Le courrier du CNRS 59

Auteur(s) : CNRS

Les folios

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

52 Fichier(s)

Les relations du document

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

Citer cette page

CNRS, Le courrier du CNRS 59, 1985-03

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

Consulté le 16/12/2025 sur la plate-forme EMAN :
https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152

Présentation

Date(s)1985-03
Mentions légalesFiche : Comité pour l'histoire du CNRS ; projet EMAN Thalim (CNRS-ENS-Sorbonne nouvelle). Licence Creative Commons Attribution – Partage à l'Identique 3.0 (CC BY-SA 3.0 FR).
Editeur de la ficheValérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Information générales

LangueFrançais
CollationA4

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Informations éditoriales

N° ISSN0153-985x

Description & Analyse

Nombre de pages52
Notice créée par Valérie Burgos Notice créée le 05/10/2023 Dernière modification le 10/12/2024

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

LE COURRIER DU CNRS

59

DOSSIER :

L'ÉVOLUTION BIOLOGIQUE

Bimestriel – Janvier-Mars 1985 – 19 F

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CONTENTS N° 59

Editorial. Goéry Delacôte

5
The paths of science

Future perspectives for the CNRS.
Conclusions of a prospective study to be included in the main priority scientific objectives of the CNRS three-year plan and the means available to achieve them.

8 Michèle Dastugue-Hannetelle
Dialogue

Interview with Jean-Pierre Vernant.
A fresh look at ancient Greece and our own civilisation.

14
Discussion

Biological evolution.
Introduction. Roger Monier

For the development of research into evolution.
The fact that evolutionary research is poorly perceived shows that mental attitudes, which should have changed since Darwin's *The Origin of Species* was published in 1859, must be modified. Louis Thaler

Current understanding of evolutionary theories.
After Darwinism, Neo Darwinism and mutationism, the synthetic theory is currently the only truly scientific theory of the mechanisms of evolution. Jean Génermont

Is it possible to be a creationist today?
Religious convictions which, even today, follow the sacred texts word for word, are confronted with evolutionism, which, although it has not been proved "mathematically", provides the best explanation for many otherwise unaccountable phenomena. Jean Génermont

A new concept of speciation and its consequences for the interpretation of evolution.
The new theory of polyphased sequential evolution reconciles the biological and palaeontological approaches which have long been opposed. Jean Chaline

Ecosystems and evolution.
Species' evolution can only be fully understood with references to ecosystems' organisation and coevolutive processus.
True comparative ecogenetics would give a better understanding of how the structural and functional diversification of ecological systems leads to the genetic diversification of populations.
Patrick Blandin et Maxime Lamotte

The role of chance in evolutionary mechanisms.
The complexity and diversity of genetic readjustments makes them unpredictable and results in what might be called chance events.
Maxime Lamotte

Molecular evolution of populations and species.
This article discusses the main principles of the evolution of species and populations in the light of the available molecular data.
François Bonhomme

The evolution of sex, an exemplary problem.
Evolutionists stress the different roles of sexual and asexual reproduction in species selection and maintenance.
Pierre-Henri Gouyon

Human evolution - 1985.
Progress in genetics confirms the theory for the single animal origin of the human species.
André Langaney

42
Research report

The Lidar to probe the atmosphere.
Applications of the laser in the fields of pollution, meteorology and the physics of the atmosphere.
Marie-Lise Chanin

46
Researchers with the young

Local prehistory: research and didactics.
Prehistory and the child.
Education to make young school children from two villages in Brittany aware of their environment and prehistory.
Pierre Gouletquer

49
International cooperation

Fundamental research organisations in the United States.
Research in the U.S. has a different structure than in France. The main organisations, which are financed principally by the state, are presented here, together with their research programs and an explanation of how they function.
Albert Lumbroso

53
Itineraries

Marie-France Vigneras: A feminine approach to mathematics.
Nicolas Darbon

54
The CNRS Editions

Points of view on... Jean Bourdon, Bernard Dormy, Christiane Grappin, Jean-Louis Quermonne

Bibliography.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

CNRS
Délégation du Siège
Service Logistique
Dépôt des Archives - Bâtiment 19
1, avenue de la Terrasse
91190 Gif-sur-Yvette
Tél : 01 69 82 [illegible]

LE COURRIER DU CNRS

SOMMAIRE N° 58

4
Éditorial. Goéry Delacôte

5
Les chemins de la science
Le CNRS en perspective. Michèle Dastugue-Hannetelle

8
Dialogue
Entretien avec Jean-Pierre Vernant
Un autre regard sur la Grèce ancienne et sur notre civilisation.

15
Flash actualités

14
Débats et positions
L'évolution biologique.
Introduction. Roger Monier

14
Pour un développement des recherches sur l'évolution. Louis Thaler

16
Le point sur les théories de l'évolution. Jean Génermont

22
Peut-on être créationniste aujourd'hui ? Jean Génermont

23
Une nouvelle conception de la formation des espèces et ses conséquences dans l'interprétation de l'évolution. Jean Chaline

25
Écosystèmes et évolution. Patrick Blandin et Maxime Lamotte

33
Intervention du hasard dans les mécanismes de l'évolution. Maxime Lamotte

34
Évolution moléculaire des populations et des espèces. François Bonhomme

38
L'évolution du sexe, un problème exemplaire. Pierre-Henri Gouyon

39
Évolution humaine 1985 André Langaney

42
A la recherche
Le Lidar pour sonder l'atmosphère. Marie-Lise Chanin

46
Chercheurs-jeunes : à la rencontre.
Préhistoire locale : recherche et didactique.
La préhistoire et l'enfant. Pierre Gouletquer

49
Coopération internationale
Les organismes de recherche fondamentale aux États-Unis. Albert Lumbroso

53
Itinéraires
Marie-France Vigneras : les mathématiques au féminin. Nicolas Darbon

54
Les Éditions du CNRS

54
Point de vue sur... Jean Bourdon, Bernard Dormy, Christiane Grappin, Jean-Louis Quermonne

55
Bibliographie

Page 1 de couverture
Faisceau laser émis dans l'atmosphère lors de sondage par diffusion Rayleigh. ©Observatoire de Haute Provence ; voir article page 42.
Page 4 de couverture
Chez le Thym (Thymus vulgaris L.) des individus hermaphrodites (à grosses fleurs contenant des étamines et un ovaire) et femelles (à petites fleurs dépourvues d'étamines) sont observés dans les populations naturelles en proportion variant de 5 à 95 %. L'étude de l'écologie de ces populations a permis de mieux comprendre les mécanismes de l'évolution du sexe. (© Gouyon) ; voir article page 38.

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

Directeur de la publication : Goéry Delacôte - **Rédacteur en chef :** Véronique Brossillet-Condé - **Secrétaire de rédaction :** **La vie des laboratoires :** Dominique Coudert - **Entretiens :** Monique Mounier

Comité de rédaction : Robert Barbault, Jean Bourdon, Georges Chapouthier, Bernard Dormy, Claire Dupas, Max Fontet, Catherine Fuchs, Philippe Genêt, James Hiebert, Louis Jaureau, Claudine Laurent, Jean Leca, Jacqueline Mirabel, Jean Montuelle, Janine Rondest, Dominique Simonnet, Hervé Théry, Maryvonne Tissier

Membres correspondants : Nadine Chalem-Gouarin, Gérard Lilamand, France Normand-Passas

Abonnement et vente au numéro. Le numéro : 19 F. Abonnement annuel : 70 F - 90 F pour l'étranger (voir bulletin d'abonnement pp. 27-30 pour l'année 1985). Tout changement d'adresse doit être signalé à la rédaction. Revue bimestrielle comportant cinq numéros par an. Nous remercions les auteurs et les organismes qui ont participé à la réalisation de ce numéro. Les intertitres et les chapeaux introductifs ont été rédigés par la rédaction. Les textes et illustrations peuvent être reproduits sous réserve de l'autorisation du directeur de la publication. Direction artistique : M.B.S.A. Réalisation : Roto-France Impression, boulevard de Beaubourg, Emerainville, 77200 Torcy. C.P.A.D. 303 - ISBN 2-222-03668-8 - ISSN 0153-965 X. ©Centre national de la recherche scientifique.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

EDITORIAL

Voici le premier numéro d'un "nouveau" *Courrier du CNRS*. Le titre reste, le contenu et la forme évoluent. Pourquoi cette évolution et comment va-t-elle se manifester ?

Depuis ma prise de fonction au CNRS comme directeur de l'information, j'ai eu à maintes reprises l'occasion de me retrouver au sein de petits groupes de chercheurs. A chaque fois, je leur demandais de nous décrire la nature de leurs activités, leurs méthodes de travail, leurs tentatives de communiquer ces informations à des non-spécialistes. A chaque fois, la discussion fut passionnante, révélatrice de talents, d'expériences, de vies de chercheurs d'une richesse tout à fait remarquable. A chaque fois, il est apparu que ces échanges étaient souhaités et encore trop peu répandus, qu'ils étaient à la fois agréables et utiles, et que toute tentative de faire se rapprocher les différentes composantes du monde de la recherche conduisait à un décloisonnement générateur de coopération et parfois même d'idées nouvelles.
C'est un peu ce que cherche à faire le *Courrier du CNRS* : faire connaître aux uns et aux autres, mais aussi à l'extérieur, l'extraordinaire richesse, diversité et fécondité des activités scientifiques du CNRS ; assurer ainsi un peu mieux la cohérence de cette grande maison, qui ne mesure pas toujours à leur juste valeur ses propres ressources, ses capacités de chercher, de valoriser, de former, de communiquer.
A partir de ce numéro du *Courrier du CNRS*, nous tentons de nous rapprocher un peu plus encore de ces objectifs en introduisant quelques rubriques nouvelles.
Tout d'abord le dossier.
Il rassemble plusieurs articles sur un thème pour lequel il y a débat scientifique national ou international. Aujourd'hui, l'évolution, demain la naissance du langage, etc. A l'occasion les idées scientifiques s'opposeront, les enjeux seront explicités, les lecteurs seront appelés à réagir. Sur cinq numéros annuels quatre présenteront un dossier, le dernier étant tout entier consacré à un thème, comme celui sur les neurosciences, en 1984, magnifiquement traité par leurs auteurs et celui, à venir, qui rapportera de nombreux exemples récents et concrets (automne 1985) de la valorisation au CNRS.
Puis une rubrique de politique scientifique avec un point régulier sur les réflexions et les actions menées par le CNRS dans ce domaine. Cette fois-ci, le compte-rendu du travail en profondeur mené par l'ensemble de la direction sur l'évolution du CNRS, à l'occasion de son séminaire de rentrée, désormais annuel, tenu à Garchy.
Une rubrique internationale permettra de mieux connaître les conditions et les résultats de nos actions internationales ou de se familiariser avec les grands systèmes de recherche des pays étrangers. Nous commençons avec une description de la recherche américaine et de ses structures. La recherche allemande devrait suivre.

Bien entendu, nous continuerons de présenter dans la rubrique "A la recherche" des recherches menées par nos équipes en les situant chaque fois dans un contexte plus large, national et international.
Un recensement en cours nous permettra de discerner les lacunes passées, les domaines dont le *Courrier du CNRS* n'a pas encore traité et bien entendu les domaines en émergence qui retiendront notre attention.
L'ouverture du CNRS se traduit désormais par de multiples actions de contact avec le public et plus particulièrement avec les jeunes. La mise en relation des chercheurs et des jeunes lycéens est en bonne voie. Nombreux sont les collègues du CNRS qui se sont portés volontaires. Les relations sur le terrain commencent à exister. Elles prendront vraiment leur essor à la rentrée 1985. Nous souhaitons ouvrir une rubrique qui portera témoignage de ces échanges et permettre d'en évaluer la portée.
Un portrait de chercheur, exercice difficile par ses écueils – ni hagiographie, ni anecdote – mais passionnant par ce qu'il peut révéler des rapports des chercheurs à leur activité scientifique, viendra émailler les prochains numéros. Nous commençons par celui d'une mathématicienne, médaille d'argent 1984 du CNRS. A cet égard on mesure parfois la difficulté de communiquer, simplement, l'activité de certaines disciplines. Les mathématiques en sont un exemple typique qui n'exclut pas quelques réussites.
Bien entendu, l'interrogation de personnalités marquantes de la recherche ou proches d'elle continuera d'enrichir fortement notre réflexion.
A preuve, l'entretien avec J.-P. Vernant, suivi bientôt d'un autre avec J. Brossel, tous deux médailles d'or du CNRS en 1984.
Enfin, l'actualité sera un peu plus présente :
– par le supplément décrivant la vie des laboratoires, obligatoirement plus technique,
– par une rubrique d'actualités récentes forcément partielle,
– par une rubrique alimentée de l'extérieur : cette fois-ci un journaliste scientifique nous interroge,
– par une représentation signée de quelques produits du CNRS, livres, films, etc., n'hésitant pas à souligner points forts et points faibles de ces produits.
Ce premier nouveau numéro du *Courrier du CNRS*, de maquette modifiée et de contenu réorganisé, reflète à la fois le souhait de la direction générale et l'effort du comité et de l'équipe de rédaction de disposer d'un document plus vivant au service de la recherche et du CNRS. Vos réactions, à vous lecteurs, nous seront précieuses pour soutenir ou infléchir encore cette orientation.

Goéry DELACÔTE
Directeur de la Publication
Directeur de l'Information Scientifique et Technique

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

LE CNRS EN PERSPECTIVE

En se réunissant en séminaire pendant deux jours à Garchy, les 14 et 15 septembre 1984, la Direction générale du CNRS a franchi une nouvelle étape dans sa réflexion interne "sur les orientations de la politique scientifique" qu'elle mène depuis deux ans.
La première expérience de ce type, à Amboise en septembre 1983, lui avait permis d'identifier des questions fondamentales pour l'avenir du CNRS.
Le séminaire de Garchy a été l'occasion de faire un premier bilan, d'évaluer le chemin parcouru (quelques-unes de ces questions ont été résolues), et de poser certains problèmes en termes nouveaux.

Michèle DASTUGUE-HANNETELLE Direction Générale

La réflexion scientifique.

• *Les grandes orientations scientifiques*

A Amboise un constat avait été fait : les réflexions prospectives qui avaient été menées jusque là, et qui avaient fourni de bonnes indications scientifiques, avaient souffert, outre qu'elles ne couvraient pas tout le champ des disciplines, de ne pas délivrer suffisamment de directives et de recommandations pour l'avenir. Nous devions attendre plus de conclusions pratiques des groupes de prospective afin de les inscrire dans les grandes orientations prioritaires de notre schéma-directeur à trois ans.

Le schéma-directeur intègre une double approche des priorités affichées par l'organisme : globale, qui tient compte du poids relatif des secteurs dans une perspective à moyen et long terme et l'idée de croissance différenciée pour trois départements dont la croissance doit être supérieure (Sciences Physiques pour l'Ingénieur, Sciences de la Vie), ou égale à la moyenne du CNRS (Sciences de l'Homme et de la Société) y a été introduite dès le schéma 84-86 ; thématique, sur des thèmes correspondant à des priorités nationales et sur des thèmes sectoriels ou intersectoriels dont l'intérêt est stratégique pour la recherche et qui devraient donner lieu justement à des travaux de prospective.

Une trentaine de thèmes prioritaires apparaissaient dans le schéma-directeur 84-86. Une vingtaine d'entre eux ont fait l'objet d'une étude approfondie menée tout au long de l'année par le comité de direction du centre : mathématiques, optique, sciences des matériaux, filière électronique, plasmas de fusion, sciences thermiques et énergétiques, génie des procédés de transformation, compréhension de la réaction chimique, nouvelles méthodes en sciences de la planète, télédétection, interaction chimie/biologie, biotechnologies, neurosciences, sciences de l'évolution, écosystèmes et systèmes

sociaux, sciences de la communication, emploi - travail, urbanisme et architecture, cycles de l'eau.

L'intérêt de ces discussions dans la structure collégiale du comité de direction permet d'avoir une photographie des grands débats scientifiques, de leur contexte international et permet de cerner les carences de l'effort théorique de l'organisme.

Quelques-uns de ces thèmes ont déjà été discutés au sein de groupes de travail qui ont remis leurs conclusions, ou sont sur le point de le faire (optique, mathématiques, interface chimie/biologie, génie chimique, neurosciences et informatique, sciences de la communication). Pour d'autres, le séminaire de Garchy a été l'occasion d'une première présentation et le point de démarrage d'autres travaux de prospective : télédétection, nouvelles méthodes et techniques en sciences de la terre, évolution,* écosystèmes et systèmes sociaux...

L'ensemble de tous ces thèmes sera examiné par les sections du comité national dès la session de printemps 1985. Car s'ils sont le reflet de priorités à intégrer dans le schéma-directeur, ils soulèvent aussi des problèmes de frontières entre départements dont il faut débattre dans la perspective d'un nouveau redécoupage du comité national en 1986.

• *La prospective*

La nécessité de la "prospective" pour l'avenir des grandes thématiques du CNRS qui avait été largement intégrée dans les conclusions d'Amboise, a été de nouveau évoquée à Garchy, car il est clair désormais que pour un organisme de recherche comme le CNRS la prospective constitue l'élément essentiel d'une politique scientifique. Et c'est pourquoi à côté du schéma-directeur à trois ans, exhaustif en ce qui concerne les grandes orientations scientifiques du CNRS, et les moyens pour les réaliser**, il est apparu important d'élaborer un autre document qui donnerait un coup de projecteur sur des domaines scientifiques en pleine évolution et expliciterait les orientations prioritaires du CNRS jusqu'à la fin de la décennie. Son but sera d'expliquer ce qui, pendant cinq ou sept ans, va être l'objet d'actions conjoncturelles prioritaires au sein de départements ou dépassant les frontières de ces derniers, et d'annoncer les intentions à long terme de l'organisme dans un certain nombre de domaines intéressants et importants.

Ce "schéma prospectif à 5/7 ans" permettra de diffuser à l'extérieur de l'organisme, un texte homogène, plus informatif sur les buts que poursuit le CNRS en politique scientifique (choix d'une vingtaine de domaines prioritaires, projets en grands équipements, innovations structurelles) et en politique d'emploi, et plus facile à lire que le schéma-directeur. Ce document sera présenté lors de la nouvelle journée nationale du CNRS le 23 avril 1985.

Le CNRS entend continuer à mener une démarche prospective, en lançant d'une part d'autres réflexions, en particulier sur les bioconversions, le génie géophysique..., et d'autre part en intégrant mieux les travaux de la cellule d'évaluation et de prospective (CEP) de la Direction des Relations et de la Coopération Internationales à ses réflexions sur les grandes orientations de la recherche. La prospective doit aussi permettre de confronter les apports de la recherche

* Un dossier de ce même numéro du *Courrier du CNRS* est consacré à ce thème.

** Un nouveau débat en comité de direction depuis le séminaire de Garchy a souligné la nécessité de traduire au niveau des budgets des départements le cheminement des priorités sectorielles et thématiques.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

pour répondre aux besoins économiques et sociaux, c'est-à-dire à la "demande de recherche" de ses partenaires. Sur le thème de la demande sociale, sur lequel le séminaire d'Amboise avait beaucoup insisté, il semble que le CNRS en tant qu'institution ne met que trop partiellement sa capacité d'analyse et de compréhension des faits économiques et sociaux au service d'une recherche sur le développement profond de la société. On pourrait imaginer que le CNRS soit davantage une institution "vigie", diagnostiquant, évaluant les mutations de notre société dans toutes leurs dimensions : économiques, sociales, culturelles, industrielles, scientifiques ou technologiques. C'est sur ce terrain priviligié que se sont rencontrées les démarches du CNRS et du Commissariat général du Plan qui vont aboutir à l'automne 1985 à l'organisation conjointe d'un colloque de prospective pour relancer ensemble, mais avec d'autres partenaires, une réflexion prospective sur les enjeux scientifiques et technologiques pour des stratégies de recherche et pour le développement économique et social du pays.

Les mutations organisationnelles nécessaires

A Amboise la confrontation des points de vue sur chaque thème de recherche "carrefour" avait renforcé l'idée de l'utilité de créer des groupes ad hoc ou "programmes intégrés" pour coordonner des actions entre départements que, faute de mieux, nous avions rapidement intitulé "task-force". Cette doctrine s'est petit à petit élaborée "sur le terrain", plus particulièrement dans le domaine des biotechnologies intéressant trois départements (sciences de la vie, sciences physiques de l'ingénieur, chimie).

Un long débat à Garchy a permis de repréciser les leviers dont dispose l'organisme en matière d'interdisciplinarité :

– Les Actions Thématiques Programmées (ATP) et Actions Spécifiques (ASP), actions modestes, et ponctuelles. Il n'y a pas réellement d'innovations à y apporter, mais une réflexion particulière en cours sur les ATP devrait permettre de mieux les faire fonctionner.

– Les actions de recherche intégrée (ex-programmes intégrés). Des actions entre départements sont indispensables dans un certain nombre de domaines afin de coordonner leurs programmes, les aider à créer ensemble de nouveaux laboratoires. Ce sont en quelque sorte des délégations communes à ces départements pour gérer des moyens, évaluer et lancer des programmes. Les départements déléguent l'animation d'une politique et la mobilisation d'un potentiel à structure légère, un responsable et un comité scientifique d'orientation (auquel doivent s'adjoindre la Direction de la programmation et de la prévision budgétaire et la Direction de la valorisation et des applications de la recherche pour examiner leurs programmes et le budget).

Au cours du dernier trimestre 1984 deux nouvelles actions de recherche intégrée ont été lancées : chimie/biologie et télédétection. Une nouvelle action va être créée en sciences de la communication en ce début d'année 1985. Celles-ci s'ajoutent à l'Action intégrée sur les biotechnologies lancée en 1983.

– Les programmes interdisciplinaires. Sous peine de devenir une confédération très lâche, le CNRS ne peut pas se contenter de fonctionner pour sa politique scientifique avec une seule structure départementale qui est verticale et qui risque de créer des cloisonnements de plus en plus imperméables. De plus le scénario que nous avions retenu à Amboise d'engager le CNRS dans des opérations de recherche finalisée et de tenir compte dans ses programmes de besoins économiques et sociaux (20 à 25 % environ des activités du CNRS) nous conduit à avoir une recherche sur objectifs et donc des agences d'objectifs internes qui peuvent mobiliser les laboratoires sur des programmes. Nous sommes ainsi amenés à dégager une doctrine pour ces actions sur objectifs et la coordination thématique des départements.

Nous avons donc besoin d'un nombre limité de véritables agences d'objectifs internes au CNRS, ce sont nos Programmes interdisciplinaires de recherche (PIR) : ils ont une autonomie par rapport aux départements étant rattachés directement au Directeur général. Ils mobilisent les laboratoires des départements en accord avec eux sur des thèmes d'intérêt commun.

Leur existence devrait être liée le plus souvent à un programme national du Ministère de la recherche et de la technologie (MRT) répondant à une demande nationale scientifique et technologique. Ils reçoivent délégation du Directeur général pour parler au nom du CNRS et agissent en coordination étroite avec les départements qui doivent désigner un chargé de mission auprès du directeur du PIR. Ils ont un budget dans l'enveloppe du fonds d'intervention sur programmes, complété par les départements et éventuellement la réserve.

