.
- Moreau R., Gourdoux L. et Girardie J., 1988. - *Neuroparsin A : a new energetic neurohormone in the African Locust* - Arch. of Insect Biochem. and Physiol., 8, 135-145.
- Moreau R., Gourdoux L., Lequelléc Y., et Dutrieu J., 1982. - *Endocrine control of hemolymph carbohydrates in Locusta migratoria : comparison between effects of two endogenous hormonal extracts and effects of insulin and glucagon* - Comp. Biochem. Physiol., 73 A, 669-673.
- Orchard I. et Loughton B.G., 1980. - *A hypolipaeiric factor form the corpus cardiacum of locusts* - Nature London, 286, 431-434.
- Porchet M., 1989. - *Aspects physiologiques des stratégies de reproductoin chez les Annélides polychètes* - Ann. Biol., 28 (1), 1-37.
- Porchet M. et Dhainaut-Courtois N., 1988. - *Neuropeptides and monoamines in annelids*. In *Neurohormones in Invertebrates* - Ed. M.C. Thorndyke et G.J. Goldsworthy, Cambridge Univ. Press, 33, 220-234.
- Puytorac P. de , Grain J. et Mignot J.P., 1987. - *Précis de Protistologie* - Ed. Boubée, 581 pp.
- Redfern C.P.F., 1984. - *Evidence for the presence of makisterone A in Drosophila Larvae and the secretion of 20-deoxymakisterone A by the ring gland* - Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 81, 5643-5647.
- Remy C., 1984. - *Immunochemical relationship between Vertebrate and Ir.vertebrate neuropeptides* - Nova Acta Leopoldina, 56, 255, 99-116.
- Remy C. et Vieillemaringe J., 1988. - *Immunocytoology of insect peptides and amines*. In *Neurochormones in Invertebrates* - Ed. Thorndyke M.C. et Goldsworthy G.J. Cambridge Univ. Press - Soc. f. exp. Biol. Science, Ser. vol. 33, 43-77.
- Rosenfeld M.G., Amara S.G. et Evans R.M., 1985. - *Tissue specific patterns of RNA processing regulation and developmental specificity of neuroendocrine gene expression*. In *Neurosecretion and biology of neuropeptides* - Ed. H. Kobayaki et al. Japon Sci. Soc. Press, Springer-Verlag, 34-40.
- Sawyer W.H., 1972. - *Lungfishes and amphibians : endocrine adaptation and the transition from aquatic to terrestrial life* - Fed. Proc., 31, 1609-1614.
- Ta Keda S., Vieillemaringe J., Geffard M. et Remy C., 1986. - *Immunohistological evidence of dopamine cells in the cephalic nervous system of the silk-worm Bombyx mori. Coexistence of dopamine and endorphan-like substance in neurosecretory cells of the suboesophageal ganglion* - Cell Tissue Res., 243, 125-128.
- Tamarelle M., Romeuf M. et Vanderhaeghen J.J., 1988. - *Immunohistochemical localization of gastrin-cholecystokinin-like material in the central nervous system of the migratory locust* - Histochem., 89, 201-207.
- Tang J., Yang Y.T. et Costa E., 1984. - *Inhibition of spontaneous and opiate-modified nociception by an endogenous neuropeptide with Phe-Met-Arg-Phe NH<sub>2</sub> like immunoreactivity* - Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 81, 5002-5005.
- Vieillemaringe J., Duris P., Bensch C. et Girardie J., 1982. - *Co-localization of amines and peptides in the same median neurosecretory cells of Locusts* - Neurosci. Lett., 31, 237-240.
- Vincent J.D. et Simonnet G., 1986. - *Les neurohormones* - J. Phys. Paris, 81, 51-87.
- Westfall J.A., 1987. - *Ultrastructures of invertebrate synapses*. In *Nervous systems in Invertebrates* - Ed. M.A.-Ali, Plenum Press, NATO ASI series, vol. A, 141, 3-28.



1890 - Appareil pour le moulage du verre.  
 Fabrication des tubes droits.

de construction ou d'ornement. Dès l'Antiquité, on les utilisait comme motifs décoratifs dans le bâtiment, et les anciens ont souvent

réalisé des sculptures en obsidienne : homogénéité, absence de grain, dureté, possibilité de polissage fin sont justement les caractéristiques de tout matériau vitreux.

### II) LES ROCHES VITREUSES BASIQUES

Contenant moins de silice que les précédentes (environ 50 à 60 %) elles sont chimiquement proches des basaltes ou des andésites. Appelées **tachylites**, **sidéromélanes** lorsqu'elles sont anhydres, **palagonites** à l'état hydraté, elles sont toujours de couleur sombre en grosses masses, mais leur poudre est blanchâtre. Plus denses que l'obsidienne ( $2,7$  à  $2,8 \text{ t.m}^{-3}$ ) elles possèdent également un indice optique plus élevé ( $1,6$  à  $1,7$ ). Leur dureté, variable, n'est pas caractéristique.

Chimiquement, ces roches se différencient des précédentes par une teneur plus faible en éléments alcalins, qui sont remplacés par des alcalino-terreux (principalement Mg, Ca) et du fer. Ce sont des verres silico-alumineux calciques et ferro-magnésiens. Le rapport atomique  $O/Si + Al$  est proche de  $2,5$  : cela explique sans doute la moindre stabilité des roches basiques ; les ions alcalino-terreux, le fer ferreux jouent un rôle activateur dans les transformations par cristallisation, que l'on peut réaliser facilement par chauffage : à partir de  $400^\circ\text{C}$ , on voit apparaître des germes de zones ordonnées ; à  $800^\circ\text{C}$  la transformation est très rapide : elle se fait par ségrégation de domaines silico-alumineux de compo-

sition définie, dans un "ciment" contenant les cations divalents  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  ; en présence d'eau sous pression, chargée de  $CO_2$ , on observe une dissolution rapide de ce ciment : il reste alors les sphérules contenant Si et Al.

Ces phénomènes sont responsables de la dégradation rapide, au cours du temps, des massifs de roches vitreuses basiques ayant pu se former dans des coulées volcaniques. Il faut les étudier au moment même des éruptions, principalement en surface, pour que le refroidissement rapide produise un effet de **trempe** plus marqué que dans la masse. Les projections sous forme de bombes volcaniques ou lapilli sont également un bon moyen de conservation de ces roches, pour la même raison.