Il faut à tout le moins se garder d'alourdir le système : c'est la raison pour laquelle on ne peut pas accroître le nombre de PIR. Quatre d'entre eux ont été confortés à Garchy : le PIRMAT, le PIREN, le PIRSEM, le PIRTTEM. Le PIRMED va être fusionné sous forme d'un axe "médicament" dans l'action de recherche intégrée chimie/biologie. Le PIROCEAN va l'être dans l'INSU avec un ou deux programmes spécifiques océanographie entre départements. Sans que le bien fondé de cette action soit remis en cause, le statut du PIRPSEV va faire l'objet d'un examen.

• *La coopération entre départements :*

Coordination, coopération, interdisciplinarité... les structures s'interpénètrent et s'interpénétreront de plus en plus. Comment prendre en compte ces nouvelles démarches ? Faut-il aller encore plus loin ? Une première analyse sur la coopération entre les départements a permis de se focaliser sur deux ou trois points qui ne nécessitent pas d'innovations institutionnelles : les ATP communes, les laboratoires en cotutelle, les interactions entre la direction de la valorisation et les autres départements scientifiques.

Le débat a montré qu'il était intéressant de renforcer les liaisons souples, sous forme d'ATP communes en impliquant davantage d'ailleurs les Sciences de l'homme et de la société. Il a paru tout aussi naturel que pour assurer la collaboration entre départements, les laboratoires propres, éléments essentiels de la politique du Centre, soient de plus en plus en cotutelle, cette cotutelle signifiant aussi financement en commun.

Si on peut penser que le CNRS arrive à cerner la demande socio-économique à court et moyen terme, il n'en est pas de même pour le long terme, les entreprises n'étant pas dans leur majorité d'accord pour "livrer" leur stratégie. Les résultats d'une étude en cours, fondée sur la synthèse des demandes exprimées par les entreprises dans des clubs CRIN ou lors des comités de coordination qu'elles ont avec le CNRS, seront communiqués aux unités par l'intermédiaire des sections du comité national. Un document inverse sur les percées scientifiques pouvant intéresser les industriels va être également réalisé cette année par la direction de la valorisation, car le CNRS se doit de savoir, quand il s'oriente vers des recherches finalisées, si l'industrie française sera preneuse des résultats.

• *La structuration des départements*

Faut-il au CNRS de grands ou de petits départements ? La réponse dépend largement de l'avenir que l'on imagine pour cet organisme.

La notion de département implique qu'ils aient de plus en plus la maîtrise d'une politique scientifique sur un champ homogène, des actions spécifiques pour favoriser des thèmes nouveaux et avoir aussi des moyens pour mener une politique de grands équipements. Tout cela plaide pour un CNRS avec des départements structurés et en interaction forte entre eux. En second lieu, les relations avec les autres organismes, qui se sont développées, exigent que leurs partenaires au sein du CNRS soient forts et non dispersés. Une autre de leurs contraintes est de maintenir le contact avec les unités. Et ceci est un inconvénient pour les grands départements sauf à avoir une hiérarchie avec un directeur scientifique et plusieurs adjoints. On arrive aujourd'hui à un nombre total de départements tel que l'on peut vraisemblablement penser que s'il doit y avoir une évolution, elle doit plutôt aller dans le sens de leur regroupement en un nombre plus faible. La situation disparate dans laquelle on se trouve n'est certainement pas très saine ; on pourrait songer à faire effectivement évoluer le système dans la mesure où il ne fonctionnerait pas bien ; or il fonctionne relativement bien : les relations sont bonnes entre les responsables des départements et le Directeur général, et entre les responsables et leurs laboratoires. L'augmentation de la taille des départements bouleverserait ces règles coutumières. S'il n'est certainement pas opportun de bouleverser les départements, il faut veiller à ce qu'il y ait au niveau des directions scientifiques des conseillers et chargés de mission de bon niveau, bien au fait de la politique du département et de l'organisme et qui

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

permettent aux directeurs scientifiques de préserver ce contact avec les directeurs d'unités, car le poids de leurs relations est un point fort du CNRS. Les départements vont être aidés désormais par un adjoint administratif qui sera aussi un relais important vers les unités*.

• *Les frontières entre départements*

Il est clair que l'importance prise par certains enjeux scientifiques n'est pas sans incidence sur l'organisation interne du CNRS et le séminaire de Garchy a permis d'amorcer une première réflexion sur les modifications éventuelles de "frontières" entre départements et sur le futur découpage du Comité national.

Il est effectivement nécessaire de changer certaines frontières entre les départements car les champs scientifiques évoluent, il faut en tenir compte et donc les renormaliser ; il est bon de changer de temps en temps les systèmes de référence des règles du jeu "pour bousculer les habitudes" ; des changements peuvent faciliter une politique scientifique en favorisant des collaborations entre disciplines (approches interdisciplinaires) séparées indûment par une frontière entre départements.

Le point le plus délicat est le problème de la finalité interdisciplinaire : regrouper les différents aspects de thèmes interdisciplinaires, soit dans un même département, soit dans une même section, ce serait couper tous les acteurs de ce genre de recherche de leur base de recherche fondamentale et cela reviendrait à moyen terme à couper le CNRS en deux parties, l'une très fondamentale, l'autre plus finalisée. Il faut avoir au CNRS des structures principales qui restent essentiellement scientifiques et d'autres surstructures qui agissent en tant qu'agences d'objectifs.

Le découpage du Comité national pose des problèmes complexes et nécessite une consultation qui aura lieu courant 1985. Une méthode de travail a été adoptée : une première discussion a été lancée au niveau des conseils de départements en décembre 1984 et janvier 1985 ; un groupe de travail, dont la présidence est assurée par M. Yoccoz*, a été créé afin d'examiner les changements éventuels de géométrie et de restructuration des sections, ou la création de nouvelles sections. Ce groupe vient de présenter ses premières propositions au comité de direction, les sections du Comité national et le conseil scientifique en débattront à l'automne 1985, la direction du CNRS présentant ses conclusions ensuite à la fin de l'année au Ministre de la recherche et de la technologie.

L'avenir par les hommes.

L'avenir de la recherche, et donc de notre organisme, dépend essentiellement des hommes qui la feront. Ainsi que l'avait souligné M. Laurent Fabius dans son discours à l'exposition "Communication", le problème de l'emploi scientifique est très important pour l'avenir et devrait sans doute constituer le noyau dur d'une seconde et future loi d'orientation et de programmation de la recherche. M. Hubert Curien dès son arrivée au Ministère de la recherche et de la technologie a indiqué combien il était attaché à ce problème et a demandé aux principaux organismes de lui faire des propositions.

A Garchy les principales conclusions et propositions d'un groupe de travail animé par la Direction du personnel et des affaires sociales, la Direction de la valorisation et des applications de la recherche et la Direction de la programmation et de la prévision budgétaire sur l'évolution de la population des chercheurs CNRS de 1984 à l'an 2000 ont été présentées.

Différentes simulations ont été faites à partir de la pyramide d'âge observée à la fin de 1983, le but de ces simulations étant de rechercher les scénarios permettant d'embaucher 450 chercheurs par an en minimisant les créations de postes. Pour diminuer le nombre de créations de poste (le poids de la masse salariale dans le budget du CNRS, 70% en 1985, a atteint un maximum, la croissance budgétaire devant permettre d'accorder des moyens supplémentaires aux unités), trois types d'actions ont été étudiés : retraite anticipée entre 60 et 65 ans ; incitation à la mobilité, par départ supplémentaire avant la retraite en sus des quelque 130 départs observés chaque année en moyenne ; création de postes de "post doct" : recrutement de jeunes chercheurs à durée limitée.

Leurs effets ont été étudiés séparément. Puis plusieurs simulations ont été faites portant sur des combinaisons de ces trois types d'action.

Un plan d'action optimal semble être une combinaison de création de "post doct" et d'actions volontaristes pour favoriser la mobilité associée à un taux faible, mais non nul, de départ à la retraite anticipé. On peut espérer ainsi arriver à moins de 100 créations de postes annuels de 1986 à 1990, avec en contrepartie une augmentation de la population de plus de cinquante ans en l'an 2000 inférieure à 5%.

Les deux idées caractéristiques qui se sont dégagées ont emporté la totale adhésion du comité de direction :

– création de contrats "post doct". Cette procédure viserait à accueillir des chercheurs ayant passé leur thèse et qui feraient un passage à durée limitée (trois à quatre ans) dans l'organisme pour être ensuite embauchés par d'autres organismes et entreprises ayant besoin de cadres formés par la recherche, ou par l'enseignement supérieur. Il pourrait s'agir d'une population de chercheurs à statut différent effectuant un séjour court dans l'organisme en vue d'une autre carrière ; il faut noter qu'elle existe déjà dans la plupart des organismes étrangers. Tout à fait conscient des difficultés que cette solution pourrait soulever, cette proposition fait l'objet d'une étude juridique sérieuse par le MRT, en liaison avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et l'Education nationale qui ont les mêmes préoccupations.

Ces contrats pourraient plus particulièrement conserver les secteurs de pointe en liaison avec les laboratoires industriels.

• *Accroissement de la mobilité vers l'industrie :*

Cette mobilité peut être soit temporaire, soit définitive. A côté des mesures d'indications traditionnelles (information active auprès des laboratoires et des chercheurs sur les possibilités offertes, indemnité de départ d'une année de salaire pour les charges de recherche – un décret analogue à celui qui existait jusqu'à présent est en préparation et ses conditions actuelles d'application devraient être élargies –, connaissance des plans de recrutements des entreprises par le biais des accords cadres), une mesure a été adoptée qui consiste à afficher des postes "retour" avec possibilités de promotions au niveau directeur de recherche 2e classe. Cette procédure a été d'ores et déjà appliquée puisque cinq postes ouverts en 1985 ont été affichés pour des chercheurs ayant une expérience au minimum de deux ans dans l'industrie.

Dans la même perspective d'une programmation 1986-1990, le séminaire de Garchy a également engagé une réflexion sur les conséquences de ses orientations scientifiques en terme d'emplois d'ITA. Dans le but de réaliser un plan de redéploiement des postes d'ITA prévoyant des mesures de transformation d'emplois en faveur des catégories les plus qualifiées, plusieurs objectifs ont été retenus : création d'emplois fonctionnels pour prolonger l'échelle des ingénieurs au-delà de la hors classe des ingénieurs de recherche ; accroissement des effectifs d'ingénieurs de recherche, d'ingénieurs d'études et d'assistants ingénieurs ; diminution des effectifs des petites catégories ; renforcement des moyens administratifs des unités de recherche ; possibilité d'expérimenter et de développer une formule de "contrat de requalification" pour aider à la mobilité interne du corps des ingénieurs - techniciens - administratifs.

A Garchy, comme à Amboise, tout n'a pas été dit. Mais cette seconde étape dans la réflexion de la direction, pour essayer de mieux déterminer les enjeux et le fonctionnement de notre centre, a répondu dans une très large part à son attente. Il ne s'agissait pas cette fois-ci, comme pour la précédente, ni de bouleverser l'organisme, ni de "légiférer" impérativement pour les dix ans à venir, mais de jeter les bases de nouvelles réflexions nécessaires à son évolution dynamique.

La tenue d'un séminaire annuel est désormais entrée dans les mœurs du comité de direction. Cette année, il a été l'occasion d'inaugurer le centre national de formation permanente du CNRS à Garchy dont la création revêt, dans la conjoncture actuelle, une importance particulière. Tout naturellement, le comité de direction se réunira à nouveau l'an prochain dans ces mêmes lieux.

* La création de la fonction d'adjoint administratif aux directeurs scientifiques a été approuvée par le Conseil d'administration du 25 octobre 1984.

* M. Yoccoz a été directeur scientifique au CNRS, directeur de l'IN2P3, de janvier 1976 à novembre 1983.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Dialogue

ENTRETIEN AVEC JEAN-PIERRE VERNANT :

Un autre regard sur la Grèce Ancienne et sur notre civilisation

"Achille et Hector – comme Œdipe – sont aussi vivants dans notre mémoire collective que des hommes qui nous sont proches et contemporains".

Monique Mounier-Kuhn : — La Médaille d'Or que le CNRS vient de vous décerner met à l'honneur votre œuvre et à travers elle l'étude de l'Antiquité grecque. Pourquoi, au lendemain de la guerre, avez-vous choisi la Grèce ?

Jean-Pierre Vernant : — Les motifs d'un choix sont multiples et souvent obscurs. Dans mon cas, il me semble qu'ont joué des éléments fort divers : le choc que j'avais éprouvé, pendant l'été 1935, quand j'ai découvert la Grèce qu'avec mon frère et des amis nous parcourions à pied ; mon admiration pour la littérature grecque classique, en particulier pour Platon, dont l'œuvre me fascinait ; le sentiment aussi qu'en prenant pour terrain d'étude la Grèce ancienne, un chercheur politiquement engagé, comme je l'étais alors, dans un parti qui régentait la vie intellectuelle, disposerait d'une liberté d'esprit beaucoup plus grande que s'il travaillait dans le domaine de la vie contemporaine.

Au départ, ce que vous appelez "mon choix" n'en était pas tout à fait un. En prenant pour sujet de thèse *La notion de travail chez Platon*, je restais plus historien de la philosophie qu'helléniste. Progressivement, entraîné par le mouvement même de ma recherche, j'en suis venu à élargir le cadre de l'enquête et à m'interroger sur tout ce qui sépare le travail, tel qu'il se présente aujourd'hui dans sa forme de grande conduite sociale unifiée, des diverses activités laborieuses, que les Grecs distinguaient ou opposaient entre elles, en conférant à chacune d'elles des significations et des valeurs particulières. Et comme beaucoup de ces valeurs étaient religieuses, j'ai été conduit à m'intéresser à la religion et aux liens très étroits qu'elle entretenait avec les autres plans de la vie collective.

De l'histoire de la philosophie, j'avais dérivé vers une anthropologie religieuse de la Grèce.

Ceci dit, je me réjouis comme vous de ce qu'à travers la distinction dont j'ai fait l'objet, l'Antiquité grecque soit à l'honneur.

Sans l'apport des disciplines classiques traditionnelles : philologie, archéologie, épigraphie, papyrologie, rien de ce que j'ai entrepris dans une perspective anthropologique n'eût été possible. Au reste, l'image qu'on se fait souvent, même dans la communauté scientifique, du travail des hellénistes, ne leur rend guère justice. Il ne s'agit pas pour eux de gérer une tradition déjà fixée, d'ajouter leurs commentaires à ceux qui existent déjà. En découvrant, publiant, interprétant des documents nouveaux : textes, inscriptions, images, vestiges archéologiques de tous ordres, ils révèlent des aspects de la civilisation grecque jusque-là inconnus et qui entraînent parfois une profonde révision des idées reçues ; ils font un travail de "découvreurs", analogue à celui d'un paléontologue, voire d'un physicien, identique en tout cas à celui de ces orientalistes, qui, au cours du dernier siècle, ont fait émerger de la nuit où il était demeuré englouti le monde de Sumer.

Pour m'en tenir à la religion, je me limiterai à trois exemples : le déchiffrement récent du linéaire B des tablettes mycéniennes apporte la preuve qu'entre le XIVe et le XIIe siècles avant J.C., en Crète et dans le Péloponnèse, la plupart des grands Dieux grecs étaient déjà l'objet d'un culte, et parmi eux, Dionysos dont on faisait une divinité exotique, dont l'intrusion se serait produite à une date plus tardive, depuis la Thrace ou la Lydie.

De même, en montrant l'ampleur des changements qui s'amorcent sur tous les plans (démographie, métallurgie du fer, occupation et culture du sol), de la seconde moitié du XIe siècle jusqu'au IXe et qui conduiront à ce que Snodgrass appelait "la révolution structurelle" dont est issu ce type très particulier de vie collective que constitue la "cité-état", les archéologues nous invitent à reconnaître que la religion elle-même a dû être, vers le VIIIe siècle, réaménagée très profondément pour satisfaire à une double exigence : répondre au particularisme de chaque groupe humain, qui se place, avec son territoire, sous le patronage de ses propres

Procession sacrificielle en l'honneur d'Apollon – Cratère attique. Ve siècle avant J.C., musée de Ferrare. (clichés : André Held).

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

divinités poliades[1] ; mais instaurez, du même mouvement, par le moyen des grands sanctuaires, des jeux et du développement de la littérature épique, un panthéon et une culture religieuse communs à l'ensemble de l'Hellade.

C'est tout le système de la religion, remodelée et réorientée, qui se présente alors sous un jour nouveau où le religieux et le civique sont intimement liés. La découverte, enfin, dans les années cinquante, d'un poème cosmogonique d'Alcman, du VIIe siècle avant Jésus-Christ, puis tout récemment du papyrus de Derveni, montre que des cosmogonies déviantes par rapport à la norme hésiodique existaient dès l'âge archaïque et que celles qui se rattachaient au courant orphique circulaient en plein Ve siècle. On ne saurait donc les interpréter, comme on était porté à le faire, en fonction d'une mentalité religieuse propre à la période hellénistique.

Cette fois, c'est la place et le statut de la littérature orphique dans ses rapports avec le culte et la théologie officiels qui doivent être réexaminés.

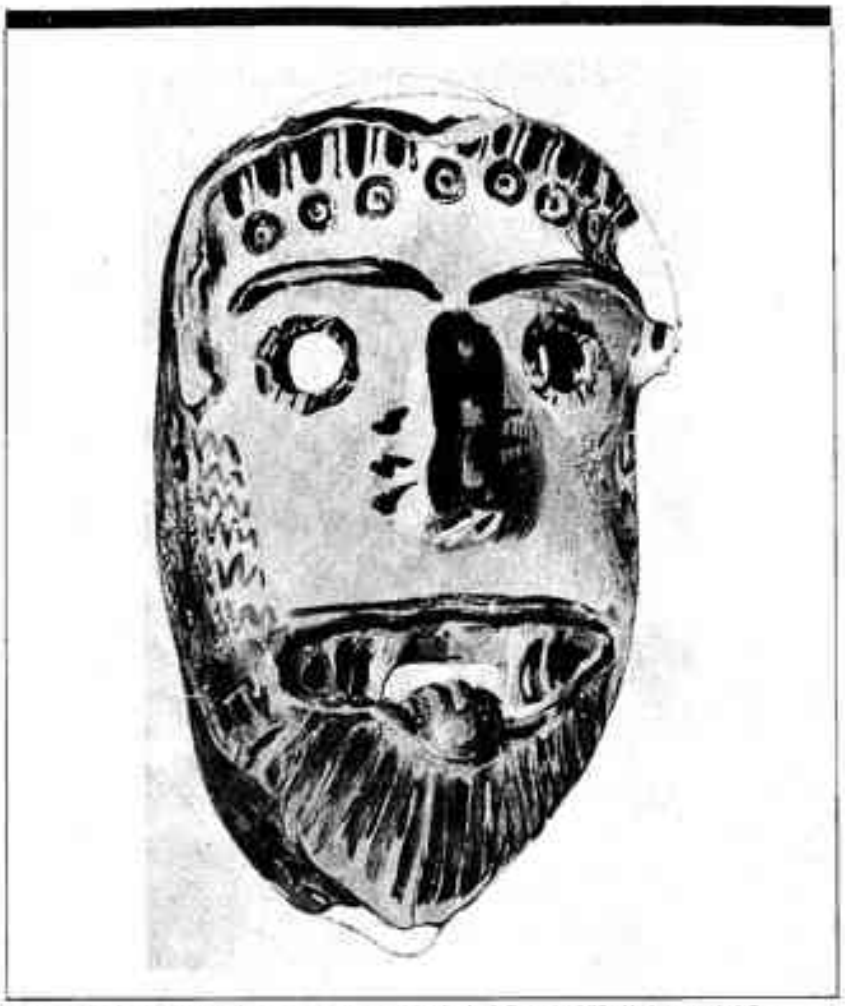
M.M.-K. — Quelles influences et quelles personnalités ont inspiré votre vocation ?

J.-P. V. — Deux maîtres m'ont marqué de telle sorte qu'aujourd'hui encore j'ai le sentiment de m'inscrire dans le droit fil de leur enseignement, de leur travail et de leur pensée : Ignace Meyerson, fondateur de la psychologie historique, qui dirigeait le *Journal de Psychologie* dont j'ai assuré longtemps, à côté de lui, le secrétariat de rédaction, Louis Gernet, remarquable helléniste, représentait, dans le domaine grec, comme Mauss pour l'ethnologie, ou Granet pour la Chine, ce qu'il y avait de meilleur dans la tradition sociologique de Durkheim.

Ces deux hommes, liés personnellement et intellectuellement l'un à l'autre, ne m'ont pas seulement appris mon métier de chercheur. Je leur dois, en dehors des connaissances qu'ils m'ont transmises, une certaine idée de la science et de l'éthique du savant. Meyerson disait : "On entre dans la recherche comme on entre en religion : on s'y adonne totalement. On ne doit faire aucune concession !"

J'ai été influencé aussi, de façon générale, par Marx. Dans l'approche des faits religieux ma dette est grande à l'égard de Georges Dumezil, comme elle l'est pour l'analyse des mythes à Claude Levi-Strauss. Mais comme je ne crois pas qu'il existe, pour les faits humains, d'explication unique, de "clef universelle", j'utilise tous les instruments disponibles s'ils me paraissent adaptés au problème que j'ai à résoudre. Je tâche seulement de comprendre. En ce sens, je serai assez d'accord avec ce que le directeur du "Center of Hellenic Studies" de Washington, Bernard Knox, écrivait de moi en mai 1983 dans *The New York Review* : "c'est un structuraliste "éclectique" aussi prêt à utiliser les trois fonctions indo-européennes de Dumézil que les oppositions binaires de Levi-Strauss (ou à les combiner) ; il a appris de Marx comme de Gernet, Mauss et Durkheim. Mais la méthodologie qui en résulte est vraiment en propre la sienne".

(1) • Poliade : divinité protectrice de la ville.



Masque votif en terre cuite – Sanctuaire d'Artémis à Sparte, VIe siècle avant J.C. (cliché : André Held).

M.M.-K. — Pouvez-vous décrire votre cheminement ?

J.-P. V. — Il me semble que, par étapes, en se développant sur une série de plans successifs, ma recherche s'est modifiée.

Je me suis d'abord interrogé sur les conditions qui ont rendu possible, au VIe siècle avant Jésus-Christ, dans les colonies grecques d'Asie Mineure, l'émergence d'une pensée philosophique. Du Mythe à la Raison, que s'est-il maintenu, que s'est-il transformé dans le vocabulaire, l'outillage conceptuel, les modes de raisonnement et les grands cadres de la pensée, les principes logiques ?

Il s'agissait pour moi, tout à la fois, de cerner les changements, d'en mesurer l'ampleur et de les situer dans leur contexte historique. La raison grecque m'est ainsi apparue solidaire de toute une série de transformations sociales et mentales, liées à l'avènement de la "Polis". Elle a surgi dans un contexte où pouvaient se développer la rhétorique, la sophistique, la démonstration de type géométrique, certaines formes d'histoire et de médecine, mais non la science expérimentale : une raison immanente au langage, à l'échange verbal, et qui vise à agir sur les hommes, à les convaincre ou persuader plus qu'à transformer la nature. Dans ses limites comme dans ses innovations, la raison grecque est bien fille de la cité.

Mais les mutations qu'en quelques siècles, la Grèce a connues, n'intéressent pas seulement les formes du discours, les démarches de l'intelligence et les mécanismes du raisonnement.

Naissance de la Cité et du Droit, avènement d'une pensée positive et rationnelle certes, mais il faut ajouter aussi création de formes d'art neuves : poésie lyrique et théâtre tragique dans les Arts du langage, sculpture et peinture, conçues comme des artifices imitatifs, comme des faux-semblants reproduisant l'apparence des choses réelles dans les Arts plastiques. Ces innovations marquent un changement de mentalité si profond qu'on a pu y voir comme l'acte de naissance de l'homme occidental. De l'*Homo Religiosus* des cultures archaïques à cet homme politique et raisonnable, que visent les définitions d'un Aristote, la transformation met en cause tous les grands cadres de la pensée et tout le tableau des fonctions psychologiques : temps, espace, mémoire, imagination,

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

forme du travail et esprit technique, volonté, personne, mode de l'expression symbolique et maniement des signes.

J'ai donc tenté, dans *Mythe et Pensée chez les Grecs*, de suivre les transformations qui affectent ces catégories, modifiant à la fois leur structure interne et leur équilibre général. Un seul exemple, pour me faire mieux comprendre : celui de la mémoire. Les Grecs ont divinisé la mémoire et élaboré une vaste mythologie de la réminiscence. Cette "mémoire" religieuse est liée à des techniques de remémoration très particulières, pratiquées à l'intérieur de groupes fermés et spécialisés : dans les confréries d'aèdes, elles font partie de l'apprentissage de l'inspiration poétique et de la voyance qu'elle procure; dans les milieux de mages, elles préparent une conquête de l'extase divinatoire; dans les sectes religieuses, elles s'insèrent dans des exercices spirituels de purification et de salut.

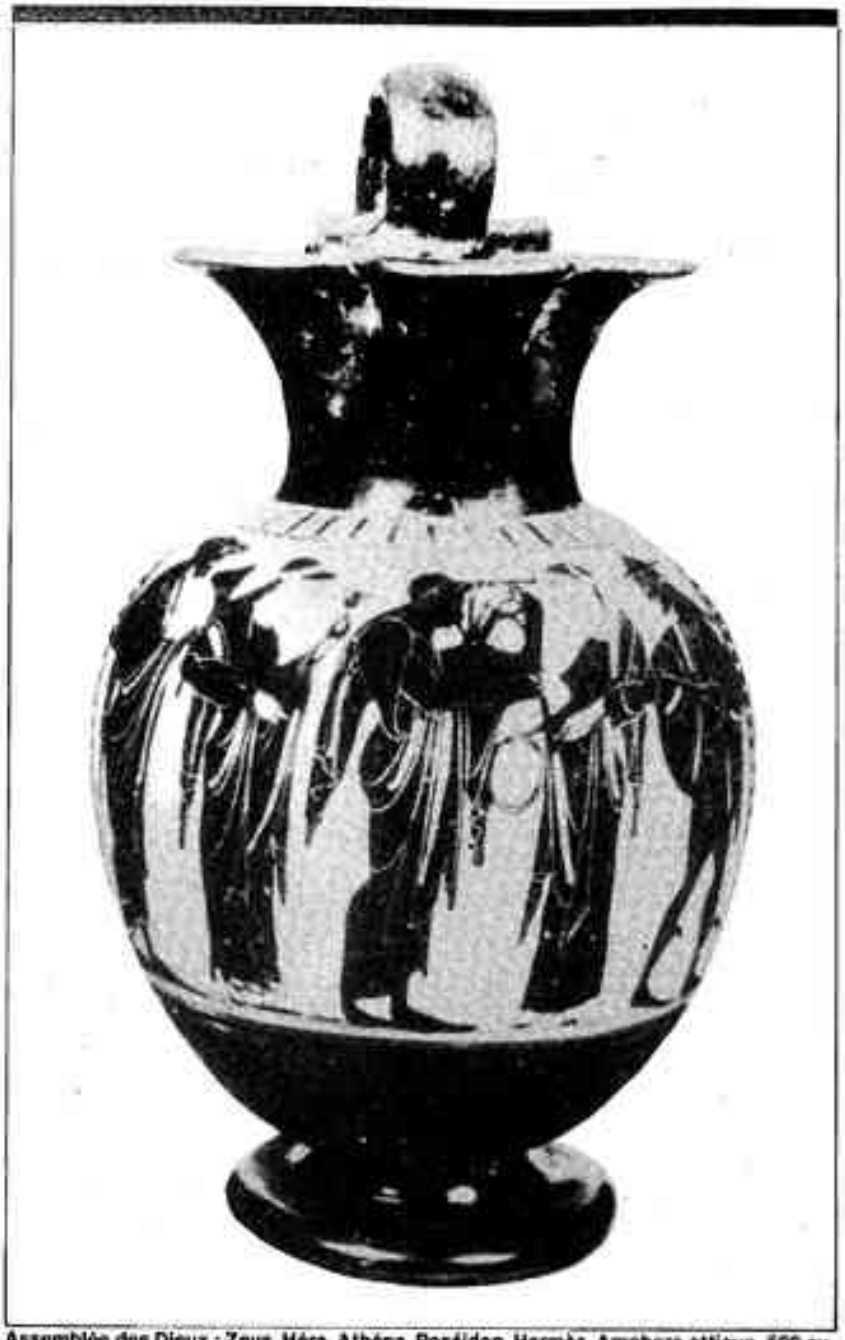
En dehors du cadre institutionnel et du contexte mental dont elles sont solidaires, ces conduites remémoratrices perdent toute signification et deviennent sans objet. Elles ne visent pas, comme les nôtres, à explorer le passé individuel ou collectif de l'homme, à penser le temps, mais à s'évader de lui pour s'unir à la divinité. Dans la mesure même où, à travers la réflexion des sophistes et les travaux des historiens, se préciseront les rapports de la mémoire avec le temps et le passé, cette fonction perdra aux yeux des Grecs le prestige dont elle était auparavant auréolée. Chez Aristote déjà la mémoire, dépouillée de ses valeurs anciennes, religieuses et mythiques, se rapporte à cette partie purement sensible de l'âme que les hommes ont en commun avec les animaux.

— N'avez-vous pas été conduit à étudier la religion grecque pour elle-même et en elle-même ?

— C'est le dernier palier de ma recherche, celle dans laquelle je suis encore engagé. Encore faudrait-il préciser que le religieux ne constitue pas, en Grèce, une sphère à part, séparée de la vie sociale. Tous les actes, tous les moments de l'existence, personnelle et collective, ont une dimension religieuse. Cela est vrai pour les particuliers, dans le cas d'un repas, d'un départ en voyage, du retour chez soi, de l'accueil d'un hôte étranger. Comme, dans le domaine public, d'une séance à l'assemblée, d'une épreuve au gymnase, d'une représentation théâtrale.

Autrement dit, entre le sacré et le profane, il n'y a pas une opposition radicale, pas même le plus souvent une coupure franche. Un rite aussi central dans l'économie du système religieux que le sacrifice ne vous arrache pas à la vie mondaine, à l'existence quotidienne. Au contraire, il vous y installe à la place et dans les formes qui doivent être les vôtres, conformément à l'ordre social et cosmique.

Le sacrifice est à la fois un cérémonial religieux, - une boucherie et une cuisine ritualisées, répondant aux normes alimentaires que les dieux ont fixées pour les humains, - un acte social, renforçant les liens qui doivent unir les citoyens en une même communauté d'égaux.



Assemblée des Dieux : Zeus, Héra, Athéna, Poséidon, Hermès-Amphore attique, 500 av. J.C., musée de Berlin. (cliché : André Held).

C'est pourquoi tous les écarts dans le régime alimentaire, toutes les déviances dans la façon de préparer et manger de la viande, - qu'il s'agisse du refus de la nourriture carnée et de la condamnation du sacrifice sanglant comme chez les orphiques, ou de la dévoration de la viande crue d'une bête dépecée toute vive, comme dans certaines formes du dionysisme, ont une signification proprement religieuse. Il s'agit toujours, à travers ces apparentes bizarreries du comportement alimentaire, de se démarquer du culte officiel, pour instituer avec le divin un type de relation qu'interdit la religion civique.

Dans le champ du religieux, mon enquête s'est orientée dans deux voies principales : déchiffrement des mythes, mise en évidence des structures du Panthéon. En appliquant des méthodes d'analyse structurale, j'ai proposé une lecture à certains égards nouvelle des mythes cosmogoniques, racontant l'émergence progressive d'un monde différencié, à partir d'entités primordiales, des mythes de souveraineté qui rattachent à la victoire de Zeus et à son accès au trône l'instauration d'un ordre stable, juste et permanent, des mythes anthropologiques enfin, qui, comme celui de Prométhée, rendent compte de la condition humaine. Condition ambiguë, contrastée, où se mêlent inextricablement les biens et les maux, où toute lumière a son ombre, le bonheur impliquant le malheur, l'abondance, le dur travail, la naissance,

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

la mort, l'homme, la femme, l'intelligence et le savoir s'unissant chez les mortels à la sottise et à l'imprévoyance. Ce type de discours mythique semble obéir à une logique qu'on pourrait définir, en contraste avec la logique aristotélicienne de l'identité, comme une logique de l'ambigu, de l'opposition complémentaire, de l'oscillation entre des pôles contraires.

A la suite de Dumézil, j'ai abordé l'étude du polythéisme grec, en considérant que chaque dieu s'y définit par le réseau des rapports qui, en des configurations diverses, l'unit et l'oppose aux autres divinités du Panthéon.

Sous la forme d'une hiérarchie organisée de pouvoirs, se délimitant réciproquement, un panthéon se présente comme un système de classification présidant à l'ordonnance des puissances de l'au-delà, et s'appliquant du même coup au monde de la nature et à l'Univers humain.

Le système des pouvoirs divins a valeur tout à la fois de cosmologie, de sociologie, de psychologie et d'éthique. En cherchant à déchiffrer certaines structures du Panthéon, comme le couple Hermès - Hestia, ou le groupement des dieux caractérisés par leur intelligence rusée - leur *métis* -, je ne voulais pas seulement préciser la nature des liens, qui associent les dieux en couple ou en triade ou autrement, je cherchais à saisir la façon dont ces schèmes théologiques, insérés dans le tissus même de la vie collective, organisent la pensée et réglementent les pratiques institutionnelles.

Mon propos était sur ce plan, de mieux cerner les formes et les degrés d'imbrication du religieux, du social, du mental.

M.M.-K. – Les mythes, les rituels dont vous avez traité mettent en jeu des symboles. Quel est le rôle de l'image ?

J.-P. V. – Les images, ou plutôt ce que j'appellerai, sur le plan religieux, les faits de figuration du divin ne font pas moins appel à la pensée symbolique que les mythes ou les rituels. S'il est vrai que les Grecs ont donné à l'époque classique une place privilégiée dans son temple à la grande statue cultuelle, anthropomorphe, du dieu, ils ont connu toutes les formes de représentation du divin : symboles aniconiques qui pouvaient être soit un objet naturel comme un arbre ou une pierre brute, soit un produit façonné de main d'homme, comme un poteau, un pilier, un sceptre ; figures iconiques diverses : petites idoles mal dégrossies, où la forme du corps, dissimulée par les vêtements, n'est même pas visible ; figures monstrueuses, où le bestial se mêle à l'humain ; simples masques où le divin est évoqué par un visage creux, aux yeux fascinants ; statues pleinement humaines.

Toutes ces figures ne sont pas équivalentes ni ne conviennent indifféremment à tous les dieux ou à tous les aspects d'un même dieu. Chacune d'elles à sa façon propre de traduire dans le divin certains aspects, de "présentifier" l'au-delà, d'inscrire et de localiser le sacré dans l'espace d'ici-bas ; un pilier ou un poteau enfoncés dans le sol n'ont ni même fonction ni même valeur symbolique qu'une petite idole qu'on déplace rituellement en la promenant d'un lieu à un autre, – qu'une image enfermée en un dépôt secret, les jambes enchaînées pour l'empêcher de fuir, – qu'une grande statue cultuelle installée à demeure dans un temple pour y donner à voir la présence permanente du dieu dans sa maison.

Chaque forme de représentation implique pour la divinité figurée une façon particulière de se manifester aux humains et d'exercer, à travers ces images, le type de pouvoir surnaturel dont elle possède la maîtrise.

Si mythe, figuration, rituel s'inscrivent dans le même registre de pensée symbolique, on comprend qu'ils puissent s'associer pour faire de chaque religion un ensemble où, pour reprendre les mots de Georges Dumezil : "concepts, images et actions s'articulent et forment par leur liaison un filet dans lequel, en droit, toute la matière de l'expérience humaine doit se prendre et se distribuer".

Repérer les mailles de ce filet, cerner les configurations qu'y dessinent leur réseau, telle doit être la tâche de l'historien. Encore faut-il ajouter que, dans le cas de la Grèce, l'enquête sur l'expression figurée du divin comporte une nouvelle dimension ; entre le VIIe et le IVe siècle av. J.-C. on constate, dans ce domaine comme dans d'autres, une véritable mutation : l'idole divine se fait image. On passe de la présentification de l'invisible à l'imitation de l'apparence. Le symbole figuré à travers lequel un être de l'au-delà, en lui-même invisible, est actualisé, présentifié dans ce monde-ci, s'est transformé en un faux-semblant, une image, produit d'une imitation experte, qui par son caractère d'artifice technique et de procédure illusionniste rentre désormais dans la catégorie du fictif. Le religieux a débouché sur l'art".

M.M.-K. – Dans quels pays étudie-t-on actuellement l'Antiquité grecque ?

J.-P. V. – L'Antiquité grecque ? On l'étudie, bien sûr dans l'ensemble des pays européens où les études classiques font partie d'une tradition culturelle très profonde. C'est vrai pour toute l'Europe de l'Ouest. C'est vrai aussi, à des degrés divers, pour l'Europe de l'Est ; la Pologne, par exemple, continue à donner aux études classiques une ampleur et un soin très grands ; la Tchécoslovaquie, également, même si le grec ne figure plus dans les études secondaires ; de même en Roumanie, en Hongrie, en Bulgarie où, en particulier, il y a eu une forte activité en archéologie. C'est vrai aussi pour l'URSS : non seulement certaines universités font des recherches sur l'histoire économique et sociale du monde classique, sur l'esclavage, mais des savants font porter leurs études sur la philosophie grecque, sur la littérature et même sur la religion.

Nous avons des rapports étroits avec certains de ces pays. Nous, c'est-à-dire le Centre de recherches comparées sur les sociétés anciennes, qui compte de très bons spécialistes, M. Detienne, Nicole Loraux, C. Mosse, P. Vidal-Naquet, pour me limiter à ceux qui en assurent avec moi la direction, et auxquels sont venus se joindre des archéologues. Nous avons des contacts réguliers avec les Polonais, les savants de Varsovie, notamment ; avec les Tchèques et les Roumains ; avec les Soviétiques aussi, encore que les relations scientifiques soient avec eux plus difficiles à concrétiser en raison des problèmes que pose leur venue en France.

En Europe, évidemment, qu'on prenne l'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique, la Hollande, l'Italie, l'Espagne, le Portugal, la Suisse, le développement des études classiques demeure important.

Ce qui, me semble-t-il, constitue un fait nouveau, c'est la percée des États-Unis. Les Etats-Unis n'avaient pas une tradition d'études classiques aussi fortement implantée qu'en Europe ; peut-être l'arrivée au moment du nazisme, d'un certain nombre de savants allemands de grande envergure a-t-elle favorisé ce goût et cet essor. Eh bien maintenant, dans toutes les grandes universités américaines, avec des orientations et sous des formes diverses, on observe un très grand développement des études classiques. Je pense qu'aujourd'hui la recherche aux Etats-Unis se fait vraiment inventive.

La tragédie et le héros

Le héros est devenu un personnage permanent de notre culture : "Achille et Hector, sont aussi vivants dans notre mémoire collective que des hommes qui nous sont proches et contemporains".

"La tragédie est le premier genre littéraire qui présente l'homme en situation d'agir, qui le place au carrefour d'une décision engageant son destin. Mais ce n'est pas pour souligner dans la personne du héros les aspects d'agent, autonome et responsable. C'est pour le peindre comme un être déroutant, contradictoire et incompréhensible : agent mais aussi bien agi, coupable et pourtant innocent, lucide en même temps qu'aveugle".

"Par le jeu des renversements qui ponctuent le cours du drame, et que les Grecs nomment péripéties, la tragédie porte en elle une interrogation : quels sont les rapports de l'homme avec ses actes ? Dans quelle mesure est-il réellement la source de ce qu'il fait ? Lors même qu'il semble prendre l'initiative de ses actions, en prévoir les conséquences, en assumer la responsabilité, n'ont-elles pas au-delà de lui leur véritable origine ? Leur signification ne lui demeure-t-elle pas jusqu'à la fin opaque, de telle sorte que c'est moins l'agent qui explique l'acte mais plutôt l'acte qui, révélant au terme du drame son sens authentique selon que les dieux en ont souverainement décidé, revient sur l'agent, le découvre à ses propres yeux, lui révèle après coup ce qu'il est et ce qu'il a fait, sans le vouloir ni le savoir. En ce sens, Œdipe, déchiffreur d'énigmes, et pourtant pour lui-même énigme qu'il ne peut déchiffrer, est bien le modèle du héros tragique des Grecs."

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Sur ce terrain où ils n'étaient pas tellement en avance, les Américains sont en train de se placer dans le peloton de tête.

Même en Afrique, au Sénégal, surtout à cause de la personnalité de Léopold Sedar Senghor, les études classiques ont encore une place importante, à la fois dans l'enseignement secondaire et à l'Université.

Et le Japon s'y est mis : il y a des centres de recherches et des chaires à Tokyo et à Kyoto, où l'on fait des éditions de textes grecs. Je me souviens d'avoir assisté, lors d'un voyage au Japon, pour une tournée de conférence, à la fondation d'une société japonaise des études classiques anciennes, fondation à laquelle on m'a demandé de m'associer, ce que j'ai fait de grand cœur.

M.M.-K.– Avec quelles équipes travaillez-vous ?

J.-P. V. – Nous travaillons avec de nombreuses équipes étrangères, depuis longtemps. Par exemple avec des chercheurs comme ceux que Moses Finley, de l'université de Cambridge, nous a envoyés, plusieurs années durant, pour suivre nos séminaires, ou avec les jeunes chercheurs et enseignants venus du Brésil. Il y a à l'université de Sao Paulo un département d'études grecques classiques, dont la plupart des maîtres ont été formés en France, spécialement dans notre Centre de recherches. Ils ont passé leur thèse à Paris; nous avons avec eux des liens professionnels et aussi personnels.

Autres exemples : avec les savants de Genève, de Lausanne et d'autres universités suisses, nous organisons des colloques; nous travaillons avec les Italiens; en particulier avec l'Ecole normale supérieure de Pise, où la plupart d'entre nous sont allés, où des projets communs ont été réalisés, avec les savants de Rome, avec les collègues de l'Institut oriental de Naples, nous avons fait des colloques et des publications, comme *La Mort dans les Sociétés Anciennes*. Il n'est guère de mois, peut-être devrais-je dire de semaine, où un collègue italien ne vienne travailler avec nous au Centre quand ce n'est pas l'un d'entre nous qui est parti "plancher" en Italie.

Avec les Américains, avec presque toutes les universités des États-Unis : Harvard, Princeton, Chicago, Cornell, Wesleyan, Columbia et, en Californie, Los Angeles et San Diego, les contacts et les échanges sont permanents.

Je dois dire que l'ouvrage d'hommage que les hellénistes américains ont publié en évoquant l'ensemble de mes travaux et de mes livres m'a profondément touché.[1]

Dans tous les domaines, nous travaillons avec nos collègues étrangers. Dans les volumes collectifs que le Centre a publiés, comme : "Problèmes de la Guerre en Grèce Ancienne", "Problèmes de la Guerre à Rome", "La mort, les morts dans les sociétés antiques", les savants étrangers, hellénistes ou spécialistes d'autres civilisations, ont toujours eu la part belle. C'est Moses Finley qui a assuré la direction du volume "Problèmes de la terre", au terme d'une enquête et d'un colloque organisés par le Centre, parce que ce savant anglais était le plus qualifié pour le faire.

(1) Arethusa. Texts and Contexts: American Classical Studies in Honor of J.P. Vernant (1982).

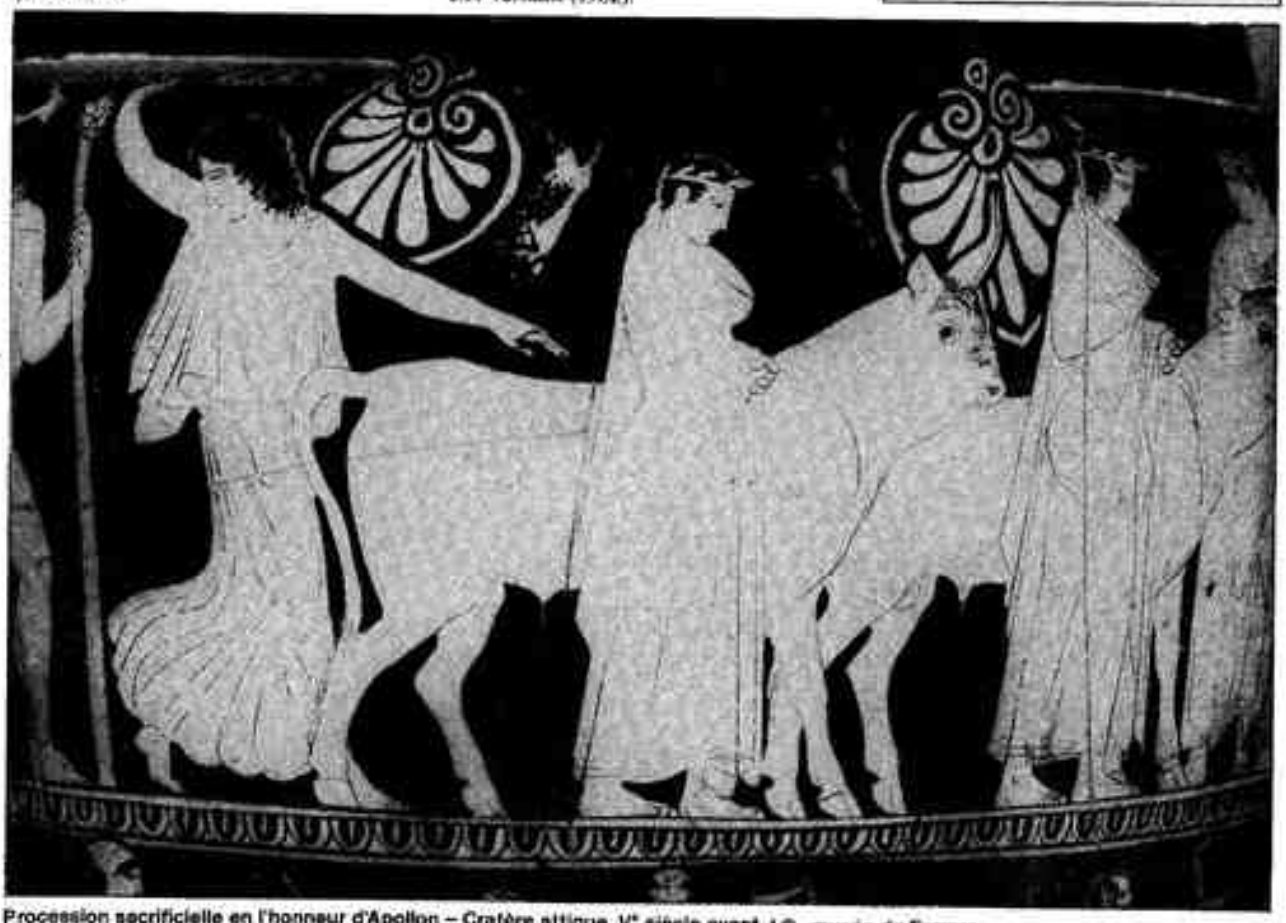
Quelques extraits de l'entretien de Jean-Pierre Vernant en cassette-vidéo.[1]

"Ma démarche est différente de celle des Hellénistes traditionnels... J'ai essayé de prendre la Société Grecque comme un tout, pour essayer de comprendre ce qu'étaient les hommes grecs et de comprendre ainsi les hommes que nous sommes..."