En conclusion, on soulignera que les roches vitreuses représentent, à l'état naturel, ce que l'homme produit artificiellement sous forme de verres, classés en deux grandes familles : les verres alcalins et les verres magnésiens ou calciques, dont les propriétés et les applications sont quelque peu différentes.

# Une mission : la santé.

**MSD**  
**MERCK**  
**SHARP**  
**DOHME**  
**CHIBRET**

Centre de Recherche de Riom (Puy-de-Dôme)

LABORATOIRES MERCK SHARP & DOHME-CHIBRET

3, Avenue Hoche - 75008 Paris ☎ 42 67 97 22

## LES SUPRACONDUCTEURS A HAUTE TEMPÉRATURE CRITIQUE

par C. Chaillout\*

Tout le monde sait que le passage du courant électrique provoque l'échauffement des conducteurs : c'est l'effet Joule qu'on utilise dans les radiateurs et les fers à repasser. Dans la plupart des cas, cet échauffement est nuisible : il faut refroidir les alternateurs, les transformateurs, etc... Le transport de l'électricité coûte cher à cause des pertes en ligne.

Imaginons maintenant qu'il existe des conducteurs sans résistance : ce serait une économie considérable et un bond prodigieux sur le plan technologique ! Jusque là on savait bien que certains conducteurs, dits SUPRA-CONDUCTEURS, pouvaient présenter dans certaines conditions une résistance nulle, mais comme pour atteindre ce résultat il fallait refroidir le matériau à des températures voisines du zéro absolu ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), l'opération n'était pas rentable.

Or, depuis quelques années on a découvert des substances qui présentent une résistance nulle à des températures plus accessibles : ces supraconducteurs à "haute température critique" font l'objet actuellement de recherches passionnées dans le monde.

Madame Chaillout a prononcé sur ce sujet une conférence, au Département de Physique de l'Université Blaise-Pascal, le 20 décembre dernier. Elle nous a autorisé à publier le résumé de cette conférence. Nous l'en remercions vivement.

En 1911, Kamerlingh Onnes, étudiant le mercure, découvrit la supraconductivité. Il constata qu'on pouvait faire passer un courant électrique dans du mercure sans perte d'énergie si on se plaçait en-dessous d'une certaine température appelée température critique du matériau. Dans ce cas, cette température vaut environ  $-269^{\circ}\text{C}$ , et il faut utiliser de l'hélium liquide pour refroidir le matériau.

Qu'est ce donc que la supraconductivité ? Dans un métal, comme le cuivre, le courant électrique circule facilement. Cependant, même à très basse température, une résistance électrique existe due à la diffusion des électrons par les ions ou par les défauts cristallins. L'énergie ainsi perdue se dissipe sous forme de chaleur. Dans un supraconducteur, les électrons se couplent pour former des paires

res qui, elles, se déplacent sans subir de collisions. Il n'y a donc pas de dissipation d'énergie. (Fig. 1).

### Que se passe-t-il dans un fil électrique ?

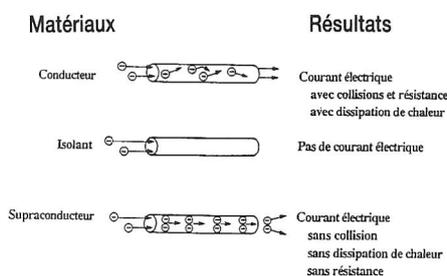


Figure 1

Il a fallu attendre les années 1950 pour qu'une théorie satisfaisante pour expliquer la supraconductivité dans de nombreux matériaux soit proposée par Bardeen, Cooper et Schrieffer. Dans ce cas l'attraction de deux électrons pour former une paire est rendue possible par la présence des vibrations de réseau ou phonons.

Outre leur propriété de résistance nulle, les supraconducteurs possèdent une propriété d'origine magnétique, connue sous le nom d'effet Meissner : si on les place dans un champ magnétique, ils s'opposent à la pénétration des lignes de flux. Cette propriété donne lieu à la lévitation magnétique.

La supraconductivité n'est possible que si la température, le champ magnétique environnant le matériau et le courant électrique le parcourant éventuellement sont inférieurs à des valeurs critiques dépendant du matériau ( $T_c$ ,  $H_c$ ,  $J_c$ ). Depuis la découverte de Kamerlingh Onnes, l'objectif a donc été d'augmenter ces trois valeurs critiques.

Au départ, les recherches ont porté sur les métaux et les alliages métalliques. Cette démarche semblait naturelle puisque déjà à température ambiante les métaux conduisent facilement le courant électrique. Avec cette

catégorie de matériaux, la température critique maximale obtenue est d'environ  $-250^{\circ}\text{C}$  ( $\text{Nb}_3\text{Ge}$ ), ce qui nécessite toujours l'utilisation de l'hélium liquide. Néanmoins, ces matériaux sont déjà utilisés de façon industrielle pour réaliser des aimants qui servent en imagerie médicale. Les études ont ensuite porté sur les oxydes. En 1986, Bednorz et Müller ont ainsi trouvé qu'un matériau contenant du lanthane, du baryum, du cuivre et de l'oxygène devenait supraconducteur au-dessous de  $-243^{\circ}\text{C}$ . C'était le premier supraconducteur dit "à haute température critique". En 1987, le premier matériau supraconducteur au-dessus de la température de l'azote liquide ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) fut obtenu. Ce fut un pas très important car l'azote liquide est infiniment moins cher et beaucoup plus facile à manipuler que l'hélium liquide. (Fig. 2).

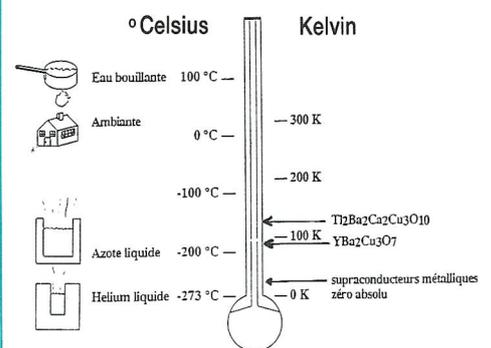


Figure 2 : une échelle de température

Par la suite, d'autres matériaux ont été trouvés, la température critique maximale atteinte actuellement étant environ 125 K pour le composé  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{4n+2}$  avec  $n = 3$ .

Nous disposons donc aujourd'hui d'un grand nombre d'oxydes de cuivre supraconducteurs. Leurs structures dérivent toujours de la structure pérovskite lacunaire en oxy-

\* C. CHAILLOUT, Laboratoire de Cristallographie, CNRS 166X, 38042 Grenoble, Cedex.

gène (Fig. 3), mais avec un caractère bidimensionnel marqué. De ce fait, on peut les considérer comme des empilements de plans  $\text{CuO}_2$  séparés par des blocs qui peuvent jouer le rôle de réservoir d'électrons. Ces blocs présentent différents arrangements structuraux et contiennent, soit des atomes pouvant avoir plusieurs valences, soit des lacunes d'oxygène, soit des lacunes de cations, soit des cations substitués. Pour les composés des séries

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{4n+2}$  et  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{4n+2}$ , les blocs "réservoirs" sont constitués par des doubles plans  $(\text{BiO})_2$  ou  $(\text{TlO})_2$ . Le nombre de plans  $\text{CuO}_2$  successifs peut quand à lui varier de 1 à 3 ou 4, entraînant une variation de la température critique. Il est également possible de remplacer les doubles plans  $(\text{TlO})_2$  par des mono plans TlO ou les doubles plans  $(\text{BiO})_2$  par des triples plans  $(\text{PbO}, \text{CuO}, \text{PbO})$ . Par ces modifications des blocs réservoirs, nous pouvons varier la charge moyenne  $(\text{Cu}-\text{O})^{+P}$  dans les plans  $\text{CuO}_2$ . (Fig. 4).

Les applications des supraconducteurs, seulement à l'état de projet (transport et stockage de l'énergie, lévitation magnétique, électrotechnique) ou déjà opérationnelles (électronique supraconductrice, génération de champs magnétiques élevés pour la fusion nucléaire, la physique des hautes énergies, l'imagerie médicale...), sont nombreuses. Jusqu'à présent, les matériaux utilisés nécessitaient un refroidissement à l'hélium liquide, coûteux et peu pratique. Avec les oxydes supraconducteurs à température critique supérieure à celle de l'azote liquide, certaines applications pourraient devenir rentables. Le problème le plus important actuellement réside dans les valeurs encore assez faibles des courants critiques. Il ne faut pas oublier non plus les problèmes liés aux matériaux eux-mêmes (clivage, mâcles, contrôle de la stoechiométrie en oxygène, pureté des phases...) et à leur mise en forme. Heureusement, nous disposons aujourd'hui d'une très grande variété de composés et nous avons la possibilité de faire varier de nombreux paramètres dans l'espoir d'obtenir le matériau le plus convenable pour les applications.

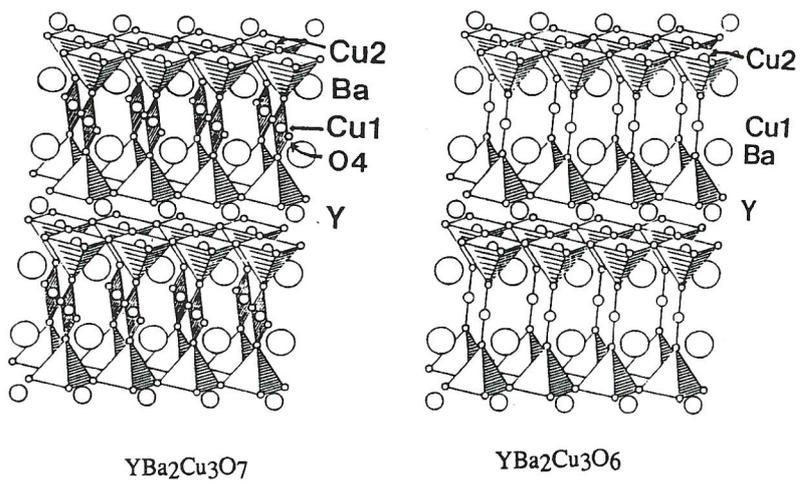


Figure 3 : structures de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ( $T_c = 90 \text{ K}$ ) et  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$  (non supraconducteur)

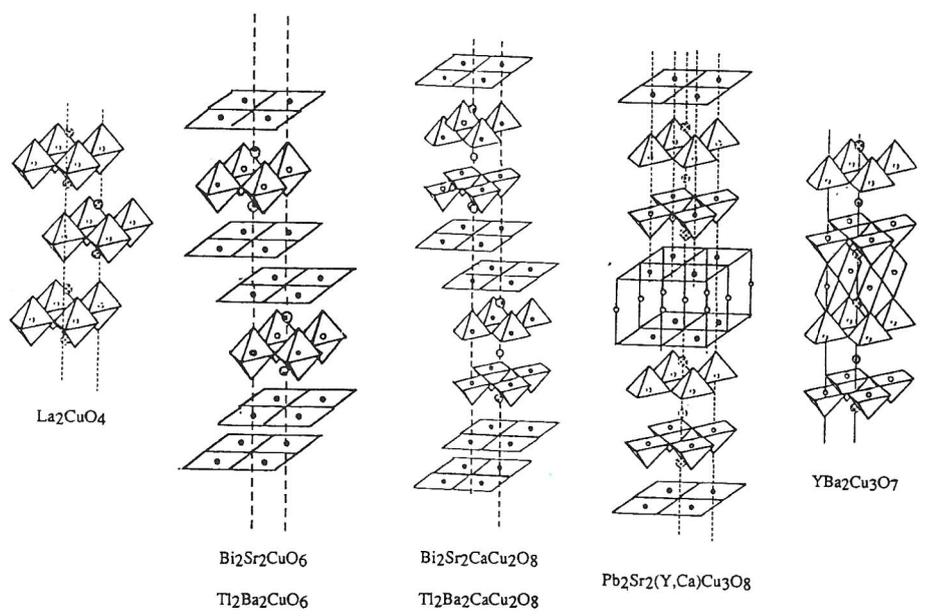


Figure 4 : quelques structures d'oxydes de cuivre supraconducteurs

## P.S.M. COMPOSANTS

- ▶ Composants électroniques professionnels
- ▶ Matériel et outillage
- ▶ Appareils de mesure
- ▶ Librairie technique

**29, place du Changil  
63000 CLERMONT-FERRAND  
Tél. 7331 1376**

## VISITE DU RADIOTÉLESCOPE DE NANCY

L'observatoire radioastronomique de Nancy, rattaché administrativement à celui de Paris-Meudon, est la plus importante installation de ce type en France ; c'est aussi une des plus récentes créations (1953), alors que la plupart des observatoires français sont centenaires.