"En deux siècles, tout change, tout bascule. Les Grecs ont inventé des tas de choses : l'homme, le citoyen responsable de la vie commune; il respecte les lois, parfois les modifie. Ce pouvoir n'est plus l'affaire des dieux, c'est l'affaire des hommes. C'est une mutation dans l'ordre intellectuel, dans l'ordre de l'homme intérieur..."

"J'ai étudié la mémoire, j'ai aussi étudié le travail, la personne, la volonté, les formes de l'intelligence, la mort..."

(1) Cassette-Vidéo réalisée par le CNRS-AUDIOVISUEL.



Procession sacrificielle en l'honneur d'Apollon – Cratère attique, Ve siècle avant J.C., musée de Ferrare. (clichés : André Held).

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

M.M.-K.– La plupart de vos œuvres ont été traduites dans plusieurs langues.

J.-P. V. – Oui, une dizaine... Un de nos projets actuels, c'est de lancer, dans les mois qui viennent, avec nos collègues et amis grecs de l'université de Janina, une revue franco-hellénique d'Antiquité classique, à la fois d'anthropologie et de philologie du monde ancien, revue qui s'appellera *Metis*.

Un de mes livres n'a paru qu'en japonais : le volume intitulé *Œdipe et Prométhée* reproduit le texte des conférences que j'ai prononcées lors de mon séjour au Japon ; c'est un ancien élève de Paris, qui a travaillé avec Georges Dumézil et moi-même, Yoshida, maintenant professeur à l'université de Tokyo, qui l'a traduit et fait publier.

Un de mes ouvrages est traduit en polonais, un autre est en cours de traduction en roumain.

Ce qui me fait particulièrement plaisir, je tiens à le souligner ici, c'est que mon livre, *Les origines de la pensée grecque*, a été traduit en tchèque pour être dactylographié et transmis de la main à la main, hors du circuit normal, sous cette forme particulière qu'est le samizdat.

M.M.-K.– Dans votre leçon inaugurale au Collège de France, vous dites : "En nous embarquant vers une Antiquité dont les derniers liens avec nous semblent se dénouer sous nos yeux, en cherchant à comprendre du dedans et du dehors, par la comparaison, une religion morte, c'est bien sur nous-mêmes qu'à la façon d'un anthropologue, finalement, nous nous interrogeons". Dix ans plus tard, quelles réponses proposez-vous ?

J.-P. V. – Quand j'ai écrit ces lignes, je ne prétendais pas apporter des réponses. Un savant n'est pas un mage. L'historien a déjà bien du mal à se débrouiller avec le passé ; il n'entend pas jouer les prophètes pour l'avenir.

Je voulais dire seulement que l'enquête sur la Grèce ancienne telle que j'ai voulu la mener modifie le regard qu'on porte sur son propre temps, sur sa civilisation, et dans cette distance que permet le recul historique par rapport au monde dans lequel on vit, on est conduit à mettre en question cela même qui vous paraissait aller de soi, et qui dès lors qu'on l'envisage de plus haut, ou d'ailleurs, fait problème.

A cet égard, l'helléniste se trouve, comme l'ethnologue, engagé dans un va-et-vient constant entre sa culture, qui lui est comme naturelle, et celle dont il fait son objet d'étude, entre le proche, le familier et le lointain, à la fois étrange et étranger.

Le même mouvement, la même démarche intellectuelle qui le portent à comprendre l'autre l'éclairent aussi bien sur lui-même. Cela est d'autant plus vrai qu'il se place pour étudier l'Antiquité classique dans une perspective comparative, confrontant les voies que les Grecs ont frayées, et dont nous sommes encore aujourd'hui largement tributaires, à celles que d'autres grandes civilisations ont choisi d'explorer. Pour l'anthropologue, si attaché qu'il soit à la Grèce, elle ne saurait représenter le seul modèle de référence, comme si elle avait apporté à jamais la vérité, la morale, la culture.

En replaçant dans une histoire de l'homme les types particuliers de rationalité qu'elle a développés, les systèmes de valeur qu'elle a promus, les formes de vie sociale qu'elle a instituées, on est mieux armé pour saisir les implications et les enjeux de la civilisation contemporaine.

Dans un monde élargi, unifié, où l'Autre et les autres nous sont rendus présents de tant de façons, on est préparé à les accepter tels qu'ils sont, à les reconnaître dans leur différence. Si, sur le plan intellectuel, il n'est pas, pour se comprendre, de voie qui ne fasse le détour par l'Autre, une des grandes vertus dont l'historien anthropologue apprend, par son travail de recherche, à reconnaître la valeur sur tous les plans de la vie en commun, c'est la Tolérance.

Entretien réalisé par
Monique MOUNIER-KUHN

Le théâtre et la cité

A l'occasion des fêtes de Dionysos, la cité se fait théâtre. "La cité grecque se met en scène devant l'ensemble des citoyens en un spectacle ouvert à tous, les plus pauvres recevant, pour leur présence sur les gradins, une allocation de l'Etat".

"Intégrées à la vie civique et politique dont elles constituent un aspect, les représentations tragiques, en donnant à voir sur la scène le déroulement entier d'une action, entraînent un profond renouvellement des modes d'expression littéraire. A l'épopée la tragédie emprunte sa matière : la geste des grands héros légendaires ; de la poésie lyrique elle retient, dans le chant choral, la métrique traditionnelle. Et, cependant, ni pour le contenu ni pour la forme, rien n'est plus comme auparavant. Divisé en quelque façon contre lui-même, le jeu tragique se déroule sur deux plans séparés : sur la scène, les protagonistes du drame, personnages individualisés, incarnant les héros d'autrefois, toujours plus ou moins étrangers à la condition ordinaire du citoyen : dans l'orchestra, dansant et chantant, le chœur, constitué par un collège de citoyens et dont les sentiments traduisent comme un fond de sagesse populaire. A ce dédoublement du chœur et du héros tragique correspond, dans la langue de la tragédie, une dualité : le chœur s'exprime en strophes chantées, dans des mètres propres au lyrisme : les personnages dialoguent en trimètres iambiques, voisins de la langue parlée. Rapprochés par leur langage du commun des hommes, les personnages héroïques ne sont pas seulement rendus présents sur la scène aux yeux de tous les citoyens, mais, à travers les discussions qui les opposent entre eux et aux choristes, ils deviennent l'objet d'un débat ; ils sont mis en question devant le public. Dans le cadre nouveau de la représentation tragique, le héros légendaire a cessé d'être un modèle, comme il l'était dans l'épopée et la poésie lyrique ; il est devenu un problème."

© CNRS/J. Lecomte

■ Jean-Pierre Vernant a reçu, le 18 décembre 1984, la Médaille d'Or du CNRS pour l'ensemble de son œuvre.

Professeur au Collège de France, élu en 1975, il dirige, jusqu'en octobre 1984, le Centre de recherches comparées sur les sociétés anciennes (unité associée au CNRS) dont il a été le fondateur en 1967.

Il est membre du Conseil scientifique du CNRS.

Ses travaux sur les origines de la pensée grecque, sur les mythes, sur la religion, sur la société et la naissance de la démocratie ont profondément renouvelé l'étude de la Grèce ancienne, grâce à une méthode qui s'appuie sur l'anthropologie sociale et la psychologie historique.

Le rayonnement international de l'équipe est considérable. Les livres de Jean-Pierre Vernant – "Les origines de la pensée grecque", "Mythe et Société en Grèce Ancienne" s'adressent à un très large public français et étranger.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Débats et Positions

L'ÉVOLUTION BIOLOGIQUE

La théorie de l'évolution et celle de l'organisation cellulaire constituent les deux grandes bases de la biologie moderne. Que l'on considère l'origine de la vie, avec l'apparition, il y a 3,5 milliards d'années, de molécules complexes qui se structurent en organismes cellulaires, ou que l'on songe aux apports récents de la biologie moléculaire, ces deux théories sont évidemment liées l'une à l'autre. Les sciences de la terre apportent, par ailleurs, un éclairage précieux sur les conditions dans lesquelles la vie est apparue. La notion d'évolution est née de deux types d'observation : sur les espèces disparues, grâce à la paléontologie ; sur les organismes vivant actuellement. Si l'on a tendance aujourd'hui à privilégier cette dernière approche, parce qu'elle nous renseigne à la fois sur les aspects moléculaires (analyse du génôme) et sur les aspects populationnels et écologiques de la dynamique évolutive (analyse des adaptations et de la sélection), la paléontologie reste d'un apport essentiel, confrontant les données de la micro-évolution aux traces matérielles laissées par la macro-évolution. La biologie connaît actuellement, on le sait, un renouvellement très rapide. Les découvertes de la biologie moléculaire, sur l'organisation du génôme, sur sa plasticité ("gènes sauteurs"), ont constitué au cours de ces 20 dernières années une contribution importante à la théorie de l'évolution. Les progrès du génie génétique ouvrent encore de nouvelles perspectives aux recherches sur l'évolution, notamment au plan méthodologique. Cependant, à s'en tenir à la seule approche moléculaire, on n'aurait qu'une conception trop étroite de l'évolution : il est nécessaire de l'élargir en développant parallèlement des approches populationnelles, c'est-à-dire qui tiennent compte aussi des composantes génétiques, éthologiques et écologiques de la dynamique des populations dans leur environnement. Axe prioritaire pour le CNRS, l'évolution constitue un domaine de recherches où, du biologiste moléculaire à l'écologiste, chacun, en approfondissant sa spécialité tout en s'ouvrant sur les acquis de spécialités voisines, peut apporter sa contribution. Je souhaite que se développent ainsi de féconds échanges, de stimulantes discussions, au-delà des découpages en section ou départements. Ce dossier "Evolution biologique" ouvre pour cela une tribune et les textes qui suivent ne font, je l'espère, qu'engager le débat.

Roger MONIER
Directeur scientifique pour le
département des sciences de la vie.

Pour un développement des recherches sur l'évolution

Louis THALER

Vis-à-vis de l'évolution on observe des différences paradoxales d'attitude en France et dans les pays anglophones. Dans ces derniers, une tradition très vivante qui remonte directement à Darwin fait que les scientifiques, pas seulement les biologistes, ont une culture d'évolutionniste, se tiennent au courant des progrès de la théorie moderne de l'évolution et considèrent qu'il est important d'y participer. Cependant dans les mêmes pays, malgré une vulgarisation abondante et de qualité, certains secteurs du public combattent l'idée de l'évolution au nom de leurs convictions religieuses et se révèlent capables d'imposer que la doctrine créationniste soit enseignée dans des écoles comme une théorie scientifique, ainsi qu'on le voit aux États-Unis depuis quelques années. En France ce conflit entre la science et la religion paraît bien dépassé : le grand public unanime se passionne pour tout ce qui touche à l'évolution. On peut seulement regretter que nos médias soient loin de satisfaire toutes les curiosités. Mais tandis que le public est si réceptif, il est frappant de constater que la recherche française reste peu impliquée. De ce fait la décision de la direction générale du CNRS, prise l'été dernier, de faire de l'évolution un thème prioritaire de recherche apparaît comme une idée vraiment neuve qui risque de surprendre.

Pourquoi la France est-elle en retard ?

"S'intéresser à l'évolution n'est pas sérieux". Ce jugement, encore très répandu parmi les biologistes français, traduit la conviction que l'évolution, dont la réalité n'est pourtant pas mise en doute, est par nature inaccessible à la recherche expérimentale. Restent les "théories de l'évolution" considérées comme des opinions (lamarckisme, darwinisme, etc) (1). On adhère à l'une ou l'autre viscéralement à moins qu'on ne les rejette toutes en bloc par scepticisme.

La non-acceptation de Darwin en France mérite attention. On ne peut la réduire à un simple réflexe chauvin de défense de Lamarck. Dans sa thèse d'histoire et philosophie des sciences, Yvette Conry a montré que le XIXe siècle français était socialement imperméable à l'idée de sélection naturelle. Il doit en rester quelque chose si l'on en juge par la régularité avec laquelle les Français réinventent l'hérédité des caractères acquis. Ce qui est plus regrettable toutefois c'est de ne voir aujourd'hui encore en Darwin que ses "idées" alors que le plus important est sa méthode : il a tout simplement initié l'approche moderne de l'évolution qui n'est plus affaire d'opinion mais d'hypothèses scientifiques réfutables.

La mauvaise perception de l'évolution en tant que champ de recherche est le symptôme d'attitudes mentales qui auraient dû changer depuis la publication de l'*Origine des espèces* (Darwin, 1859). Pourquoi cette situation, comment y remédier ? Ce pourrait être un thème de recherche pour le département des sciences de l'homme et de la société du CNRS.

Pourquoi l'attitude française change-t-elle ?

Si l'évolution est davantage prise au sérieux en France depuis quelques années on peut supposer que c'est le résultat d'actions personnelles persévérantes

(1) voir page 17

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

comme celle du paléontologiste Henri Tintant qui a lutté pendant toute sa carrière pour faire connaître l'œuvre de Simpson et des autres pères fondateurs américains de la théorie synthétique de l'évolution ; comme celle du philosophe et historien des sciences Jacques Roger et des généticiens Philippe Lhéritier et Georges Valdeyron qui ont fait prendre conscience de la tragique inertie de la science française (mis à part Teissier) face à l'essor de la génétique des populations en Grande-Bretagne (depuis Fisher et son célèbre livre de 1930 sur la théorie génétique de la sélection naturelle). On peut penser aussi à l'influence de groupes de chercheurs comme ces zoologistes animés par Charles Bocquet et Maxime Lamotte qui ont produit des ouvrages collectifs sur le polymorphisme dans le règne animal (1972) et sur les problèmes de l'espèce dans le règne animal (1976 à 1980), ou encore comme ce groupe des systématiciens du Muséum qui s'emploient à faire enfin connaître en France une méthode rigoureuse de reconstitution des phylogénies, la cladistique, due à l'Allemand Hennig (1950). Événement mobilisateur, à l'occasion du centenaire de la mort de Darwin (1982) un important colloque international du CNRS, Modalités, rythmes et mécanismes de l'évolution biologique s'est fait l'écho de l'intense animation de la recherche mondiale dans ce domaine ; il a été organisé, soulignons-le, par l'Institut des sciences de la terre de Dijon. Ainsi diverses équipes intéressant non seulement le département des sciences de la vie, mais aussi les départements des sciences de la terre, océan, atmosphère, espace et des sciences de l'homme et de la société, s'engagent ouvertement dans l'étude de l'évolution. La nécessité d'un effort vraiment pluridisciplinaire commence à se traduire dans les faits, comme en témoigne la création par le CNRS à Montpellier d'un Institut des sciences de l'évolution dépendant pour moitié des sciences de la vie et des sciences de la terre, océan, atmosphère, espace.

Depuis cinq ans le Groupe de génétique et biologie des populations, qui se réunit annuellement, pousse un nombre croissant de jeunes chercheurs à s'intéresser aux mécanismes de l'évolution. Une revue de l'Institut national de la recherche agronomique, à laquelle s'est associé le CNRS, a récemment été rebaptisée "Génétique, sélection, évolution".

Un dernier symptôme de changement concerne le secteur si influent de la biologie moléculaire d'où émanent maintenant des programmes de recherches sur l'évolution.

Que peut-on attendre d'une priorité accordée aux recherches sur l'évolution ?

La nouvelle tendance est une excellente chose pour les futures générations de biologistes moléculaires. A la différence de leurs aînés qui proviennent de divers secteurs, les jeunes, élevés dans le sérail, sont menacés de devenir des super-techniciens du génie génétique. L'étude de l'évolution est la voie royale qui leur permettra de se relier aux grands problèmes biologiques propres à chaque niveau d'organisation de la matière vivante : de la cellule à l'écosystème, en passant par l'organisme et la population. Mais le bénéfice est réciproque : comme il apparaît clairement dans l'état de la question dressé par Maynard Smith (Evolution now, 1982) les progrès de la biologie moléculaire depuis 1950 ont profondément renouvelé la théorie de l'évolution. On peut rappeler l'épisode fructueux du débat sur la théorie neutraliste de Kimura issu de la découverte de l'immense variabilité électrophorétique des protéines. Actuellement l'excitation qui règne autour des éléments mobiles du génôme commence à nous révéler une catégorie insoupçonnée de mécanisme évolutif.

Dans un pays comme la France où les rapports entre disciplines sont conflictuels, où les priorités ne sont souvent que des engouements et des modes, où l'exemple de l'étranger est suivi avec retard et avec excès, toute nouvelle tendance doit être suivie avec vigilance. Ce serait un contresens que d'accorder une exclusive aux disciplines les plus récentes. Dans l'approche synthétique moderne de l'évolution il n'y a pas de disciplines dont on puisse se passer, même s'il y a des pratiques désuètes à réformer. La systématique, la plus ancienne des disciplines, a plus que jamais sa place comme science de la diversité du vivant. La seule réunion internationale périodique consacrée à l'évolution s'intitule significativement "Congress of Systematic and Evolutionnary Biology". La vitalité des anglophones doit nous stimuler dans ce qu'elle a de meilleur mais soyons lucides face à leurs errements. L'esprit de publicité fait des ravages chez les chercheurs américains ; il y a par exemple en paléontologie des débats plus importants que celui, très artificiel, entretenu depuis plus de dix ans par les auteurs, de la théorie des équilibres ponctués.

A condition d'en faire une authentique entreprise pluridisciplinaire on peut assigner à l'axe prioritaire évolution un objectif encore plus ambitieux qu'il n'y paraît à son seul énoncé Cadre d'unification par excellence des sciences de la vie, ayant de profondes répercussions en

Flash Actualités

L'UNIVERSALITÉ DU CODE GÉNÉTIQUE REMISE EN CAUSE

L'ADN des chromosomes est, on le sait, le support de l'hérédité et contient toutes les informations nécessaires à la vie de la cellule.
Jusqu'à ce jour, on pensait que ces informations étaient codées selon un code génétique unique. Ceci n'est plus vrai. Deux chercheurs du Centre de génétique moléculaire du CNRS (LP-CNRS N° 2423) à Gif-sur-Yvette, François Caron et Eric Meyer*, et simultanément un groupe américain dirigé par le Dr. Preer, ont montré que la paramecie, animalcule unicellulaire des eaux croupies, étudiée par tous les jeunes élèves en sciences naturelles, utilise un code génétique différent du code universel.
L'importance de cette découverte est énorme car elle incite à penser que d'autres organismes encore insuffisamment étudiés peuvent eux aussi avoir un code génétique différent du code universel et de celui de la paramecie.
En effet deux codons sont "lus" de manière différente chez la paramecie, à savoir TAA et TAG : ils codent pour un acide aminé, selon toute vraisemblance, la glutamine ou l'acide glutamique alors que, dans le code "universel", ils faisaient partie des trois codons spécifiant un arrêt de message.

Ce changement de code génétique – qui pour l'instant ne touche que deux codons – est capital pour la cellule qui l'utilise : en effet il retentit sur les milliers de messages contenus sur son ADN chromosomique en les rendant incompréhensibles pour tous les autres organismes qui les lisent suivant le code dit "universel".

Selon plusieurs arguments développés par les deux groupes, ce code génétique différent semble être utilisé par toute une classe de protozoaires appelés ciliés (en raison des cils qui couvrent leur surface externe) à laquelle appartient la paramécie.
Or, cette classe d'organismes unicellulaires se caractérise – cas vraisemblablement unique parmi les êtres vivants – par la présence dans leur cytoplasme de deux noyaux – appelés micronoyau et macronoyau – dont les fonctions sont bien définies.
Le micronoyau sert exclusivement lors des processus sexuels et n'intervient aucunement dans la maintenance des fonctions cellulaires. C'est lui qui confère à la lignée un avantage ou un désavantage sélectif. Quant au macronoyau, il ne sert qu'à maintenir les fonctions cellulaires et pour ce faire, à la différence du micronoyau, synthétise une grande quantité d'ARN.
Au moment de chaque processus sexuel, le macronoyau est détruit et un autre refabrique à partir du nouveau micronoyau issu du processus sexuel ; lors de cette transformation, l'ADN est fortement remanié.
La question qui se pose à l'heure actuelle et qui sera résolue dans les prochaines années est de savoir si l'utilisation d'un code génétique particulier est liée ou non à cette transformation du micronoyau en macronoyau. Que cela soit le cas ou non, cet effondrement du dogme de l'universalité du code génétique va conduire à reconsidérer le problème de l'évolution des espèces.

* *Nature du 14 au 20 mars, n° 6007*

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

sciences de la terre (la biologie est aussi une science de la terre, on peut définir une "géobiologie" parallèlement à la géophysique et à la géochimie) et en sciences de l'homme et de la société (émergence de l'humain à partir du biologique, persistance du biologique dans l'humain) la théorie de l'évolution répond à une conception de la science remise à l'honneur dans notre pays par Thom (la science, édifice intelligible de connaissances) mais aussi à l'étranger (2).

(2) Sciences a way of knowing - Evolutionary Biology, Education Committee of the American Society of Zoologists, 1984).

La théorie de l'évolution n'en correspond pas moins à la conception plus moderne de la science démarche prédictive (hypothèse et réfutation, cf. Popper) et guide de l'action. Mais cette démarche prédictive prend des formes bien différentes de celles de la physique et de la chimie qui paraissent plus naturelles aux Français après des siècles de cartésianisme. La "logique du vivant" (François Jacob) ne se réduit pas à la physicochimie. C'est une logique de l'évolution par variation fortuite et sélection naturelle jouant, souvent de façon contradictoire, sur des propriétés qui émergent indépendamment aux différents niveaux d'organisation de la matière vivante. Cette logique assez aisément accessible à l'intellectuel britannique est un instrument de pensée de portée très générale dans le monde contemporain et qui fait malheureusement défaut aux élites françaises. Il n'est pas interdit d'espérer que l'axe prioritaire évolution puisse contribuer à un type nouveau de formation des élites nationales par la biologie qui équilibrerait utilement la voie classique dont l'archétype est le "taupin".