- Parmi les thèmes de recherches basés sur l'émission radioélectrique, on notera :
- la physique des comètes
  - la structure de l'univers
  - la formation et l'évolution des étoiles et galaxies
  - les éruptions solaires, etc...

L'ADASTA organise une visite guidée des installations du radiotélescope le mercredi 25 avril. Au cours du même voyage, on visitera les vitraux de la Cathédrale de Bourges. Des informations plus précises seront communiquées aux personnes qui en feront la demande.

# VISITE

## VISITE DE L'USINE RHONE-POULENC NUTRITION ANIMALE A COMMENTRY (Allier), LE 15 NOVEMBRE 1989

Orientée vers la biochimie, cette entreprise est installée à Commentry depuis un demi-siècle. Fondée par un négociant en grains et fabricant d'aliments pour le bétail, Marcel LINGOT, elle devient en mars 1939 une société importante : l'Alimentation Equilibrée de Commentry (A.E.C.).

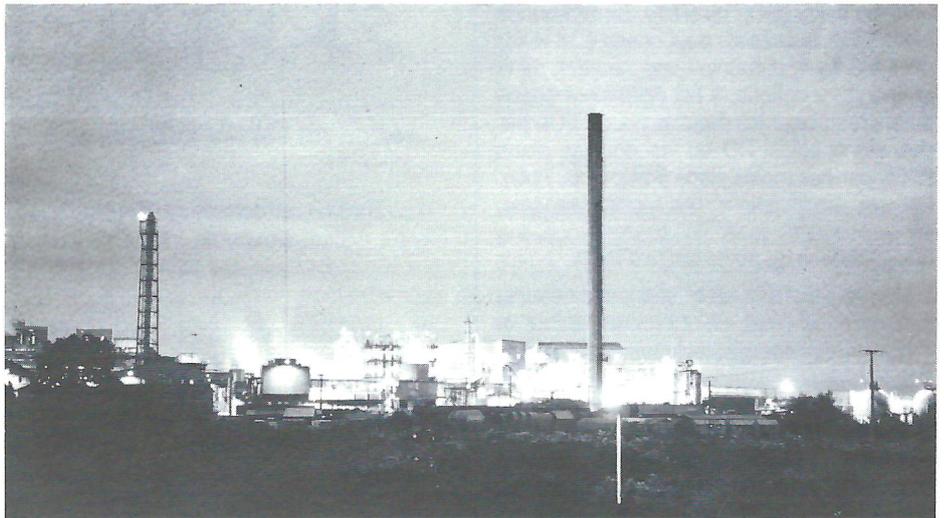
Elle s'est orientée progressivement vers la production massive de vitamines et d'acides aminés : c'est ainsi qu'elle acquiert rapidement une place enviable sur le marché mondial de vitamine A naturelle, extraite de foies de poissons ; elle produit en 1948 les premiers grammes de méthionine, acide aminé soufré capital dans la nutrition de la volaille, devenant en 1958 le premier producteur mondial ; elle entreprend en même temps la production de vitamines A et E de synthèse, qui connaissent un développement spectaculaire.

En 1960, c'est une entreprise florissante, qui intéresse le groupe RHONE-POULENC : après plusieurs prises de participation, AEC en devient une filiale à 100 % en 1971 ; cette réorganisation donne un nouvel élan à la Société dont le chiffre d'affaires est multiplié par 35 entre 1958 et 1978. Elle prend, le 16 juin 1988, le nom de "RHONE-POULENC Nutrition Animale".

L'usine de Commentry est la plus importante de la division. Elle occupe environ 1000 personnes, produit 40.000 tonnes par an de méthionine, 2500 tonnes de vitamine E et 1000 tonnes de vitamines A.

C'est donc une entreprise performante et puissante que l'ADASTA avait choisi de visiter, pour sa dernière sortie en 1989. Après un agréable trajet à travers les Combrailles, les 37 participants étaient attendus, à 10 heures, par M. Guillerm, Directeur de l'Usine. Et dès les premiers contacts, nous avons pu vérifier que les mots "Bienvenue dans le monde de RHONE-POULENC" n'étaient pas seulement un slogan publicitaire : une collation avait été préparée pour nous remettre des fatigues du trajet, et cinq collaborateurs du Directeur étaient à ses côtés pour nous accueillir, pour nous informer.

Monsieur Guillerm prit la parole le premier pour brosser à grands traits la structure du groupe RHONE-POULENC et la place de l'usine de Commentry dans cet univers complexe ; ensuite, chacun de ses collaborateurs présenta son secteur de responsabilité : potentiel humain et problèmes de formation, service recherche et développement, mise au point des processus de fabrication, instrumentation de contrôle, et applications nutritionnelles. Après un "tour de table" avec questions-réponses, M. Guillerm nous proposa une visite des unités de production, avant le déjeuner, par petits groupes. Nous



Vue d'ensemble de l'usine de Commentry

pûmes mesurer la complexité des installations, qui sont totalement automatisées ou en passe de l'être.

Après le déjeuner avec nos guides qui fut l'occasion d'échanges sans protocole, très agréables et détendus, nous reprenions ensemble le chemin de l'Usine, pour continuer la visite : laboratoires de contrôle et analyse (équipés de robots) et station d'épuration des eaux usées ; puis retour en salle de conférences pour la projection d'une bande vidéo présentant la ferme expérimentale (le temps manquait pour s'y rendre) nous ont permis d'avoir un panorama complet des activités de RPAN à Commentry.

A la fin de ce tour d'horizon, une nouvelle rencontre avec les décideurs de l'Entreprise permit de poser les questions souhaitées, et d'obtenir des réponses franches et directes, sur tous les sujets. Et, vers 18 heures, nous prenions le chemin du retour.

Cette visite a été le prototype de ce que souhaite réaliser l'ADASTA\* dans l'organisation des visites d'Entreprises : réussir à présenter aux participants **tous** les aspects d'une activité industrielle, sans en exclure aucun. Que Monsieur Guillerm, le Directeur, et ses collaborateurs, qui ont largement contribué au succès de cette visite, trouvent ici l'expression de notre très vive gratitude. Ils ont donné de leur Entreprise une image flatteuse : efficace et performante dans son créneau d'activité, ouverte sur le monde extérieur et dotée d'excellents atouts dans le domaine de la communication.

L'Usine RPAN de Commentry est sans nul doute un fleuron de l'Industrie Chimique régionale, dont nous avons déjà visité certains leaders, sans avoir épuisé les ressources. (Un article détaillé sur les fabrications de RPAN paraîtra dans un prochain numéro d'Auvergne-Sciences).

librairie

les volcans  
 d'auvergne

80, boulevard Gergovia - CLERMONT-FERRAND



## INFORMATIONS REGIONALES

Les observations faites au cours de la sélection aboutissent toujours à la panification.

L'I.N.R.A. de Theix vient de se doter d'un équipement d'analyse d'images et d'électrophorèse bidimensionnelle qui va permettre de conduire des recherches plus maîtrisées. La mise en place du Contrat de Plan Etat-Région permettra de mieux connaître les bases biochimiques et génétiques de la force des blés et ainsi créer des variétés de blé de qualité satisfaisante pour la Limagne.

**M. J.-Marc NASSOT et M. Jacky Jeannet, architectes dplg, interviennent sur "les nouvelles architectures de terre grâce à des techniques modernes".**

La recherche s'est appuyée sur une réflexion développée à l'Ecole d'Architecture de Clermont-Fd par le groupe d'études et de recherches "Architecture et Technologies Nouvelles" dont le responsable scientifique est M. Nassot. Cette réflexion montre que les modèles mathématiques disponibles ne traduisent pas la réalité de ce qui se passe au niveau des mesures, et que ces modèles mathématiques, concernant le comportement thermique des murs épais en matériau dense, se révèlent tout-à-fait insuffisants. De plus, ces modèles ne prennent pas en compte certains facteurs tels que les migrations d'eau à travers les parois, les changements d'état, la structure particulière des matériaux étudiés qui ont une incidence importante et qu'il est nécessaire d'évaluer.

### But de la recherche :

Pouvoir comparer directement les résultats d'une recherche et les constats sur des réalisations architecturales et surtout sur le patrimoine existant dans la région Auvergne.

### Premier volet de la recherche : aspect fondamental

Une première observation montre que les calculs thermiques ne prennent pas en compte les effets d'inertie des murs et les effets d'énergie latente dus à des présences d'humidité.

Cette notion a été précisée par la réalisation du suivi de séchage du mur (du mois d'août au printemps suivant) et confirme que le mur reprend de l'humidité pendant la période hivernale.

Les quantités d'eau mise en œuvre ont été mesurées : un mur en terre de forte épaisseur représente 1 tonne au m<sup>2</sup> de matériau. Sa variation de teneur en eau est de l'ordre de 1 à 1,5% entre l'été et l'hiver ce qui représente 15 litres d'eau au m<sup>2</sup>, plusieurs tonnes d'eau sur un bâtiment complet et donc une forte énergie pour condenser ou évaporer cette quantité d'eau.

### Deuxième volet de la recherche : mise au point de techniques de mise en œuvre afin d'améliorer les qualités thermiques du matériau

Après avoir réussi à mélanger à la terre des agrégats légers divers, permettant d'améliorer à la fois les qualités thermiques et en même temps les qualités mécaniques du matériau (mais technique peu rentable au niveau de la construction), un système constructif est mis en œuvre.

Il s'agit d'un coffrage isolant restant en place sur le mur et le remplissage de ce coffrage par de la terre. Ce système donne une perméabilité à la vapeur d'eau très importante ce qui permet de résoudre une partie des problèmes de mise en œuvre et d'érosion de la terre face aux agents extérieurs.

Afin de rendre la technique "construction terre" rentable au niveau des entreprises régionales, un coffrage à hauteur d'étage est mis en place sans aucun moyen de serrage afin de faciliter une manœuvrabilité maximum du compacteur à l'intérieur de celui-ci.

Les réalisations sont diverses et vont de la rénovation (châteaux des XII<sup>e</sup>, XIV<sup>e</sup>, XV<sup>e</sup> siècles construits en Pisé) aux réalisations contemporaines (réalisation de voute, coupole sans coffrage faite en bloc de terre stabilisée). Les résultats de cette recherche sont aussi utilisés dans les pays en voie de développement (République Centre Africaine) pour augmenter la durabilité des bâtiments.

L'équipe a maintenant réussi à introduire à la terre des éléments en petite quantité permettant d'en modifier la plasticité au moment de la mise en œuvre et d'en améliorer les caractéristiques physiques.

L'équipe cherche aujourd'hui comment extrapoler les résultats de cette recherche sur le plan thermique au niveau économique et comment aborder les transferts de savoir-faire au niveau régional et international.

**M. Jacques Lemaire, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie et à l'Université Blaise-Pascal intervient sur "les développements et les perspectives des recherches sur le photovieilissement des matériaux polymères".**

Invité en 1986 au premier Colloque "Images de la Recherche" pour présenter les recherches effectuées sur ce thème tant au Laboratoire de Photochimie qu'au C.N.E.P. naissant, M. Lemaire expose les résultats obtenus en 3 ans.

### Historique :

- En 1970, création du Laboratoire de Photochimie : étude des mécanismes de phénomène en condition de laboratoire.
- En 1986, implantation du C.N.E.P. avec pour mission de faire de la

recherche finalisée en condition de laboratoire ou en condition de terrain avec une interaction très forte des groupes industriels.

Les objectifs du C.N.E.P. sont d'intervenir aux niveaux régional, national et international.

### Rappel :

Le C.N.E.P. est un centre d'activité expérimental. Il utilise les acquis du laboratoire - en mécanique et surtout en technique expérimentale -, le nourrit de questions récoltées sur des problèmes industriels. Le C.N.E.P. a un rôle scientifique et de prénormalisation.

Depuis 1986, le personnel s'est amplifié (de 20 à 35 personnes) ainsi que les actions menées (25 en 1986, 50 en 1987, une centaine au cours de l'année 1988/1989).

Lorsqu'on examine le vieillissement naturel des matériaux polymères en condition d'usage, il est nécessaire d'examiner l'évolution chimique du matériau.

Depuis que les matériaux polymères existent (1945), les problèmes de fiabilité ont été traités par une approche traditionnelle dite de simulation qui concerne en fait 90% de l'activité mondiale en recherche industrielle.

Cette méthode est simple : il y a simulation des contraintes mécaniques (lumière, soleil, chocs thermiques,...) et chimiques (anti-gel, eau, ozone,...) puis examen des variations des propriétés physiques d'usage.

Le travail en temps réel n'étant pas possible, les techniques de simulation ont progressivement glissé vers des techniques accélérées sans que l'on contrôle, à aucune échelle, la représentativité de l'accélération.