■ Louis Thaler, professeur à l'Université de Montpellier, est directeur de l'Institut des sciences de l'évolution (UA 327), Université de Montpellier II, Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

LE POINT SUR LES THÉORIES DE L'ÉVOLUTION

Jean GENERMONT

Chacune des espèces qui constituent le monde vivant présente une variabilité dont les mutations constituent la cause première. Parmi les facteurs susceptibles de modeler cette variabilité, la sélection naturelle est un des plus importants, car elle permet à chaque population de s'adapter en permanence aux conditions de milieu auxquelles elle est soumise. Les développements récents de la théorie synthétique de l'évolution assignent un rôle fondamental à une catégorie particulière de mutations, les duplications, à l'origine de l'accroissement de la complexité des organismes.

Au milieu du XVIIIe siècle, la seule conception possible sur le passé du monde vivant était la conception fixiste.

Il était tout naturel d'admettre que les êtres vivants appartenaient à un nombre limité de catégories fixes appelées espèces.

On vit ensuite se développer des théories qui admettaient que chaque espèce avait une date de création et une date d'extinction; avec le fixisme, elles constituent la famille unique des théories créationnistes.

Lamarck, au début du XIXe siècle, présenta une conception nouvelle du monde vivant, constitué de lignées susceptibles non seulement de se modifier lentement au cours du temps, mais encore de se ramifier. Cette conception est la conception transformiste.

Depuis l'avènement du transformisme, le problème des mécanismes de l'évolution a soulevé parmi les biologistes des débats passionnés. De nos jours néanmoins, les spécialistes dans leur quasi-totalité s'accordent sur les grandes lignes d'une théorie unique, avec des variantes dont l'importance a été très certainement surestimée. Pour bien comprendre la valeur de cette théorie moderne, il est indispensable de savoir comment ont progressé, depuis un peu plus de deux siècles, les idées sur l'histoire du monde vivant.

Du fixisme au transformisme

Au milieu du XVIIIe siècle, la seule conception possible sur le passé du monde vivant était la conception fixiste. En l'absence de documents scientifiques convenables, on estimait, d'après les textes sacrés judéo-chrétiens, que le peuplement de la terre avait été créé quelque 6.000 ans auparavant et, connaissant le caractère conservateur de la reproduction des êtres vivants, on ne pouvait guère imaginer que les êtres actuels fussent différents des fondateurs apparus lors de la création. Il était tout naturel d'admettre que les êtres vivants appartenaient à un nombre limité de catégories, chacune étant constituée par la descendance homogène d'un couple de fondateurs. Une telle catégorie, qualifiée d'espèce, était une unité de base de la classification des êtres vivants; pour la caractériser, il suffisait d'en connaître un représentant particulier ou type, d'où la conception typologique de l'espèce: l'espèce est un ensemble d'individus dont le point commun est la ressemblance avec le type.

Les progrès des connaissances montrèrent par la suite rapidement, d'une part, que l'âge de la terre avait été largement sous-estimé, d'autre part, que la faune et la flore avaient considérablement varié au cours du temps. On vit alors se développer des théories qui respectaient la notion de fixité de l'espèce; elles admettaient que chaque espèce avait une date de création et une date d'extinction et que ces dates n'étaient pas les mêmes pour toutes les espèces. Ces théories n'étaient pas révolutionnaires; avec le fixisme, elles constituent une famille unique, celle des théories créationnistes (voir encadré ci-après).

La révolution, c'est Lamarck qui la suscita, au début du XIXe siècle, en proposant d'abandonner le "dogme" de la fixité de l'espèce et en présentant une conception nouvelle du monde vivant, constitué de lignées susceptibles non seulement de se modifier lentement au cours du temps, mais encore de se ramifier. Ainsi étaient expliquées les variations de faune et de flore; en outre, le degré de ressemblance entre formes, contemporaines ou non, traduisait la proximité de leur apparentement. Cette conception est la conception transformiste. Elle bouleversait les idées des scientifiques de l'époque, de sorte que son implantation fut difficile. C'est à Darwin, qui la reprit à son compte un demi-siècle plus tard avec une argumentation plus solide (grâce aux progrès des connaissances), qu'on doit sa prise au sérieux par l'ensemble du monde scientifique puis, petit à petit, son acceptation universelle.

Une fois admise la conception transformiste, un nouveau problème se pose, celui des mécanismes des transformations. Les tentatives de résolution de ce problème ont donné lieu à plusieurs théories, couramment connues sous le nom de théories de l'évolu-

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

tion qui vont être examinées selon l'ordre chronologique de leur élaboration.

Le lamarckisme

Non content de présenter l'hypothèse transformiste, Lamarck avait, simultanément, présenté une théorie explicative parfaitement cohérente, compte tenu des connaissances biologiques de l'époque. Elle se fondait en effet sur trois observations incontestables :
- chaque espèce est très bien adaptée au milieu dans lequel elle vit ;
- tout être vivant est capable au cours de son existence d'adapter son comportement, sa physiologie, voire son anatomie, aux conditions particulières de milieu dans lesquelles il est placé ;
- un individu engendre des descendants qui lui ressemblent plus qu'ils ne ressemblent en moyenne à un individu de la même espèce.

Lamarck admet que tous les caractères d'un individu sont transmissibles à sa descendance, y compris ceux qu'il a lui-même acquis au cours de sa vie.

Sur cette base, le raisonnement lamarckien est extrêmement simple. Au cours de sa vie, un individu perfectionne progressivement son adaptation à son milieu de sa vie ; en se reproduisant, il engendre donc des descendants qui sont dès leur naissance mieux adaptés qu'il ne l'était lui-même au même stade ; ils vont à leur tour, pourvu qu'ils restent dans le même milieu, acquérir de nouveaux perfectionnements qu'ils transmettront à leurs descendants, et ainsi de suite. Ce raisonnement n'ajoute qu'une chose aux trois observations de base que nous avons exposées : il admet que tous les caractères d'un individu sont transmissibles à sa descendance, y compris ceux qu'il a lui-même acquis au cours de sa vie sous l'influence des conditions de milieu. C'est le postulat de l'hérédité des caractères acquis, clef de voûte de tout le raisonnement.

Un demi-siècle après Lamarck, Darwin proposa une autre théorie transformiste fondée sur la notion de sélection naturelle.
Le raisonnement darwinien diffère essentiellement du raisonnement lamarckien en faisant de la sélection naturelle, et non de l'adaptation individuelle, le moteur de l'évolution.

Le darwinisme

Un demi-siècle après Lamarck, Darwin proposa une théorie fondée elle aussi sur des observations incontestables :
- toute population animale ou végétale (et a fortiori toute espèce) présente une certaine variabilité ;
- dans une population vivant dans des conditions de milieu données, seuls les individus les plus aptes à la vie dans ce milieu participent effectivement à la reproduction (sélection naturelle) ;
- un individu engendre des descendants qui lui ressemblent plus qu'ils ne ressemblent en moyenne à un individu de la même espèce.

Vers la fin du XIXe siècle, Weismann introduisit la notion de non-hérédité des caractères acquis, ce qui transforma le darwinisme en une théorie cette fois totalement opposée au lamarckisme, le néo-darwinisme.

Il est clair d'après ces prémisses qu'une population placée dans un milieu stable doit augmenter son aptitude moyenne à vivre dans ce milieu, c'est-à-dire doit perfectionner son adaptation, au cours des générations successives ; si le milieu varie, elle peut s'adapter aux nouvelles conditions.

Un des points essentiels du raisonnement darwinien est la reconnaissance formelle de la variabilité intraspécifique, en oppposition avec le concept typologique de l'espèce. Il diffère essentiellement du raisonnement lamarckien en faisant de la sélection naturelle et non de l'adaptation individuelle, le moteur de l'évolution. Enfin, il n'implique pas l'hérédité des caractères acquis, mais ne la rejette pas non plus. De ce fait, le darwinisme sous sa forme initiale ne s'oppose pas vraiment au lamarckisme : les deux théories seraient plutôt complémentaires l'une de l'autre.

Le néo-darwinisme

Vers la fin du XIXe siècle, Weismann introduisit la notion de non-hérédité des caractères acquis. L'incorporation de cette hypothèse aux éléments de base du raisonnement darwinien transforma le darwinisme en une théorie cette fois totalement opposée au lamarckisme, connue sous le nom de néo-darwinisme.

Si, à l'époque de Weismann, la non-hérédité des caractères acquis pouvait apparaître comme une proposition dogmatique sans fondement expérimental solide, elle apparaît de nos jours comme une évidence à la lumière des données modernes sur les mécanismes héréditaires. Au fur et à mesure de l'accumulation de ces données, depuis le début du XXe siècle, le lamarckisme perdit progressivement du terrain.

Le mutationnisme

Bien que farouchement opposés sur la question de l'hérédité des caractères acquis, néo-darwinisme et lamarckisme avaient au moins un point commun ; tous deux considéraient l'évolution comme un phénomène continu, sans saut brusque. Certains faits mis en évidence au début du XXe siècle conduisirent à remettre en cause cette idée. Le plus significatif est la découverte par De Vries des "mutations". Étudiant une plante, l'onagre (Œnothera lamarckiana, il constata que la plupart des graines fournissaient des pieds semblables à leur parent, mais qu'il y avait des exceptions, certaines engendrant même des individus suffisamment différents pour qu'on puisse admettre leur appartenance à une autre espèce.

Cette constatation est l'origine de la théorie connue sous le nom de mutationnisme selon laquelle les mutations seraient le seul moteur de l'évolution, qui procéderait ainsi par sauts, une espèce nouvelle apparaissant directement par mutation à partir d'une espèce préexistante.

Cette théorie fut assez rapidement abandonnée, car les mutations, événements aléatoires, n'apportent qu'exceptionnellement un progrès évolutif et ne peuvent rendre compte, à elles seules, de l'adaptation des espèces à leur milieu. En outre, chaque mutation n'est en général responsable que d'une très petite variation, de sorte qu'il est impensable, sauf peut-être dans quelques cas très particuliers, qu'une mutation, voire un petit nombre de mutations, suffise à créer une espèce nouvelle.

Étudiant au début du XXe siècle une plante, M. De Vries découvrit la notion de mutation.
Cette constatation est à l'origine de la théorie connue sous le nom de mutationnisme selon laquelle les mutations seraient le seul moteur de l'évolution.

La naissance de la théorie synthétique de l'évolution

La prise en compte des mutations fut toutefois un événement majeur de l'histoire des idées sur l'évolution. En effet, le néo-darwinisme ne proposait pas d'explication satisfaisante à l'origine et au renouvellement de la variabilité susceptible de donner prise à la sélection naturelle. L'idée selon laquelle l'évolution résulte des effets conjugués de deux moteurs, les mutations, créatrices de variabilité, et la sélection naturelle, assurant le tri à chaque génération des génotypes les plus aptes à vivre et à se reproduire dans des conditions de milieu donné, est à la base de la théorie synthétique de l'évolution, qui apparaît en effet comme la synthèse des deux théories préexistantes, le néo-darwinisme et le mutationnisme, et qu'on résume quelque-

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

La théorie synthétique de l'évolution apparaît comme la synthèse de deux théories préexistantes, le néo-darwinisme et le mutationnisme.

Une espèce est un ensemble d'individus contemporains potentiellement interféconds, séparé d'ensembles similaires par des barrières d'isolement reproductif.
Un des apports essentiels de la théorie synthétique est d'avoir proposé plusieurs mécanismes plausibles de la genèse des espèces.

Les mutations sont les "causes premières" de la variabilité génétique à partir de laquelle s'effectue le tri de la sélection naturelle.

Une autre cause de variabilité est la dérive génétique; ensemble de fluctuations fortuites d'autant plus sensibles que l'effectif est plus faible.

A ces deux facteurs de diversification entre populations de la même espèce s'oppose un seul facteur réellement efficace d'homogénéisation, le brassage génétique assuré par les migrations.

fois par la formule lapidaire "mutation-sélection".

Cette formule est en réalité trompeuse car elle masque la richesse de la théorie synthétique qui repose pour une large part sur l'ensemble des résultats de la génétique des populations et aussi sur des principes nouveaux de classification, avec une définition de l'espèce différente de la définition typologique qui était, nous l'avons vu, liée à une conception créationniste de l'histoire du monde vivant.

La définition biologique de l'espèce

Tous les biologistes admettent actuellement que tous les êtres vivants présents et passés appartiennent à un gigantesque et unique arbre généalogique, constituant à lui seul une classification "naturelle" du monde vivant. Le but des systématiciens (ou du moins d'une grande partie d'entre eux) est d'essayer de retrouver cette classification naturelle. Dans une telle classification, il est logique, à un instant donné de l'histoire du monde, de choisir comme unité de base, un ensemble d'individus potentiellement équivalents du point de vue des phases ultérieures de l'évolution, c'est-à-dire capables de mettre en commun leur matériel génétique chez des descendants fertiles. Un tel ensemble est séparé d'autres ensembles par des barrières s'opposant aux échanges génétiques, c'est-à-dire aux croisements: ce sont des barrières d'isolement reproductif. Ces ensembles sont désignés du même nom que les unités de base de la classification "créationniste"; ce sont donc des espèces, obéissant à la définition dite biologique de l'espèce qui peut être formulée ainsi: une espèce est un ensemble d'individus contemporains potentiellement interféconds, séparé d'ensembles similaires par des barrières d'isolement reproductif. A un instant donné, les membres d'une même espèce sont les représentants actuels d'un rameau particulier de l'arbre généalogique des êtres vivants.

Si maintenant on s'intéresse au devenir d'un rameau durant un certain temps (à l'échelle des temps géologiques, c'est-à-dire pendant des dizaines ou des centaines de milliers, voire des millions, d'années), on pourra assister à deux sortes de phénomènes:
- des modifications au cours du temps des caractères (anatomiques, physiologiques, comportementaux, etc.) de la communauté d'individus constituant ce rameau, sans que celui-ci cesse d'être une espèce unique;
- l'éclatement du rameau en plusieurs rameaux irréversiblement indépendants sur le plan génétique par interposition de barrières d'isolement reproductif au sein de la communauté.

Les deux catégories de phénomènes ne sont évidemment pas de nature totalement différente: lors de l'éclatement d'une communauté en deux rameaux distincts, l'un au moins doit subir certaines modifications par rapport à l'état ancestral. Ce type de phénomène est donc plus riche que le premier. Il a fait l'objet de très nombreuses recherches; on le désigne sous le nom de spéciation: c'est l'éclatement d'une espèce en plusieurs espèces distinctes (au moins deux). Un des apports essentiels de la théorie synthétique est d'avoir proposé plusieurs mécanismes plausibles de spéciation.

La structure génétique de l'espèce, ses variations et la spéciation géographique

Sur le terrain, une espèce est représentée par des "populations locales" dont les territoires sont séparés par des espaces où on ne la rencontre pas, sauf éventuellement sous forme de rares individus isolés ou de groupes en cours de déplacement. Sur le plan génétique, chaque population locale peut être décrite par sa composition génotypique, qui varie d'une population à l'autre. Les caractéristiques de ces variations au sein de l'espèce constituent la structure génétique de l'espèce, dont l'étude est l'un des objets de la génétique des populations. Les travaux théoriques (élaboration de "modèles mathématiques" de populations), expérimentaux (étude de populations de laboratoire) et sur le terrain (observation des populations naturelles) permettent de se faire une idée précise des mécanismes fondamentaux impliqués dans le déterminisme de la structure génétique d'une espèce.

Les mutations sont les "causes premières" de la variabilité génétique intraspécifique. Cette variabilité est modelée par différents facteurs. A chaque génération la sélection naturelle trie dans chaque population parmi les innombrables génotypes que fait apparaître la recombinaison génétique, ceux qui sont appelés à survivre et à se reproduire. Les diverses populations de l'espèce étant placées dans des conditions de milieu différentes, la sélection ne s'y exerce pas selon les mêmes règles; il en résulte nécessairement une divergence entre les compositions génotypiques, chaque population réalisant une adaptation génétique au milieu particulier dans lequel elle vit. Cette adaptation est perpétuellement corrigée: si les conditions de milieu varient, quelques générations suffisent pour qu'une variation significative, adaptative, de la structure génotypique ait lieu sous l'effet de la sélection. Une autre cause de divergence entre compositions génotypiques est la dérive génétique: on désigne sous ce nom des fluctuations fortuites d'autant plus sensibles que l'effectif est plus faible. Le caractère fortuit de ces variations les rend indépendantes de toute adaptation. On peut donc opposer, dans la divergence génétique entre populations, une part de divergence adaptative à une part de divergence aléatoire, non adaptative. Cette opposition a donné lieu récemment à une querelle entre deux écoles de génétique des populations: pour les "sélectionnistes", la part adaptative est de loin prépondérante, alors que les "neutralistes" accordent un rôle majeur à la part aléatoire. En fait, la vérité se tient probablement entre les deux conceptions extrêmes, qui en fait se complètent plus qu'elles ne s'opposent pour expliquer un fait indéniable: l'extrême diversité des compositions génotypiques des populations au sein de l'immense majorité des espèces.

A ces deux facteurs de diversification entre populations de la même espèce s'oppose un seul facteur réellement efficace d'homogénéisation, le brassage génétique assuré par les migrations. Grâce à celles-ci, pourvu que l'aire de répartition de l'espèce soit d'un seul tenant, les variations de compositions génotypiques observées d'un point à l'autre de l'aire ne peuvent être que progressives, sans discontinuité.

Supposons maintenant que l'aire d'une répartition d'une espèce soit fragmentée en

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

deux zones entre lesquelles aucune migration n'est possible (parmi les nombreux événements susceptibles de provoquer ainsi l'apparition d'une barrière géographique, citons, dans le cas d'une espèce marine la surrection d'un isthme, pour une espèce terrestre la naissance d'un détroit, ou encore un refroidissement général du climat obligeant par exemple une espèce européenne à se réfugier au sud de l'Espagne et au sud de l'Italie): entre les deux groupes de populations ainsi séparés, aucune homogénéisation efficace n'a plus lieu et la divergence est inévitable et ne peut que s'accentuer au cours des générations successives. Au bout d'un temps suffisant, les deux groupes seront suffisamment différents par leurs caractères écologiques, comportementaux, anatomiques, physiologiques, etc., pour que, même s'ils reviennent à nouveau en contact, aucun croisement entre eux ne puisse avoir lieu: ce sont alors deux espèces différentes.

Le processus qui vient d'être décrit succinctement, éclatement d'une espèce en deux espèces-filles à la suite de la fragmentation de l'aire géographique, est connu sous le nom de spéciation géographique. La comparaison des distributions géographiques d'espèces très voisines en fournit de nombreuses illustrations, tant dans le règne végétal que dans le règne animal (fig. 1).

Lorsque deux populations sont séparées par une barrière géographique, elles tendent à devenir deux espèces différentes.

Autres modes de spéciation

Il existe certainement d'autres mécanismes de spéciation que la spéciation géographique. Ainsi, la spéciation par polyploïdie a joué à de nombreuses reprises chez les Végétaux, au moins lors des phases récentes de l'évolution des plantes à fleurs. Si au sein d'une espèce diploïde apparaissent des individus tétraploïdes (les cellules de leur appareil végétatif renferment quatre lots de chromosomes au lieu de deux) aptes à se reproduire, ils sont d'emblée séparés de la forme parentale par une barrière d'isolement reproductif car les hybrides, triploïdes, sont en pratique totalement stériles. En fait, si parmi les plantes à fleurs une espèce sur deux est polyploïde (souvent de degré supérieur à quatre), ce mécanisme ne semble pas avoir une importance considérable sur le plan de l'évolution à long terme, car les lignées polyploïdes sont probablement en général des "impasses évolutives". Une exception à cette règle est fournie par les poissons de la famille, florissante et diversifiée, des Salmonidés (Saumons, Truites, Lavaret, etc.) qui semble issue par tétraploïdie d'un groupe ancestral dont les Clupéidés (Harengs, Sardines, Alose, etc.) sont des descendants restés diploïdes: phénomène doublement exceptionnel car la polyploïdie est rare dans le règne animal.

On a en outre suggéré la possibilité d'apparition d'une espèce nouvelle à la suite d'un remaniement chromosomique équilibré (mutation consistant en une modification de l'ordre des gènes sur les chromosomes). Beaucoup de remaniements déterminent en effet une diminution très sensible de la fertilité chez les individus hétérozygotes, d'où un isolement reproductif partiel entre la forme originelle et les homozygotes pour un rema-

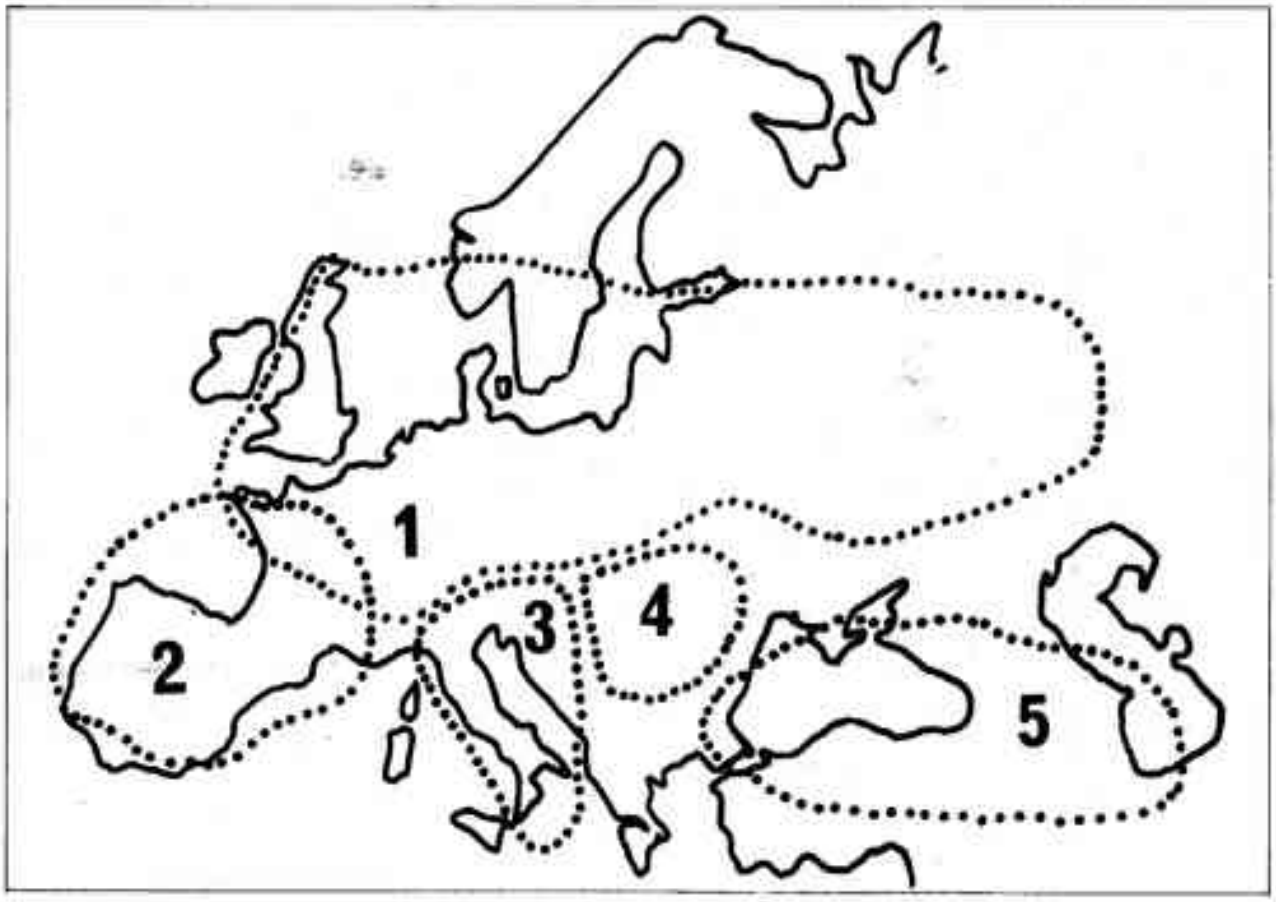


Fig. 1 - Répartitions géographiques de cinq espèces très voisines appartenant au genre Triturus (Tritons): T. cristatus (1), T. marmoratus (2), T. carnifex (3), T. dobrogicus (4), T. kareliniì (5). Cette distribution est interprétée en admettant que les cinq espèces dérivent d'une espèce ancestrale unique dont l'aire de répartition auparavant très étendue a été morcelée lors des glaciations quaternaires en au moins cinq refuges situés respectivement dans l'ouest de la France, dans la péninsule ibérique, dans la péninsule italienne, en Roumanie et auprès de la mer Noire ou de la mer Caspienne.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

niement : le perfectionnement de cet isolement (qui pourrait être l'œuvre de la sélection naturelle) semble en effet pouvoir aboutir à une spéciation complète. Les spécialistes ne sont pas d'accord sur l'importance de ce phénomène dans la pratique. On ne connaît de fait que très peu d'exemples qui illustrent ce mode de spéciation de façon convaincante ; en effet, constater que deux espèces apparentées diffèrent par un remaniement chromosomique ne prouve nullement que c'est ce remaniement qui est à l'origine de la spéciation : on peut très bien concevoir que l'acquisition du remaniement soit le fait d'une des espèces postérieurement à la spéciation, ou encore que ce ne soit qu'un des aspects de la divergence lors de la spéciation géographique.