Une approche a été développée qui considère le matériau polymère comme un photo-récepteur avec toute sa nécessaire complexité.

Le suivi des évolutions de la matrice polymère, voire des additifs, permet ensuite d'interpréter les variations des propriétés physiques.

On obtient des observations expé-

riméntales. Celles-ci peuvent être comprises, rationalisées et permettre de trouver maintenant des structures et des comportements.

Il est possible :

- de vérifier réellement au cours des expériences, l'identité de nature de l'évolution chimique provoquée en vieillissement accéléré et de l'évolution chimique qui intervient en cours d'usage.
- d'intervenir sur l'évolution chimique soit dans le sens de la stabilisation, soit dans le sens de la dégradation programmée.
- de prévoir scientifiquement, dans des cas simples, la durabilité sur des périodes allant jusqu'à 25 ans.

### Les moyens analytiques :

Ce sont l'utilisation des réactifs chimiques in-situ, les méthodes spectrales, les méthodes de caractérisations photochimiques et thermiques in-situ et la spectrophotométrie.

Deux exemples d'actions sont donnés, l'une sur le Polyamidon, l'autre sur le Silicone. Toutes les deux montrent qu'en partant d'une recherche fondamentale d'un matériau polymère, une multitude d'actions finalisées ont été créées.

Avant d'inviter les congressistes à visiter le C.N.E.P., **M. Robert Couvaud, Conseiller Régional représentant le Président du Conseil Régional d'Auvergne**, rappelle les axes mobilisateurs (Nutrition, Semences et Plants, Viande et Matériaux) mis en exergue par la Région lors de sa Session de décembre 1988.

Il informe que le Budget régional consacré à la Recherche devrait atteindre en 1990 5,9 MF soit plus de 11% par rapport à l'année 1989.

Il souhaite vivement que ce genre de manifestation scientifique soit mieux connue des médias afin de montrer l'intérêt de la recherche, ses résultats et surtout ses retombées économiques.

M. Couvaud remercie le C.A.R.T. pour son travail et l'assure de son soutien pour l'aider à défendre la recherche en Auvergne.

## LE CONSEIL RÉGIONAL ET LES LYCÉES

Depuis 1986, la Région exerce de larges compétences en matière de lycées publics.

A ce titre elle est responsable des travaux, de la rénovation, de la construction des lycées ainsi que du fonctionnement courant à l'exception des dépenses de personnel.

Dans une lettre du 30 novembre dernier, adressée aux élus, le Président du Conseil Régional d'Auvergne a mis en évidence l'effort exceptionnel de notre Région en faveur des lycées.

Des chiffres publiés il apparaît qu'en 1989 ce sont près de 115 millions de francs qui sont supportés par le Conseil Régional, malgré le versement de la 2<sup>e</sup> partie de la dotation exceptionnelle décidée par l'Etat en 1987. Au Total, pour les 4 années écoulées, plus de 251 millions de francs de dépenses pour les lycées ont été à la charge de la Région, ce qui représente une somme comparable au coût prévisionnel du nouveau lycée technologique de Clermont-Fd.

## 1840-1960 : LE TEMPS DU CANAL, DU FER ET DU CHARBON MONTLUÇON AU SIÈCLE DE L'INDUSTRIE

René BOURGOUGNON, Professeur honoraire d'Histoire et de Géographie ainsi que Michel DESNOYERS, Professeur agrégé de Lettres, viennent de rééditer aux éditions du "Koala" de Moulins, un ouvrage fort intéressant (prix : 290 F).  
 Un extrait de l'avant-propos en résumé bien le contenu.

*« C'est est 120 ans d'histoire montluçonnaise par l'image qu'évoque cet ouvrage. A côté de la "Vieille Ville" médiévale, naît vers 1840 un nouveau Montluçon issu de la Révolution Industrielle. Avec l'ouverture à la navigation du Canal en 1834, débute l'industrialisation de la ville.*

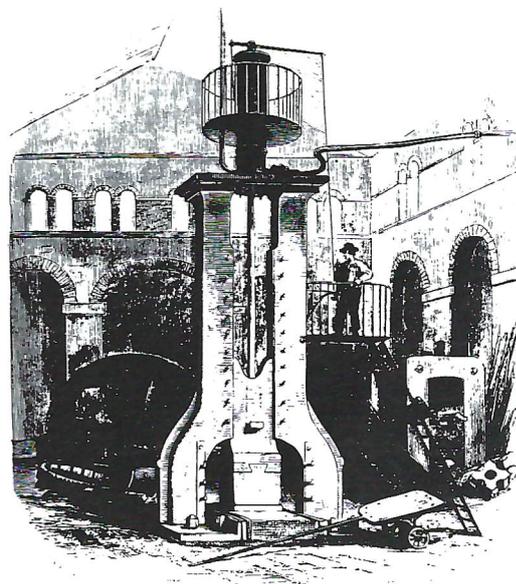
*Le minerai de fer arrivant du Berry, rencontre au bord du Cher le charbon descendu de Commeny par la route, puis par le chemin de fer.*

*Ainsi, comme pour toutes les nouvelles régions industrielles du XIX<sup>e</sup> siècle, l'établissement de nouvelles voies de communications a été déterminant dans la création des usines et le développement de la ville.*

*C'est au canal et au chemin de fer que Montluçon doit sa fortune... Mais la prospérité est fugitive : l'histoire industrielle depuis près de deux siècles est ponctuée par de graves crises cycliques, par des mutations souvent douloureuses aggravées et souvent même causées par les crises politiques, les révolutions, les guerres.*

*L'évolution continue des techniques, l'apparition de nouveaux produits, de nouveaux marchés, l'épuisement, la disparition des matières premières locales, l'éloignement des nouveaux gisements, l'emploi de nouvelles sources d'énergie : l'électricité, le pétrole, le gaz naturel, ont profondément modifié les conditions de la production industrielle et provoqué de grands changements étroitement liés aux bouleversements sociaux. A Montluçon, le siècle de l'industrie, c'est aussi le temps du fer et du charbon qui correspond exactement à l'existence, à la vie du Canal. Sa fermeture marque la fin d'une époque. Le comblement de son port dans les années 1960 coïncide avec le démantèlement des grandes usines métallurgiques et un profond changement dans le paysage urbain. C'est cette période de l'histoire montluçonnaise qui s'étend du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle au milieu du XX<sup>e</sup> que cet ouvrage évoque. Il n'a pas été conçu comme une histoire du Montluçon industriel, mais comme un recueil d'images et de documents commentés qui illustrent et expliquent cette histoire.*

Le Centre de Recherches d'Archéologie Industrielle et Urbaine, dont les auteurs sont parmi les principaux animateurs, poursuit cet effort de mise en valeur de ce riche patrimoine en vue d'un Musée de la Civilisation Industrielle dont on souhaite voir la prochaine création à Montluçon. Michel MERCIER



"Pilon de la Forge St-Jacques" (Gravure extraite de l'Album de E. Tudot).

### LE POINT SUR VOLCANIA

L'association "Volcans, Nature et Hommes" qui est à l'origine du projet Volcania, vient de publier une plaquette destinée à informer le public sur la situation actuelle de ce projet. Cette plaquette est en fait le premier numéro d'un bulletin d'information ("Volcania Info") qui paraîtra régulièrement à l'avenir. Il est apparu, en effet, nécessaire d'apporter au public des éléments d'information contrôlés, qui s'appuient sur des études documentées et objectives émanant d'organismes compétents. Les animateurs de V.N.H. aidés par l'ADASTA ont le souci de promouvoir, dans le respect du site, un ensemble scientifique sur le volcanisme qui s'adresse aussi bien aux scolaires qu'au grand public et qui soit de nature à créer en Auvergne, à proximité du carrefour dit "Européen", un pôle d'attraction culturelle et touristique de haut niveau, bénéfique pour l'économie et l'image de marque de notre région.

Au sommaire de ce numéro : un éditorial de Maurice Krafft ; le point de vue du Professeur J.-F. Lenat, Directeur du Centre de Recherches volcanologiques de Clermont-Fd ; "L'environnement" par J.-J. Bignon, ingénieur écologue ; "L'économie" par M. Paul Habouzit, Président de la Chambre du Commerce et d'Industrie Clermont-Fd/Issoire ; "Le Pourquoi" du projet par J.-P. Tixier, Président de VNH.

Pour recevoir la plaquette (ainsi que le dossier annexe où l'on pourra trouver le résumé des premières études) s'adresser à VNH, 63870 Orcines où à l'ADASTA en joignant un timbre de 3,80F.

R.J.

### UNIVERSITES :

#### L'ASSOCIATION NATIONALE DES ELUS REGIONAUX (ANER) MET L'ETAT DEVANT SES RESPONSABILITES

Dans un communiqué, daté du 10 janvier 1990, l'ANER qui regroupe 20 régions sur 22, jette un cri d'alarme sur la situation de nos Universités. "Aucune disposition n'a été prise pour entretenir un patrimoine profondément délabré et pour accueillir les étudiants dont chacun pouvait prévoir depuis plusieurs années la croissance des effectifs".

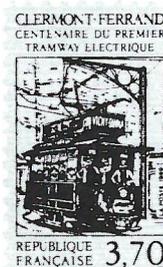
L'Etat se tourne vers les Régions pour leur demander de prendre en charge de nouvelles compétences, ce qui est parfaitement dans l'esprit de la décentralisation du pays et conforme à ce qui se passe dans les grands pays modernes.

Mais il va de soi que ce transfert de compétences doit être accompagné des ressources nécessaires correspondantes.

L'ANER est prête à ouvrir des discussions avec l'Etat sur ce sujet capital pour l'avenir de nos Universités. Il est probable qu'un débat aura lieu prochainement au Parlement.

### CENTENAIRE DU PREMIER TRAMWAY ÉLECTRIQUE

CLERMONT-FD ROULAIT  
 DÉJÀ EN TÊTE...



CLERMONT-FERRAND CENTENAIRE DU PREMIER TRAMWAY ÉLECTRIQUE  
 REPUBLIQUE FRANÇAISE 3,70

### CHRONIQUE

**Les tramways électriques de Clermont-Ferrand.** — Un tramway électrique vient d'être établi dans des conditions industrielles entre Clermont-Ferrand et Royat. Il doit desservir environ treize stations dont les extrêmes sont distantes de 7 kilomètres. Ce tramway offre cette particularité qui marque un pas nouveau dans l'utilisation des tramways électriques : un service particulier est établi entre différentes parties de la ville et la gare ; moyennant un léger supplément de 25 centimes, on accepte 50 kilogrammes de bagages par voyageur. L'installation comprend une machine à vapeur Farcot de 150 chevaux tournant à la vitesse angulaire de 50 tours par minute. Cette machine actionne une dynamo Thury à 6 pôles donnant 300 volts et 350 ampères à 575 tours par minute ; elle est excitée par une machine séparée, d'une puissance de 24 chevaux et donnant 75 volts à la vitesse angulaire de 1200 tours par minute. Une petite machine à vapeur Farcot commande spécialement cette deuxième dynamo qui sert également pour l'éclairage de la station des machines. Le courant ainsi produit arrive à la voiture par un câble aérien posé sur des poteaux ; le fil de retour est constitué par les rails. Les machines placées sous les voitures, sont également des dynamos Thury de 40 chevaux. Un commutateur permet de changer le sens de la marche. La vitesse normale du tramway électrique est de 12 kilomètres par heure.

Extrait de "La Nature" n° 866 du 4.01.1890

# INFORMATIONS REGIONALES

## LES ETATS GENERAUX DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET INDUSTRIELLE

Pendant trois jours, du 4 au 6 décembre 1989, 1100 participants ont suivi les conférences, débats et ateliers des Etats Généraux de la Culture Scientifique et Technique à la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette.

Tout le monde est convaincu de la nécessité de sensibiliser le pays aux problèmes de la Recherche et de la Technologie. Il est de plus en plus évident que le citoyen doit être en mesure d'intervenir en connaissance de cause dans les choix éthiques, stratégiques, écologiques et technologiques qui se présentent. Comme l'a souligné M. Pouzard, Délégué à l'Information Scientifique et Technique au Ministère de la Recherche et de la Technologie, cette culture ne doit pas être l'apanage de certains. "La survie des libertés fondamentales est liée à la capacité de la Société de développer en son sein une véritable culture scientifique et technique".

### Les projets pour 1990

En Auvergne, de nombreux projets vont profiter de l'impulsion des Etats Généraux pour se développer avec l'aide notamment du Ministère de la Recherche et de la Technologie représentée en Auvergne par Monsieur le Professeur Pariset.