Les deux modes de spéciation qui viennent d'être présentés n'étaient pas envisagés par la théorie synthétique sous sa forme initiale. Certains ont prétendu qu'ils s'y opposaient : rien n'est plus faux, car ils la complètent et l'enrichissent. D'autres mécanismes ont du reste été proposés, qui ne s'opposent pas d'avantage aux précédents, par exemple la spéciation consécutive à un changement d'hôte, dans le cas de formes parasites.

Gradualisme contre ponctuationnisme : une fausse querelle

Une controverse est née récemment parmi les évolutionnistes à la suite de la présentation, par des paléontologistes, du modèle dit des équilibres ponctués. Selon les tenants de ce modèle, une espèce constituerait dans tous les cas une lignée stable au cours du temps pour l'essentiel de ses caractères morpho-anatomiques : l'adaptation de chaque population aux conditions particulières de son environnement et à ses éventuelles variations ne pourrait avoir que des conséquences limitées à la variation intraspécifique ; en revanche, la spéciation, événement très rapide, voire brutal (à l'échelle de temps des observations paléontologiques), aurait pour effet l'apparition d'un type morpho-anatomique franchement nouveau, espèce nouvelle se perpétuant éventuellement en même temps que l'espèce "parente" demeurée inchangée. Le progrès évolutif serait assuré non par l'amélioration constante de l'adaptation de chaque espèce, mais par la compétition entre espèces aboutissant à l'élimination des moins performantes d'entre elles.

A tout bien considérer, ce modèle n'a rien de bien révolutionnaire. Encore une fois, il ne fait que compléter la théorie synthétique, à la seule condition de ne pas l'imaginer comme universellement applicable. Beaucoup de données (observations paléontologiques, comparaison d'espèces apparentées) montrent que, dans bien des cas, la spéciation n'est accompagnée que d'une très petite variation (parfois même nulle) dans le domaine morpho-anatomique, et qu'en outre certaines lignées peuvent présenter des variations pratiquement continues sans aucun phénomène de spéciation : elles sont conformes au modèle dit du gradualisme phylétique. D'autres données constituent des arguments en faveur de l'existence de phénomènes de spéciation accompagnés de remaniements morpho-anatomiques profonds et rapides (l'expression "révolution génétique" est depuis longtemps utilisée pour désigner le mécanisme, un mode particulier de spéciation géographique associant à la sélection naturelle une courte phase de dérive génétique intense, proposé pour en rendre compte) (fig. 2).

La querelle entre gradualistes et ponctuationnistes se réduit à une dispute entre les partisans inconditionnels de l'un ou l'autre des deux modèles alors que tout concorde pour dire que les situations réelles relèvent soit de l'un, soit de l'autre, soit d'un compromis entre les deux : elle devrait donc en toute logique s'apaiser prochainement, quand tous les belligérants auront compris l'inanité d'une position intransigeante.

Les radiations adaptatives

Les mécanismes qui viennent d'être discutés concernent des phénomènes évolutifs d'ampleur limitée. Les caractères, dans quelque domaine que ce soit (morpho-anatomique, éco-physiologique, etc.), de deux espèces qui viennent d'être séparées par spéciation (quel qu'en soit le mécanisme) ne peuvent être très profondément différents. Il faut donc s'interroger sur les mécanismes de variations plus considérables.

La réitération du processus de spéciation peut, dans certaines situations, conduire à une diversification très rapide au sein d'une lignée évolutive. Les célèbres pinsons des îles Galapagos illustrent bien ce phénomène. Ces îles, surgies en plein océan il y a moins de cinq millions d'années, sont peuplées de treize espèces de pinsons manifestement issues d'une seule espèce fondatrice venue du continent américain. C'est très certainement le jeu, à répétition, de la spéciation géographique, qui a fourni toutes ces espèces adaptées à des modes de vie (et particulièrement de nutrition) différents : les unes mangent des graines (de grosseurs et de duretés différentes selon les espèces), d'autres des feuilles ou des fleurs, d'autres encore des insectes que chacune capture avec un comportement qui lui est propre. Une telle diversification explosive (elle a demandé un temps qui n'est que de l'ordre du millième de la durée totale de l'évolution biologique), ou radiation adaptative, est probablement la conséquence de l'existence sur l'archipel, lors de l'arrivée du groupe de fondateurs, de nombreuses niches écologiques vides (différents types d'insectes sans prédateurs, espèces végétales fournissant diverses sortes de graines non consommées, etc.) auxquelles pouvaient s'adapter séparément les populations réparties sur les différentes îles.

Cet exemple est celui d'une "petite" radiation adaptative, mais il n'est pas déraisonnable d'extrapoler par exemple à la situation devant laquelle se sont trouvés les premiers Oiseaux, en présence de vastes territoires peuplés uniquement de Vertébrés terrestres, riches de ressources exploitables par des animaux aériens : on conçoit fort bien que, en plusieurs dizaines de millions d'années, la radiation adaptative résultant de cette situation ait créé des types aussi différents que les Perroquets, les Corbeaux, les Fauvettes, les Canards, etc.

Si on pousse l'extrapolation à la totalité de l'évolution biologique, on peut, semble-t-il, comprendre l'ensemble de la diversification du monde vivant. Telle est du moins la conclusion des adeptes de la théorie synthétique de l'évolution. Certains biologistes, en revanche, refusent cette extrapolation.

Les mécanismes de la complexification des organismes

Les premiers êtres vivants, apparus il y a au

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

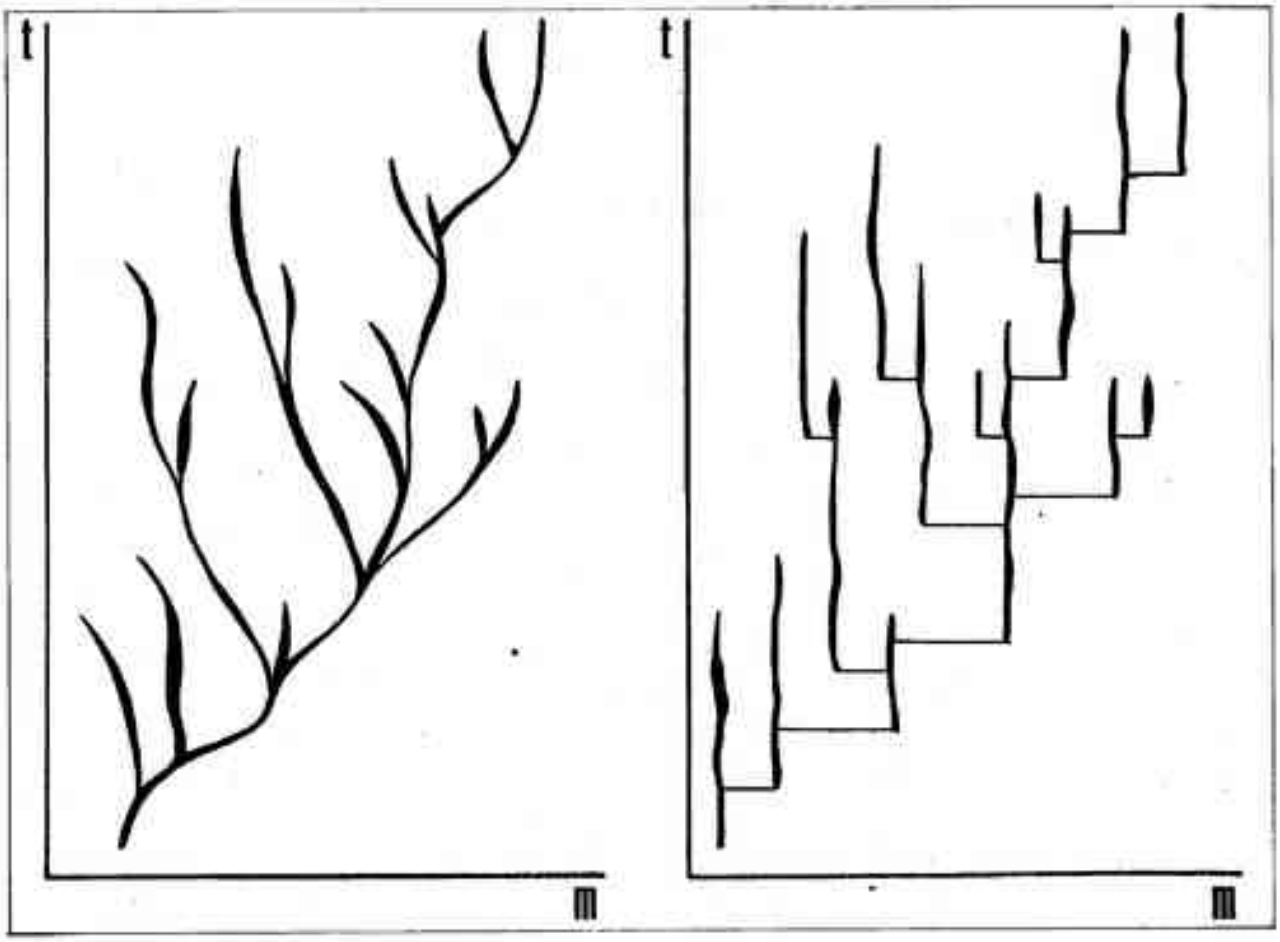


Fig. 2 - Schémas représentant l'évolution d'un groupe conformément aux modèles du gradualisme phylétique (à gauche) et des équilibres ponctués (à droite). En abscisses est symbolisée la variation morphologique (m); en ordonnées figure le temps (t).

moins trois milliards et demi d'années, avaient une organisation très simple, probablement comparable à celle des bactéries actuelles. Par la suite sont apparus des organismes de plus en plus complexes (structure cellulaire dite eucaryote, pluricellularité, etc.). La complexité des structures et des fonctions des espèces "évoluées" est évidemment inscrite dans leur patrimoine héréditaire. La complexification des organismes au cours de l'évolution dépend donc de l'acquisition par le matériel génétique d'informations nouvelles. Les nombreuses données recueillies depuis une vingtaine d'années sur l'organisation fonctionnelle du matériel génétique ont permis de proposer un mécanisme responsable de cet enrichissement. L'événement initial en est une duplication d'un petit segment de chromosome ; celui-ci porte ainsi un gène (ou quelques gènes) en double exemplaire ; l'un d'eux peut alors subir des mutations qui n'altèrent pas notablement le fonctionnement de l'organisme, le second exemplaire pouvant s'exprimer ; l'accumulation de mutations sur le premier exemplaire peut être ainsi tolérée par la sélection naturelle, même si elles en font un gène non fonctionnel ; cependant, si le processus se poursuit suffisamment longtemps, apparaîtra, au hasard des mutations successives, un gène doué d'une fonction différente du gène initial. Ainsi explique-t-on par exemple que la plupart des Vertébrés actuels possèdent une myoglobine, protéine capable de stocker l'oxygène dans les muscles, et une hémoglobine capable, elle, de transporter l'oxygène dans le sang, des organes respiratoires aux autres organes du corps, alors que selon toute vraisemblance les tous premiers Vertébrés possédaient une seule protéine assurant tant bien que mal les deux fonctions.

Bien sûr, affirmer que l'apparition (progressive) d'un organe aussi complexe que l'œil des Vertébrés ou l'oreille des Mammifères relève d'un mécanisme de ce type, implique une extrapolation qu'on peut juger bien hardie, à tel point que certains biologistes, à nouveau, s'y refusent.

L'exposé, très succinct, qui vient d'être fait de la théorie synthétique de l'évolution permet d'en dégager certaines caractéristiques générales.

Elle repose sur des faits bien établis, mis en évidence soit par la génétique des populations (sélection naturelle, dérive génétique), soit par la Cytogénétique (remaniements chromosomiques équilibrés, duplications, polyploïdie), soit par la Biologie moléculaire (expression du matériel génétique), soit par d'autres disciplines. Elle consiste en un enchaînement de raisonnements fondés sur la confrontation de ces faits. Cette construction permet d'expliquer des phénomènes dont les mécanismes n'étaient pas a priori évidents (l'ensemble de l'histoire du monde vivant).

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Les nombreuses données recueillies depuis une vingtaine d'années sur l'organisation fonctionnelle du matériel génétique ont permis de proposer un mécanisme responsable de ces phénomènes. L'événement initial en est une duplication d'un petit segment de chromosome.

Ces caractéristiques sont communes à toute théorie scientifique. De même, toute théorie scientifique a des faiblesses: elle laisse certains phénomènes inexpliqués ou mal expliqués. Ainsi en va-t-il de la théorie synthétique de l'évolution: il est parfaitement licite de juger, par exemple, que l'origine d'organes complexes n'est pas expliquée de façon satisfaisante par le processus duplication-différenciation présenté au paragraphe précédent. Est-ce toutefois une raison suffisante pour rejeter la théorie, comme le font certains biologistes? Non, assurément, car personne actuellement n'a présenté de théorie de rechange. Faire appel à des phénomènes inconnus, voire surnaturels, ne constitue pas une démarche scientifique. Force est donc de conserver la théorie synthétique, en espérant la perfectionner, ce qui est sans nul doute possible car c'est une théorie ouverte: depuis sa naissance, il y a environ un demi-siècle, elle s'est révélée apte à intégrer les faits nouveaux révélés par les diverses disciplines scientifiques, par exemple les données de la cytogénétique, celles de la biologie moléculaire, s'enrichissant ainsi de raisonnements nouveaux et par là-même expliquant des phénomènes jusqu'alors mystérieux (la complexification, par exemple).

On peut donc dire qu'il n'y a qu'une théorie moderne de l'évolution. Qu'elle propose pour certains phénomènes plusieurs mécanismes n'est pas un handicap mais, bien au contraire, une richesse. Faut-il pour autant la considérer comme la Vérité absolue? Pas du tout; c'est une vérité dans l'état actuel des connaissances, car c'est elle qui, actuellement, explique le mieux les faits, de même qu'au début du XIXe siècle, dans le même domaine, c'était la théorie de Lamarck qui constituait une vérité provisoire. Soyons modestes et prévoyons que dans un siècle, notre théorie paraîtra sans doute au moins aussi désuète et aussi fausse que paraît à nos yeux celle de Lamarck. Peu importe, l'essentiel est qu'elle serve à faire progresser les connaissances, fonction qu'elle remplit parfaitement.

■ Jean Génermont est Professeur à l'Université de Paris-Sud, Laboratoire de Zoologie 2, Bâtiment 491, 91405 Orsay Cedex.

BIBLIOGRAPHIE PROPOSÉE PAR LE CDST

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

Peut-on être créationniste aujourd'hui?

Si ce n'est que très lentement que parmi les biologistes un large consensus s'est réalisé autour du "fait transformiste", c'est sans nul doute pour une large part en raison de la contradiction entre cette conception du monde vivant et la conception, issue d'une lecture littérale de la Bible, d'où l'accusation d'athéisme maintes fois lancée contre les premiers transformistes et notamment contre Darwin lui-même. Qu'en est-il aujourd'hui?

Deux remarques s'imposent d'emblée. D'abord, de nombreux théologiens ont, bien avant l'introduction des idées transformistes, souligné le caractère symbolique de textes comme l'Ancien Testament. En outre, parmi les chercheurs qui se consacrent actuellement à des travaux sur l'évolution et ses mécanismes, beaucoup sont chrétiens et profondément croyants. La contradiction précédemment soulignée peut donc être levée, à condition de considérer comme licite l'interprétation métaphorique des textes sacrés ou du moins de certains d'entre eux.

Il existe toutefois dans le monde chrétien un indéniable, bien que très fortement minoritaire, courant créationniste, principalement chez les non scientifiques, mais aussi dans certains milieux scientifiques, dont les adeptes tiennent le raisonnement suivant: le "fait transformiste" n'est pas prouvé; il ne s'agit que d'une théorie à mettre en parallèle avec la théorie exposée dans la Genèse; ayant le choix entre deux théories, le chrétien ne saurait, sous peine de renier sa foi, qu'opter pour la théorie créationniste. Un raisonnement similaire est tenu par de nombreux musulmans. Au centre du débat se trouve évidemment la question de l'existence ou de la non-existence de preuves du transformisme.

Il est exact qu'il n'y a pas de démonstration du transformisme comparable à la démonstration d'un théorème mathématique. Il existe en revanche un faisceau d'arguments convergents, tous fondés sur un raisonnement élémentaire simple: telle observation est mieux expliquée par le transformisme que par le créationnisme. Par exemple, la présence de fentes branchiales chez les embryons d'Oiseaux ou de Mammifères ne reçoit pas d'explication créationniste satisfaisante; en revanche, son interprétation transformiste est immédiate: Oiseaux et Mammifères ont eu des ancêtres à respiration aquatique. Le nombre considérable d'arguments de toutes sortes (anatomiques, embryologiques, cytogénétiques, biochimiques, biogéographiques) donne à la conception créationniste un tel degré d'invraisemblance que le scientifique ne peut que la rejeter, sans toutefois pouvoir affirmer en toute rigueur que le progrès des connaissances ne conduira pas, dans l'avenir, à changer d'interprétation.

C'est pourquoi il est scientifiquement impossible de répondre favorablement à la requête (soutenue par le président Reagan lui-même) de certains mouvements créationnistes américains visant à présenter, dans l'enseignement de la biologie, comme également crédibles les conceptions créationniste et transformiste. Encore faut-il ne pas présenter cette dernière comme un dogme, mais montrer comment un raisonnement conduit à l'adopter comme la seule qui soit scientifiquement vraisemblable dans l'état actuel des connaissances et, par conséquent, la seule qui soit susceptible de donner un fil conducteur à un exposé général des phénomènes biologiques. Un tel comportement implique pour un croyant une dissociation, peut-être déchirante, entre le domaine des connaissances scientifiques raisonnées et celui des convictions religieuses révélées.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

UNE NOUVELLE CONCEPTION DE LA FORMATION DES ESPÈCES ET SES CONSÉQUENCES DANS L'INTERPRÉTATION DE L'ÉVOLUTION

Jean CHALINE

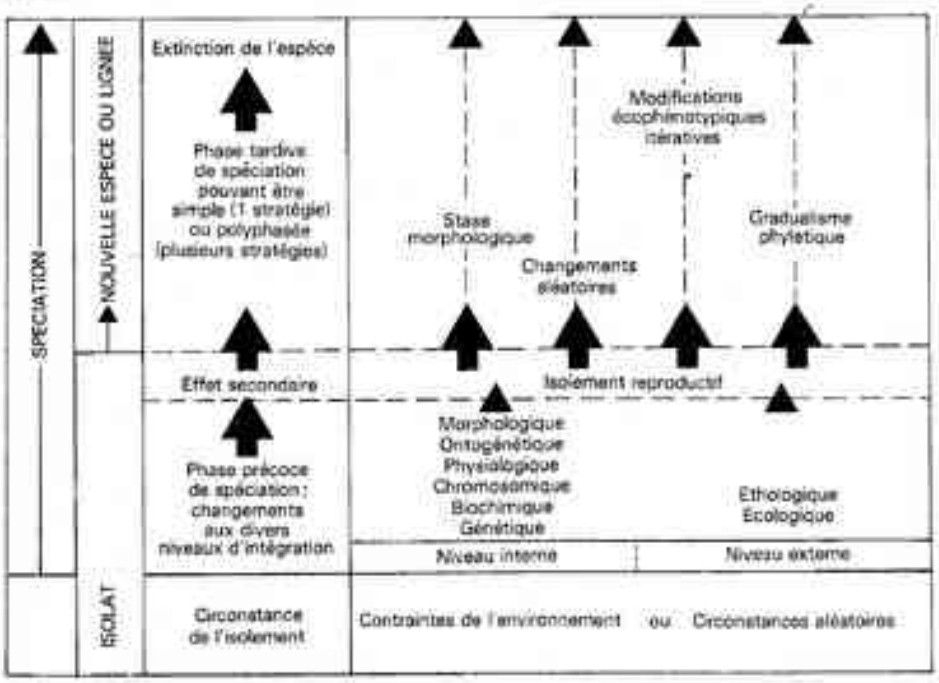
Depuis des années, les confrontations entre les conceptions biologiques et paléontologiques de l'évolution ont donné lieu à des débats, voire à des polémiques à propos des phénomènes de formation des espèces ou des modalités évolutives[1]. En fait, a posteriori, il semble bien que ces débats résultent de problèmes mal posés et du fait que les approches biologiques et paléontologiques sont réalisées à des échelles distinctes. Ces contradictions paraissent pouvoir être résolues par le nouveau concept de spéciation séquentielle polyphasée[2,3] qui réconcilie ces approches.

Le nouveau concept

Dans l'aire de répartition d'une espèce, il existe presque toujours des populations isolées dont le devenir est généralement l'extinction. Caractérisées par un effectif et un flux génique plus ou moins réduits, ces populations si elles survivent ont tendance à diverger à la suite de croisements consanguins et de la dérive génétique. Cette divergence peut se réaliser à n'importe quel degré d'intégration : au niveau génétique, chromosomique, biochimique, physiologique, ontogénétique, morphologique, écologique ou éthologique. Ces changements précoces aboutissent plus ou moins rapidement à l'isolement reproductif qui apparaît comme un effet secondaire. Les biologistes considèrent à juste raison l'isolement reproductif comme le phénomène fondamental de la spéciation. Ils ont raison puisque l'isolement reproductif permet la cohabitation (sympatric) ultérieure avec l'espèce souche ancestrale, si elle subsiste. Mais les processus de spéciation ne sont pas achevés à ce moment-là ! Ils se poursuivent dans le temps, bien que les biologistes ne considèrent plus, à tort cette fois semble-t-il, ces changements tardifs comme partie intégrante de la spéciation. La raison en est simple : ils se poursuivent dans le temps pendant de longues périodes insaisissables par l'approche biologique. En revanche, ces phases tardives sont mises en évidence par l'approche paléontologique (stases, anagenèses, gradualisme phylétique, etc.). Il est clair que le concept d'espèce biologique d'E. Mayr[4] doit être élargi dans la dimension temporelle. Je suggérerai la formulation suivante[5] : l'espèce correspond à un continuum dans le temps et dans l'espace entre des groupes de populations naturelles qui, à chaque instant du continuum temporel, sont interfécondes et isolées au point de vue reproductif de tout autre groupe analogue. L'isolement reproductif apparaît comme la conséquence secondaire de changements intervenant à n'importe quel niveau d'intégration et à n'importe quel moment dans l'histoire spatio-temporelle de l'isolat. Après l'acquisition de l'isolement reproductif, l'isolat qui est devenu une nouvelle espèce peut évoluer selon quatre scénarios principaux (tableau 1) :

- Stase morphologique. Comme Gould et Eldredge[6] l'ont affirmé, après Simpson[7], à l'issue de l'isolement reproductif, l'espèce peut se maintenir en stase morphologique, ce qui n'implique pas une stabilité aux autres niveaux d'intégrations. Par exemple les espèces peuvent diverger au niveau chromosomique, biochimique ou autre.

Tableau 1



Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

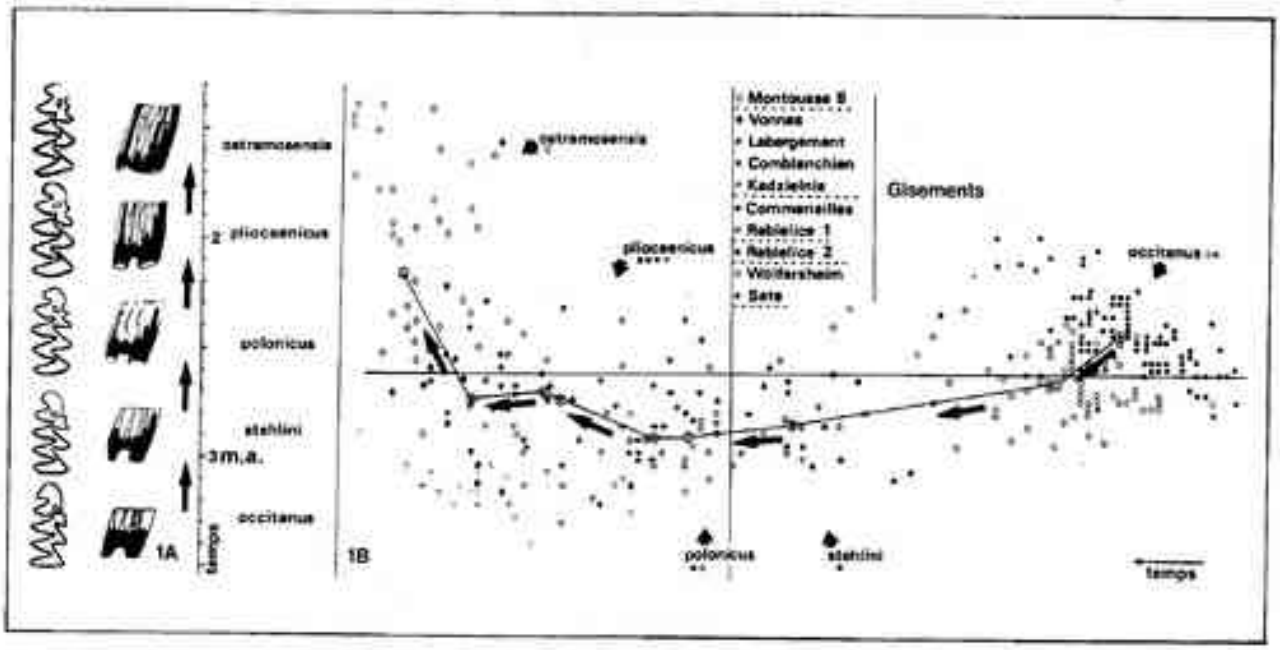


Fig. 1 Un exemple de gradualisme phylétique
La lignée des Campagnols qui mène de Mimomys occitanus à Mimomys estramoenensis avec les intermédiaires M. Stehlini, polonicus, pliocenicus présente une évolution graduelle à l'échelle de l'Europe.
La figure 1A montre sur la face latérale de la première molaire inférieure, des modifications graduelles de la ligne d'interruption de l'émail (en noir). Dans la séquence chronologique l'accroissement progressif de l'hypsodontie entraîne une élongation des tractus d'interruptions d'émail. D'autres caractères dentaires se modifient en même temps: morphologie de la surface occlusale, disparition progressive des racines dentaires, apparition progressive du cément, etc...). Ces modifications graduelles semblent résulter d'hétérochronies de développement, c'est-à-dire du déplacement dans le temps des processus de l'ontogénèse. Cette lignée évolutive correspond à une phase tardive de spéciation dont les phases précoces et l'isolement reproductif n'ont pu être fossilisés en raison des effectifs réduits et marginaux. Cette lignée correspond donc à une seule espèce (chronospèce) dont les divers degrés évolutifs (morphospèces) ont été décrits comme autant de paléospèces.
La figure 1B, par le biais de l'analyse simultanée de 25 caractères décrivant la morphologie dentaire dans 10 gisements européens, permet de reconnaître la succession de 5 espèces dérivant progressivement les unes des autres. Dans chacune d'entre elles, la variation entre individus chevauche légèrement celle des espèces qui la précède et la suit. La ligne brisée qui joint les centres de gravité des populations successives visualise les divers stades de cette évolution graduelle (d'après J. Chaline et B. Laurin, en préparation).

– Changements aléatoires. Les changements après l'isolement reproductif peuvent résulter de mutations aléatoires, de dérives génétiques ou d'autres processus entraînant des modifications souvent peu importantes.
– Modifications écophénotypiques itératives. Certaines espèces ont une grande variabilité morphologique potentielle étroitement liée aux paramètres de l'environnement. Seule une partie de la variabilité morphologique est exprimée à un instant donné, dans un environnement donné. Par exemple, dans une séquence temporelle, des fluctuations climatiques qui se répètent identiquement déterminent des variations morphologiques, écophénotypiques (c'est-à-dire liées aux milieux), itératives ou répétitives[7,8]. De telles espèces sont en stase morphologique générale, mais présentent des variations morphologiques partielles au sein d'une large variabilité potentielle.
– Gradualisme phylétique (fig. 1). Dans certaines espèces les changements morphologiques semblent liés à la mise en œuvre progressive d'hétérochronies de développement (déplacement dans le temps des processus ontogénétiques) dont le rythme est contrôlé par les variations des paramètres de l'environnement. Elles se traduisent par des phases de gradualisme phylétique.

Les conséquences du nouveau concept

La fréquence relative de ces quatre scénarios, qui constituent autant de phases tardives possibles de spéciation, semble varier d'un groupe zoologique à l'autre, et avec les environnements. La spéciation apparaît alors comme un ensemble de changements initiés dans un isolat de population et se produisant à des niveaux divers selon une séquence polyphasée. A un certain moment ils aboutissent à l'isolement reproductif puis, ultérieurement, à des stases, des changements aléatoires, des modifications écophénotypiques itératives ou à des gradualismes phylétiques. La phase tardive de spéciation peut être elle-même polyphasée et se traduire par des séquences où s'enchaînent les différents scénarios. La phase de spéciation s'achèvera avec la disparition de l'espèce. Selon les circonstances elle aura pu elle-même donner naissance à d'autres espèces.

Les processus, mécanismes et modalités de la spéciation sont analysables par la biologie à tous ses niveaux d'intégration jusqu'à l'acquisition de l'isolement reproductif, ceux de la phase tardive de la spéciation par la paléontologie. Ainsi se trouvent réconciliées les deux approches biologiques et paléontologiques de la spéciation qui se situent à des échelles temporelles différentes, mais sont complémentaires. Ainsi se trouve résolu le dilemne opposant le gradualisme phylétique aux équilibres ponctués clamant la prépondérance de la stase! Ce ne sont en fait que deux scénarios, deux stratégies adaptatives parmi d'autres, permettant à la nouvelle espèce de se maintenir en équilibre avec son milieu.

Cette nouvelle conception spatio-temporelle et polyphasée de la spéciation a d'autres conséquences au niveau de l'interprétation de l'évolution mais elles dépassent le cadre succinct de cette présentation.

■ Jean Chaline, directeur de recherche au CNRS, directeur d'études à l'Ecole pratique des hautes études, dirige le Centre de géodynamique sédimentaire et évolution géobiologique du CNRS (UA 157) à Dijon. Il a organisé en 1982 un colloque du CNRS sur "Modalités, rythmes et mécanismes de l'évolution."

BIBLIOGRAPHIE

(1) "Modalités, rythmes et mécanismes de l'évolution biologique: gradualisme phylétique ou équilibres ponctués?" Ed. J. Chaline, *Colloque Int. CNRS*, Paris, n° 330, 340 p.
(2) **J. CHALINE** (1984). – "Le concept d'évolution polyphasée et ses implications." *Géobios*, n° 17/6.
(3) **J. CHALINE** (1985). – Arvicolids data about evolution (*Arvicolidae, Rodentia*) (manuscrit déposé à *Evolutionary biology*).
(4) **E. MAYR** (1974). – *Systematics and the origin of species*. Columbia Univ. Press, New-York, 334 p.
(5) **J. CHALINE** (1972). – "Les rongeurs du Pléistocène moyen et supérieur de France". *Cahiers de paléontologie*, CNRS, Paris, 410 p.
(6) **S. GOULD et N. ELDREDGE** (1977). – "Punctuated equilibria : the tempo and mode of evolution reconsidered." *Paleobiology*, 3, 2, p. 115-151.
(7) **G.G. SIMPSON** (1944). – *Tempo and mode in evolution*. Columbia Univ. Press, 237 p.
(8) **D. ROUSSEAU et B. LAURIN** (1984). – "Variations de *Pupilla muscorum* (Gastropoda) dans le Quaternaire d'Achenheim (Alsace) : une analyse de l'interaction entre espèce et milieu." *Géobios*, 8, p. 349-355.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

ÉCOSYSTÈMES ET ÉVOLUTION

Patrick BLANDIN et Maxime LAMOTTE

L'évolution des espèces ne peut être comprise qu'en tenant compte de l'organisation des écosystèmes et des processus coévolutifs. Une véritable écogénétique comparée permettrait de mieux comprendre comment la diversification structurale et fonctionnelle des systèmes écologiques entraîne la diversification génétique des populations.

La théorie synthétique de l'Evolution est née de la mise en commun des connaissances de la génétique des populations, de la systématique évolutive et de la paléontologie. Aussi a-t-elle surtout pris en considération le niveau des espèces, donc celui des populations, entités dont la variation génétique constitue le phénomène de base de l'Evolution. Elaborée avant que l'Ecologie moderne ne se soit développée, cette théorie n'a pas intégré les concepts forgés par cette discipline.

L'écologie met l'accent sur la complexité des interactions qui jouent au sein des écosystèmes (ensembles d'espèces végétales, animales et bactériennes vivant dans un même endroit).

En réalité, toute population fait nécessairement partie d'un système écologique localisé très complexe, défini par de nombreuses caractéristiques physico-chimiques et comprenant une multitude d'espèces végétales, animales et bactériennes. Entre milieu et espèces, entre les espèces elles-mêmes, existent de multiples relations, qui en font un ensemble interactif auquel on donne le nom d'écosystème.

Chacun de ces systèmes est caractérisé par une structure spatiale et temporelle particulière ainsi que par un fonctionnement qui s'exprime par un transfert continuel de matière et d'énergie entre les populations des diverses espèces, phénomène associé au perpétuel renouvellement des individus composant chaque population.

Transformation génétique des populations, l'évolution des espèces ne peut donc être pleinement comprise que dans le cadre de la dynamique évolutive des écosystèmes, puisqu'elles en sont des éléments indissociables. Ceci revient en fait à rechercher la véritable signification de la sélection naturelle, trop vite assimilée à l'origine à un simple paramètre mathématique entrant dans les formules de la génétique des populations.

Interactions entre organismes vivants et facteurs physico-chimiques du milieu

Les facteurs physiques et chimiques interagissent souvent et, de plus, sont modifiés par les organismes vivants eux-mêmes.

Les facteurs physico-chimiques susceptibles d'agir sur les populations sont d'une extrême diversité et souvent leur nature et leurs modalités d'action restent inconnues. Le fonctionnement d'une population végétale, par exemple, dépend de la composition du sol. La présence d'azote y est évidemment essentielle, mais qu'en est-il exactement des divers autres éléments et oligoéléments, des substances carbonées? Le nombre de ces facteurs chimiques est certainement considérable mais rien ne permet d'affirmer a priori ceux qui ont un rôle effectif, ni quelle est leur importance comparée à celle des caractères physiques du sol, de sa teneur en eau...

Un facteur en apparence aussi simple que la température se révèle à l'analyse d'une extrême complexité. Dans un écosystème terrestre par exemple, elle dépend tout d'abord de la position topographique du lieu, mais au sein du système elle varie de point en point selon la hauteur au-dessus du sol, la structure de la végétation environnante... Ses variations temporelles dépendent de l'inertie thermique du système en chaque point. Bien entendu, tout ceci est à considérer en tenant compte de la taille et de la biologie des organismes étudiés, ce qui pose de difficiles problèmes d'échelles d'espace et de temps. Que devra-t-on entendre alors sous le vocable "facteur température" dans l'équilibre entre deux allèles dans la population étudiée ?

Bien plus complexe encore est le problème de l'interaction des facteurs. Pour prendre un exemple simple, un organisme peut supporter pendant un certain temps - une certaine température maximale dans un air sec, température qui peut se révéler létale (1) , dans le même temps, en atmosphère humide. En fait, à tout instant, chaque organisme est soumis à un ensemble de facteurs dont certains peuvent agir de façon synergique, et c'est vis-à-vis de cet ensemble qu'il présente une réaction intégrée.

Les relations entre les êtres vivants et le milieu ne sont pas à sens unique. Les organismes exercent sur les composantes physiques et chimiques de leur biotope une influence qui peut être considérable. Cette influence est d'ailleurs l'un des mécanismes, et non des moindres, par lesquels les espèces interagissent, une espèce modifiant le milieu dans lequel vivent les autres.

Ainsi, dans un écosystème terrestre, l'architecture de la végétation conditionne la répartition des rayonnements, la circulation atmosphérique, l'écoulement des précipitations: de ce fait, elle joue un rôle essentiel dans le déterminisme en chaque point des conditions thermiques et hydriques. La nature chimique des productions végétales oriente pour une part la dynamique de la décomposition des litières, donc le degré d'accumulation des matériaux sur le sol. La quantité de ceux-ci, leur structure, influent sur la circulation de l'air et de l'eau dans le sol et créent de point en point des microclimats particuliers qui interviennent dans la présence et l'activité de la microflore et de la faune.

Au total, si chaque écosystème est globalement soumis à l'influence de facteurs topographiques, lithologiques et climatiques dont le déterminisme lui est extérieur, il produit lui-même, en son sein, des interactions organismes-facteurs du milieu qui créent des déterminismes à double sens, sous le contrôle desquels jouent les relations interspécifiques.

(1) - mortelle

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

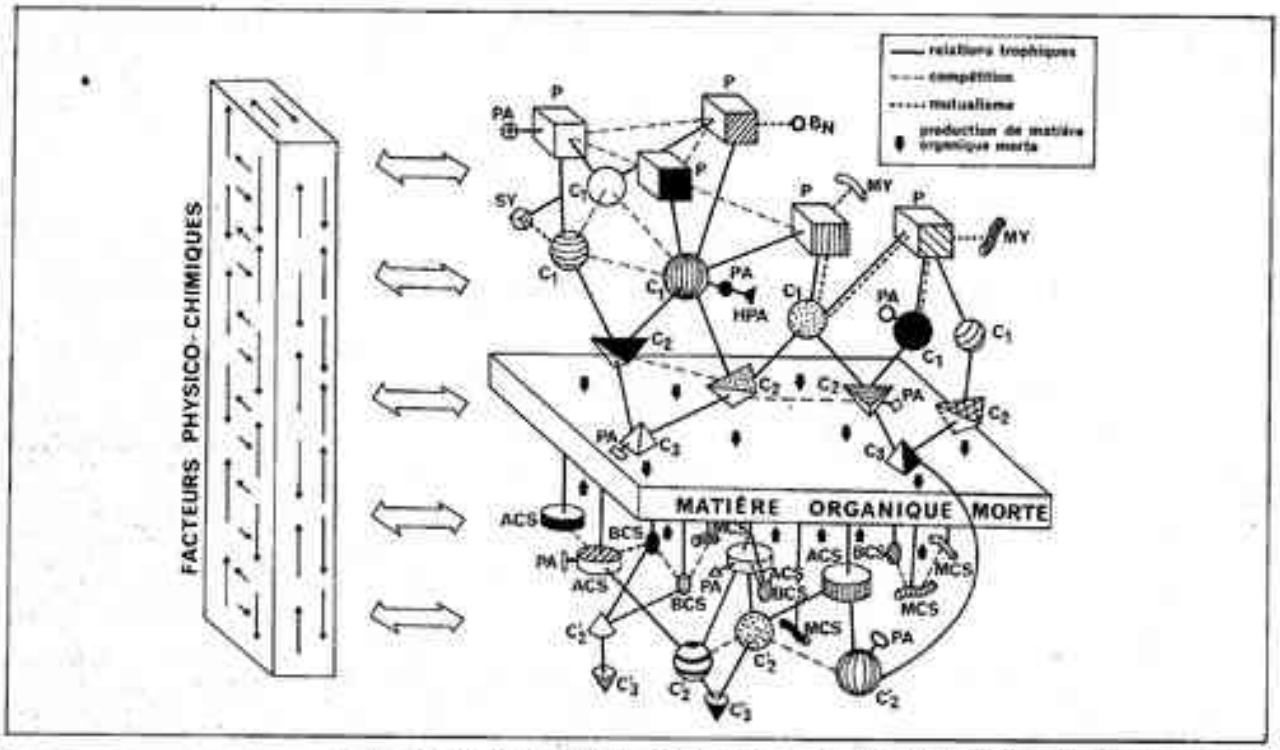


Fig. 1 - Les divers types d'interactions au sein d'un écosystème. Les végétaux producteurs primaires (P), élaborent la matière organique grâce à la photosynthèse; ils peuvent avoir des relations symbiotiques avec des bactéries fixatrices d'azote (B_N) ou avec des champignons mycorhiziens (MY). La matière végétale est consommée par des animaux consommateurs primaires (C_1), parfois grâce à des symbiotes du tractus digestif (SY). Ces animaux subissent une prédation de la part des consommateurs secondaires (C_2), et il existe même des prédateurs de prédateurs (C_3). A tous les niveaux existent des parasites (PA), bactéries, champignons, animaux, et même hyperparasites (HPA). La matière organique morte est consommée par des saprophages, bactéries (BCS), champignons (MCS) et animaux (ACS), à partir desquels se nourrissent des animaux prédateurs (C'_2), qui peuvent être consommés par d'autres prédateurs de niveau C'_3. Toutes les relations biotiques sont sous la dépendance des facteurs physico-chimiques du milieu, eux-mêmes modifiés par les organismes vivants. Chaque symbole représente une espèce différente.

Les divers types de relations interspécifiques et leur signification évolutive

Entre ceux-ci s'établissent diverses relations, les unes assurant la circulation de l'énergie (prédation, broutage, parasitisme), d'autres correspondant à la compétition d'espèces exploitant une même ressource, d'autres encore, dites mutualistes, assurant des avantages réciproques aux espèces concernées.

Le premier type de relations correspond à celles qui assurent la circulation de la matière et de l'énergie au sein des écosystèmes: ce sont la prédation, le broutage et le parasitisme.
La première implique la mort de chaque individu sur lequel le prédateur prélève sa nourriture. Le broutage est le fait d'animaux qui se nourrissent aux dépens de plusieurs hôtes au cours de leur vie, mais n'en prélèvent à chaque fois qu'une partie, de sorte que cela n'entraîne pas de mortalité immédiate des individus utilisés. Le parasitisme caractérise des organismes qui, au long de leur existence, se nourrissent à partir d'un seul hôte, dont la probabilité de survie est de ce fait amoindrie. Très différentes dans leurs modalités, ces relations trophiques n'ont vraisemblablement pas la même incidence du point de vue de la dynamique et de la génétique des populations.

Les relations se traduisent en général par des coadaptations (anatomiques, comportementales) des espèces impliquées, qui sont le fruit d'une coévolution.

Une deuxième catégorie de relations recouvre des situations qui ne sont pas nécessairement en rapport direct avec les transferts de matière et d'énergie, mais qui affectent les dynamiques des populations en interaction : ce sont les relations de compétition et de mutualisme.

La compétition concerne des espèces en concurrence pour l'exploitation d'une même ressource (habitat, nourriture...). Elle revêt deux aspects. Dans un premier cas, les compétiteurs agissent directement les uns sur les autres, par exemple en émettant des substances toxiques ou encore au travers de comportements d'agression. Dans le second, chaque espèce, en fonction de son efficacité d'exploitation, réduit les disponibilités laissé à l'autre: l'interaction est donc ici indirecte.

Les interactions mutualistes, au contraire des précédentes, accroissent la probabilité de survie des partenaires et favorisent ainsi le maintien des populations auxquels ils appartiennent. Il y a longtemps que des cas de symbiose ont été décrits et que l'on a souligné par exemple l'importance des animaux pollinisateurs dans la reproduction des végétaux, mais on ne mesure que depuis peu l'importance de ces phénomènes mutualistes dans le fonctionnement d'ensemble des écosystèmes.

Toutes ces relations entre espèces se traduisent en général par des coadaptations morphologiques, comportementales ou autres, parfois très spectaculaires. De tels ajustements impliquent une coévolution et donc une coséléction.

Depuis quelques années, des travaux que l'on peut qualifier d'Ecologie évolutive ont analysé les conséquences génétiques des interactions entre hôtes et parasites ainsi qu'entre plantes et animaux. Dans un ouvrage récent, Thompson (1982) a tenté une première synthèse des processus coévolutifs ainsi associés aux différentes catégories d'interactions, c'est-à-dire des mécanismes qui induisent une coordination partielle de l'évolution de patrimoines héréditaires pourtant génétiquement indépendants puisqu'appartenant à des espèces distinctes.

Dans le cas du parasitisme, la spécialisation poussée des parasites vis-à-vis des hôtes est la voie évolutive la plus probable, mais l'évolution en retour d'espèces-hôtes est moins évidente. Elle est toutefois possible si la présence des parasites affecte sensiblement la survie différentielle des hôtes avant leur reproduction, car des mécanismes de défense peuvent alors

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

être sélectionnés. A son tour, une aptitude à leur résister peut se développer chez les parasites par le jeu de la coséléction.