Des expositions comme "L'outil, l'intelligence du geste" au musée Crozatier du Puy-en-Velay ont déjà vu le jour ; toujours au musée Crozatier, on pourra voir une nouvelle présentation de la remarquable collection de mécanique Alexandre Clair ; des projets d'action éducative à caractère scientifique sont programmés dans les établissements scolaires ; la "Route des Sciences et Techniques" permettra à de nombreux élèves de visiter lycées techniques, laboratoires de recherche et entreprises ; des circuits touristiques "Sciences et Techniques" seront proposés.

Pour sa part l'ADASTA contribue efficacement à cette dynamique comme on le verra par ailleurs, avec notamment des visites d'usine et de centres de recherche, le radiotélescope de Nançay et le CERN à Genève, le CETIM à Saint-Etienne,...

L'ADASTA présentera également en mai, dans la salle municipale P. Laporte du Centre Jaude à Clermont-Fd, une exposition sur l'astronomie, réalisée avec l'Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne. Cette exposition sera ensuite présentée dans diverses villes de la Région.



Une des nombreuses photographies du ciel profond que vous pourrez voir à notre exposition de mai 1990 au Centre Jaude à Clermont-Ferrand :

*La galaxie d'Andromède (M 31) prise depuis la chaîne des Puys par Stéphane Anglaret (Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne).*

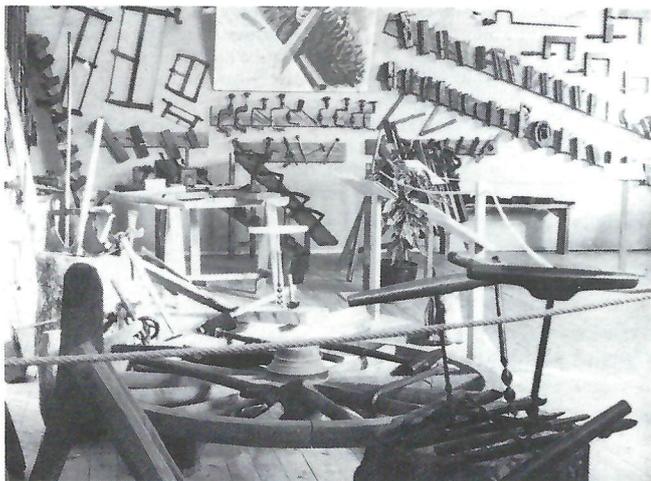
*Cette galaxie est située à plus de 2 millions d'années-lumière et son diamètre est de 100.000 années-lumière ; deux galaxies satellites de M 31 sont visibles : M 32 à gauche, très proche d'un bras spiral, et NGC 205 en bas à droite. Les étoiles disséminées sur le cliché appartiennent toutes à notre propre Galaxie.*

## LES EXPOSITIONS EN HAUTE-LOIRE

Les Etats Généraux de la Culture Scientifique et Technique avaient pour but de sensibiliser le public à l'importance que revêt de nos jours le développement des connaissances dans ces domaines. En Haute-Loire, il faut souligner le dynamisme de villes comme Brioude et le Puy-en-Velay.

Du 27 janvier au 4 février s'est tenue à la mairie de Brioude une exposition de "modèles animés meccano". "Meccano" avait été conçu au début du siècle pour initier les jeunes à la mécanique et susciter parmi eux des vocations d'ingénieur. L'exposition de Brioude a retracé l'histoire de cette technique qui nous conduit de la mécanique à la robotique.

Au musée Crozatier du Puy-en-Velay, on pourra visiter jusqu'au 1<sup>er</sup> mai l'exposition : "L'outil, l'intelligence du geste". Mille objets appartenant à un collectionneur particulier ont été réunis grâce à l'action conjuguée de M. Fromentin, Directeur de la Préfecture de la Haute-Loire et des Chambres des métiers du Puy-en-Velay et du Gard. A noter que la visite est gratuite pour les groupes scolaires.



Vue de l'exposition : "L'outil, l'intelligence du geste" (Musée Crozatier au Puy-en-Velay).

## EXPOSITION D'ASTRONOMIE A CLERMONT-FERRAND

L'ADASTA et l'AAAA (Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne) présenteront une exposition d'Astrophotographie au Centre Pierre Laporte (Salle municipale du Centre Jaude) à Clermont-Fd au mois de mai 1990. Cette exposition regroupera pour l'essentiel : des documents réalisés par les membres de l'AAAA, des instruments d'observation, des expériences d'optique réalisées par l'ADASTA ainsi qu'un planétarium qui permettra au public de s'initier à l'observation astronomique. *Des animateurs de l'AAAA et de l'ADASTA seront à la disposition du public.*

## BIBLIOGRAPHIE

### "LE GUIDE DU PATRIMOINE INDUSTRIEL, SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE"

Les éditions de Manufacture viennent de publier un ouvrage qui fait le point sur le patrimoine industriel scientifique et technique de notre pays.

Les musées à caractères scientifique et technique se multiplient depuis un quart de siècle. On a, en même temps, créé de nombreux itinéraires destinés à mieux faire connaître et à mettre en valeur notre patrimoine dans ce domaine. Une ville comme Mulhouse possède plusieurs établissements de premier ordre (impression sur étoffe, automobile, chemin de fer, énergie).

Notre région possède plusieurs musées de ce type qui présentent un grand intérêt : le musée historique du papier (Moulin Richard de Bas près d'Ambert) ; le musée Agrivap (monde rural) à Ambert ; le musée municipal de la Dentelle (Arlanc) ; la maison consulaire (Aurillac) ; les musées J.-B. Rames et

H. de Parieu (Aurillac) ; le musée Lecoq (Clermont-Fd) ; le musée du Canal du Berry (Hérison) ; l'Ecomusée de la Margeride (à Loubaresse, Cantal) ; le Centre d'enseignement de la Dentelle au fuseau (Le Puy-en-Velay) ; le musée Crozatier au Puy-en-Velay (un des plus riches de la région) ; le musée des Arts et traditions populaires (Riom) ; le musée de la Poste à St-Flour ; la maison des Couteliers à Thiers (un des plus intéressants de la région) ; le musée de la Photographie à Usson ; les musées des Fossiles à Menat ; le musée du Phonographe à Lanobre, ...

C'est le Délégué du Ministre de la Recherche en Auvergne, ardent propagandiste des itinéraires scientifiques et techniques, M. Christian Pariset, qui a présenté l'Auvergne dans cet intéressant recueil.