Chez les prédateurs et les brouteurs, la sélection conduit fréquemment à l'acquisition de régimes alimentaires plurispécifiques et flexibles. Dans ces conditions une coévolution étroite entre une espèce exploitante et une espèce exploitée est moins probable que dans les systèmes hôtes-parasites, surtout si le nombre d'espèces exploitables simultanément est élevé.

Dans les interactions compétitives, l'émergence d'un processus coévolutif ne va pas toujours de soi, car la sélection peut favoriser une réduction de la compétition, donc réduire la fréquence des interactions et par suite les possibilités de coséléction. Un processus coévolutif est d'autant plus probable que les espèces simultanément compétitrices sont moins nombreuses; il peut alors aboutir à une divergence des caractéristiques des espèces, phénomène dit de "déplacement des caractères".

La coévolution peut être étudiée en considérant des paires d'espèces liées par une interaction particulière, mais elle ne peut être réellement comprise que si l'on étudie, au sein des écosystèmes, des groupes d'espèces, ou cénons, ayant entre elles des relations plus étroites qu'avec toute autre espèce.

L'émergence d'interactions mutualistes, au contraire, résulte nécessairement de processus coévolutifs, selon deux modalités principales. L'analyse de divers types de relations plantes-animaux montre qu'une relation mutualiste peut dériver d'une relation antagoniste, surtout si celle-ci revêt un caractère obligatoire. Certains auteurs envisagent également le développement de relations mutualistes entre des espèces moyennement adaptées à des milieux assez fréquemment perturbés; l'établissement de telles relations peut en effet augmenter significativement les probabilités de survie de ces espèces.

D'une façon générale, la sélection peut entraîner une forte dépendance d'une espèce vis-à-vis de l'autre, mais non l'inverse: l'existence d'une interaction entre deux espèces ne suffit pas à créer automatiquement les conditions d'une coséléction au sens le plus strict. Cependant, raisonner sur les phénomènes coévolutifs en ne considérant que des paires d'espèces et en donnant aux concepts de coséléction et de coévolution des acceptions trop étroites risque d'occulter les phénomènes les plus importants. Ce qu'il convient d'analyser, ce sont les ensembles plurispécifiques susceptibles de former de réelles entités coévolutives.

Structure des écosystèmes et mécanismes coévolutifs

Dans un écosystème, chaque espèce doit être considérée comme un "nœud" au sein d'un réseau d'interactions (fig. 1). C'est à l'échelle de ce réseau qu'il faut concevoir la coséléction: toute modification de l'une quelconque des espèces retentit, directement ou indirectement, sur la structure des patrimoines génétiques des autres populations en modifiant le contexte sélectif auquel elles sont soumises.

Il est donc logique de concevoir la coévolution à l'échelle de l'écosystème tout entier, puisque celui-ci constitue en principe une entité spatiale, structurale et fonctionnelle bien définie. Dans la pratique, pour des raisons d'efficacité de la recherche, il est préférable de considérer des ensembles d'espèces plus restreints, liées par des interactions particulièrement fortes.

Dans cette perspective, le concept de guilde pourrait paraître séduisant: il correspond en effet à des groupes d'espèces, taxinomiquement proches, qui, au sein d'un écosystème, se partagent une même ressource. Cependant, il ne suffit pas de considérer des ensembles d'espèces définis uniquement par des relations de compétition: la dynamique coévolutive d'une guilde ne peut être comprise que si l'on prend aussi en compte la ou les espèces taxinomiquement éloignées qui utilisent la même ressource.

On est ainsi conduit à rechercher au sein d'un écosystème ce qu'on peut appeler des "grains d'interactions denses" ou cénons, entendant par là des ensembles d'espèces ayant entre elles des interactions plus étroites et plus systématiques qu'avec toute autre espèce de l'écosystème (fig. 2): ce sont de tels ensembles qui peuvent former de véritables

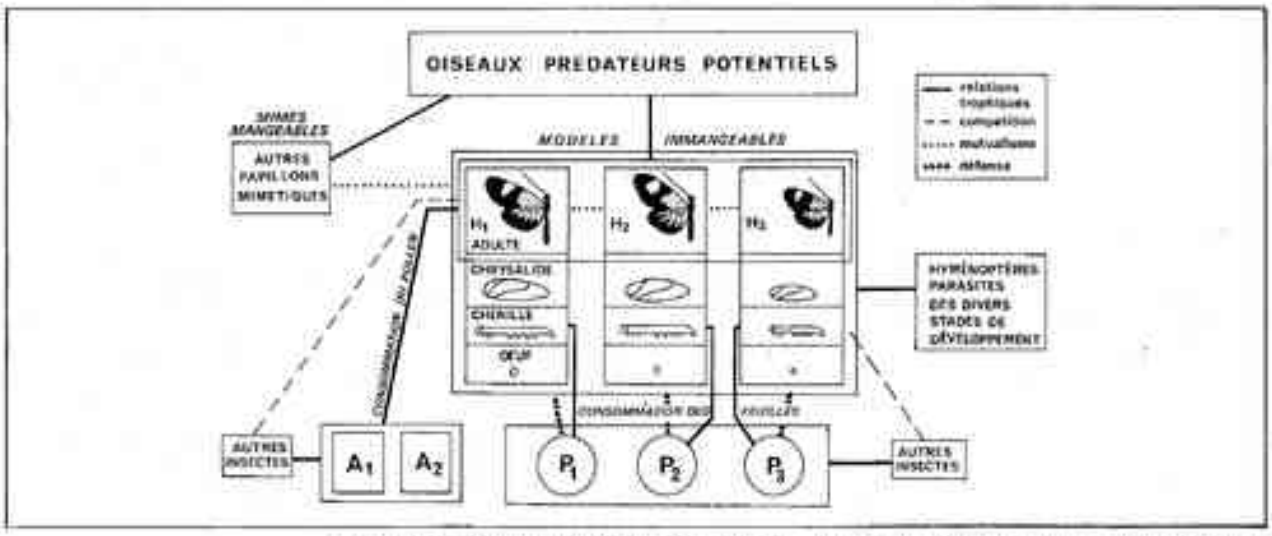


Fig. 2 - Un exemple de "grain d'interactions denses". Dans les forêts d'Amérique tropicale, les papillons du genre Heliconius forment des groupes d'espèces mimétiques (H_1, H_2...) dont les chenilles se développent sur différentes espèces du genre Passiflora (P), qui semblent susceptibles développer des mécanismes de défense vis-à-vis des Heliconius. Les papillons adultes dépendent des fleurs du genre Anguria (A), car ils se nourrissent de leur pollen pendant la période de ponte; ils reconnaîtraient les Passiflora en fonction de la forme des feuilles. A l'état larvaire, les Heliconius pourraient être en compétition avec d'autres insectes utilisant les Passiflora, mais leurs populations sont peut-être limitées par divers Hyménoptères parasites. Les adultes pourraient être en compétition avec d'autres insectes exploitant les fleurs d'Anguria. Par ailleurs, ils forment ce que l'on appelle des "anneaux mimétiques" avec des papillons d'autres familles, tous, grâce à leurs dessins contrastés, sont évités par les Oiseaux, prédateurs potentiels qui apprennent à reconnaître les Heliconius, non comestibles, si confondus avec eux diverses espèces mimétiques qui pourraient seraient comestibles et sont ainsi protégées. L'évolution d'un système de populations aussi complexe ne peut être comprise que si l'on tient compte de l'ensemble des interactions en jeu.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

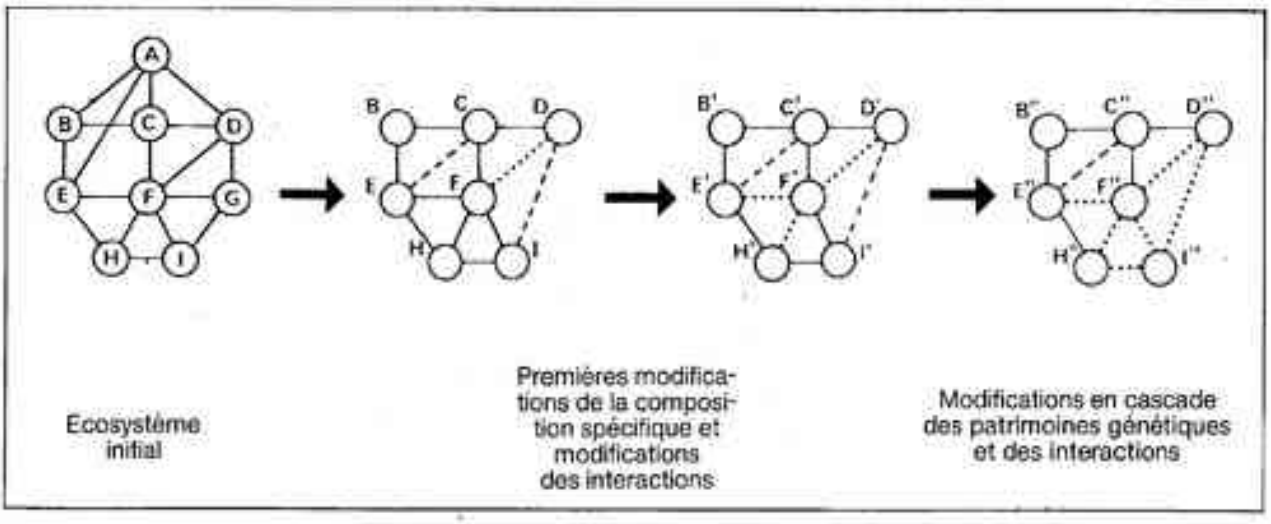


Fig. 3 - Conséquences évolutives des interactions à l'échelle des écosystèmes. Les patrimoines génétiques des espèces peuvent par ajustements progressifs des états B, C, D, ... aux états B', C', D', ... puis B'', C'', D'', ... Ces modifications génétiques entraînent elles-mêmes des changements dans la nature et les modalités des relations interspécifiques. Les traités et pointillés représentent de nouvelles interactions ou des interactions modifiées.

Les systèmes écologiques, interconnectés de proche en proche, forment un continuum d'interactions dont la structure varie dans l'espace.

Quand ce continuum est rompu, les cénons d'écosystèmes isolés peuvent être l'objet de processus coévolutifs différents si leurs réseaux d'interactions se modifient selon des modalités divergentes.

entités coévolutives. Bien entendu, des interactions "externes" existent et l'écosystème doit être considéré comme un assemblage local de cénons interconnectés et donc s'influençant mutuellement.

Les systèmes écologiques forment un tissu continu sur de vastes étendues. Au sein de ce tissu, la structure varie dans l'espace, soit de façon graduelle, soit du fait de discontinuités de plus ou moins grande ampleur, selon qu'elles affectent quelques espèces ou toute une communauté. Les divers écosystèmes forment ainsi un continuum d'interactions, mais un continuum que l'on peut qualifier d'hétérogène, à la fois du fait de la diversité des écosystèmes adjacents et des variations spatiales de la structure des cénons au sein d'un même type d'écosystème.

L'un des mécanismes les plus importants dans l'évolution est la résorption de certains écosystèmes en unités isolées les unes des autres par des milieux différents ou, plus encore, la fragmentation du continuum écologique. En raison de l'hétérogénéité de celui-ci, ce processus aboutit à l'isolement de systèmes de cénons toujours plus ou moins originaux, du fait des particularités de leurs structures spécifiques et donc de leurs réseaux d'interactions.

Tout isolat constitue ainsi une entité écologique au sein de laquelle peut jouer un processus coévolutif divergeant par quelques aspects des processus coévolutifs en cours dans d'autres parties du continuum. Même en l'absence de différences sensibles des conditions de milieu, les seules modifications des réseaux d'interactions peuvent soumettre les populations à des contextes sélectifs très différents d'une entité coévolutive à une autre (fig. 3). Ces modifications peuvent être liées à des changements de dominance de certaines espèces, ou même à la disparition complète de certaines populations. Ce dernier phénomène est d'autant plus probable que les isolats sont de dimensions plus réduites.

L'enclenchement d'un processus coévolutif induit progressivement un ajustement des espèces par l'enchaînement de modifications réciproques des patrimoines génétiques, chaque espèce influençant les autres par le biais du réseau d'interactions. Tant qu'un équilibre n'est pas atteint, les espèces se modifient ainsi de façon graduelle.

Si des entités coévolutives séparées fonctionnent dans des conditions de milieu devenant de plus en plus différentes, les processus coévolutifs divergent; s'ils affectent des populations appartenant initialement à la même espèce, le phénomène peut aboutir à l'acquisition chez ces populations de caractéristiques rendant tout croisement impossible: la spéciation est achevée. Le fait même que ceci se produise au sein d'entités coévolutives faites de populations étroitement interactives permet en outre de penser que la spéciation doit affecter en même temps différentes populations: il y aurait cospéciation. Le problème est alors de comprendre comment le jeu de la coséléction peut provoquer la spéciation concomitante

Savane à palmiers rôniers de Lamto

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

d'espèces interactives dont les rythmes évolutifs peuvent cependant différer.

La prise en compte par la théorie de l'Evolution des notions fondamentales de l'Ecologie conduit à accorder une place centrale au concept de coévolution. De nouvelles voies de recherche se dessinent alors.

Jusqu'à présent, une part importante des études écologiques a été surtout consacrée à la détermination des flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes. Il reste beaucoup à faire dans ce domaine, mais les efforts pourraient porter en particulier sur l'analyse de ces "grains d'interactions denses" qui constituent clairement des entités coévolutives: il importe de caractériser qualitativement et, chaque fois qu'il est nécessaire, quantitativement toutes les interactions essentielles reliant les espèces constitutives des cénons distingués au sein des écosystèmes.

A partir de là, un axe majeur de la recherche devrait concerner l'analyse de l'hétérogénéité du continuum écologique: dans une perspective dynamique en effet, celle-ci est à la fois fruit et source de l'évolution. Par l'étude des relations entre les variations spatiales de la structure et du fonctionnement des cénons et celles de la structure génétique des populations, une véritable écogénétique comparée pourrait être développée, qui permettrait de mieux comprendre comment la diversification structurale et fonctionnelle des systèmes écologiques peut entraîner la diversification génétique des populations. On approcherait ainsi davantage d'une compréhension en profondeur des mécanismes de la sélection naturelle.

Cette divergence évolutive des cénons, favorisée par leur hétérogénéité initiale, peut aboutir à des phénomènes de spéciation (différenciation des espèces) susceptibles de concerner plusieurs espèces à la fois, puisque toute modification de l'une peut retentir sur les autres par l'intermédiaire du réseau d'interaction.

■ Patrick Blandin, maître-assistant à l'université de Paris VI, travaille à l'unité associée "Structure et bioénergétique des écosystèmes continentaux" (UA 258).

■ Maxime Lamotte, professeur à l'université de Paris VI, dirige l'unité associée "Structure et bioénergétique des écosystèmes continentaux" (UA 258), Ecole normale supérieure, Laboratoire de zoologie, 46, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.

BIBLIOGRAPHIE

Les publications et ouvrages suivants offrent une vue diversifiée des concepts fondamentaux de l'Ecologie, et notamment de l'Ecologie évolutive. Le lecteur intéressé y trouvera d'abondantes références bibliographiques.

R. Barbault 1981. - *Ecologie des populations et des peuplements*. Masson, Paris : 200 p.

R. Barbault, P. Blandin et J.A. Meyer, éds. 1980. - *Recherches d'Ecologie théorique, les stratégies adaptatives*. Maloine, Paris : 299 p.

P. Blandin, R. Barbault et C. Lecordier, 1976. - "*Réflexions sur la notion d'écosystème: le concept de stratégie cénotique*" Bull. Ecol., 7 : 391 - 410.

J. Blondel, 1979. - *Biogéographie et écologie*, Masson, Paris : 173 p.

J. Genermont, 1979. - *Les mécanismes de l'évolution*. Dunod Université, Paris : 232 p.

J. Genermont et M. Lamotte, à paraître. *Place et rôle de l'adaptation dans l'évolution biologique*. Pastoue, juillet 1984.

M. Lamotte, 1961. - "*Les mécanismes génétiques à l'origine de la formation des races insulaires*". *In : Le peuplement des îles méditerranéennes et le problème de l'insularité*. CNRS, Colloques internationaux Paris, 94 : 299 - 311.

M. Lamotte et P. Blandin, sous presse. *La transformation des écosystèmes, cadre et moteur de l'évolution des espèces*. Scientia, 1985.

M. Lamotte, C.F. Gacchi et P. Blandin, 1984. - *Ecologie*, *In : Encyclopaedia Universalis*, 2e éd.

F. Ramade, 1984. - *Eléments d'écologie, écologie fondamentale*. McGraw-Hill, Paris: 397 p.

J.N. Thompson, 1982. - *Interaction and coevolution*, J. Wiley and Sons, New York: 179 p.

J. Vieira Da Silva, 1979. - *Introduction à la théorie écologique*. Masson, Paris: 112 p.

L'intervention du hasard dans les mécanismes de l'évolution.

Nul ne saurait contester le rôle majeur de la sélection naturelle comme facteur de l'évolution du patrimoine génétique des espèces: elle trie à chaque génération au sein de l'extraordinaire diversité des génotypes que créent les mutations et plus encore les recombinaisons génétiques. La preuve en est donnée par la remarquable souplesse de l'adaptation des populations à leur milieu, tant abiotique que biotique, adaptation qui se manifeste surtout dans l'espace, mais s'observe parfois aussi dans le temps, souvent alors favorisée par l'hétérozygotie en de nombreux locus.

La sélection, cependant, n'est que statistiquement définie. Lorsque l'effectif de la population est très faible, les fluctuations fortuites de la fréquence génique peuvent prendre beaucoup d'importance et conduire même parfois à l'extinction de l'allèle en principe favorisé: c'est un effet de fondation du premier ordre, susceptible d'expliquer la composition parfois aberrante de certaines populations isolées d'espèces polymorphes.

A l'échelle de l'ensemble des locus du génome, ce phénomène fortuit d'extinction d'un allèle, ou au moins de variation importante de sa fréquence, se trouve évidemment amplifié considérablement. Il s'accompagne en outre, par suite des interactions géniques - les actions non additives des gènes - , d'une modification des valeurs sélectives qui affectent chaque couple d'allèles. Les événements fortuits de départ - des fréquences nouvelles des divers gènes liées au passage par un effectif réduit - se traduisent alors dans la population, même redevenue nombreuse, par des niveaux d'équilibre génique qui diffèrent de ceux de la population d'origine: c'est un effet de fondation de second ordre. Un remaniement du patrimoine génétique - une "révolution génétique" au sens de Mayr - s'est produit, imprévisible au départ, mais déterminé ensuite par la sélection. Même sans modification du milieu, cet isolement d'un nouveau patrimoine génétique, s'il se prolonge, peut entraîner une évolution différente de celle du patrimoine originel et, par delà le stade de la spéciation, conduire à une évolution divergente de la lignée ainsi créée.

L'isolement d'un petit nombre d'individus d'une espèce est très souvent lié à un changement plus global, celui de tout le milieu biotique: c'est l'élimination d'un certain nombre d'espèces lors de la phase de réduction de l'écosystème. Les conséquences de cet appauvrissement de la biocénose - en quelque sorte un effet de fondation de troisième ordre - vont se manifester par le canal du nouveau réseau d'interactions entre les différentes populations : elles déterminent un nouveau système d'équilibres, qui sera inéluctablement la cause de remaniements génétiques dans toutes les espèces. La complexité et la diversité de ces réajustements génétiques les rendent toutefois totalement imprévisibles, comme est imprévisible la vraie nature des interactions qui s'établissent entre les diverses espèces.

Ainsi, à trois niveaux différents, ceux du couple d'allèles, de l'ensemble des locus d'un patrimoine génétique et enfin de l'ensemble des espèces d'une biocénose, la réduction des effectifs entraîne des conséquences évolutives qui sont sans rapport évident avec les causes qui les ont produites et traduisent ce que l'on peut appeler une intervention du hasard. Cette intervention de phénomènes fortuits liés aux effets de fondation qui diversifie les modalités de la sélection naturelle est à l'origine de l'extraordinaire richesse de formes et de fonctionnements qui caractérise les êtres vivants.

Maxime LAMOTTE

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

ÉVOLUTION MOLÉCULAIRE DES POPULATIONS ET DES ESPÈCES

François BONHOMME

L'étude de l'évolution suppose l'observation de caractères qui varient d'une espèce à l'autre. Les données biochimiques comptent parmi ces caractères et l'avènement de la génétique moléculaire moderne a produit une quantité considérable d'informations nouvelles. En permettant une analyse directe de l'ADN, support de l'hérédité génomique, ces techniques ont révélé notamment que certaines portions du génome présentaient une variabilité très importante, aussi bien entre espèces qu'à l'intérieur des populations.

L'objet de cet article est l'étude des grandes lignes de l'évolution des espèces et des populations qui les constituent à partir des documents moléculaires disponibles.

Les séquences des protéines sont d'autant plus différentes que les espèces sont plus éloignées.

Les protéines semblent évoluer à la même vitesse quelles que soient les contraintes du milieu.

Vers la fin des années 70, les techniques de la génétique moléculaire ont permis d'obtenir une analyse directe de l'ADN.

Au sein des populations le polymorphisme des acides nucléiques est très important et très variable d'un endroit à l'autre du génome.

Il existe deux façons de s'intéresser à l'évolution moléculaire : l'une s'adresse aux systèmes moléculaires *per se* pour en comprendre la genèse et les mécanismes par lesquels ils se modifient et se diversifient (évolution du génome et de ses produits); l'autre qui est plus particulièrement l'objet de cet article, cherche à retracer les grandes lignes de l'évolution des populations et des espèces à partir des documents moléculaires disponibles.

Bien entendu, les deux niveaux d'observation sont fortement liés : pour perdurer, les gènes (le génome) sont condamnés à se reproduire, et il semble qu'ils n'aient pas trouvé de meilleur artifice pour ce faire que de produire des individus viables et fertiles. Ainsi, on ne peut comprendre l'apparition et la fixation de variants moléculaires nouveaux sans se poser la question de leur impact éventuel sur la valeur adaptative des individus qui les portent, ou s'interroger sur les mécanismes populationnels qui président au tri et à l'échantillonnage des gènes (ou des combinaisons de gènes) d'une génération à l'autre. Réciproquement, les possibilités d'innovation du génome contrôlent le domaine du possible dans les limites duquel peut évoluer une espèce, voire même dans certains cas lui imprimer des contraintes particulières par sa dynamique propre.

Historiquement deux types de données moléculaires ont, dans les années 60, bousculé les conceptions classiques de la théorie darwinienne en suggérant que le hasard pouvait jouer dans les processus évolutifs un rôle plus important que celui généralement admis (voir encadré).

Les reconstitutions phylogéniques basées sur le séquençage de protéines homologues ont montré clairement que les séquences protéiques de différentes espèces diffèrent en raison inverse de leurs parentés supposées et que le taux de substitution d'acides aminés semblait à peu près constant d'une lignée à l'autre. La figure 1 illustre clairement ce point. Cette découverte a été à la base de la notion d'horloge moléculaire et a servi dans une large mesure de point d'appui à la théorie neutraliste de l'évolution : les protéines semblent évoluer à la même vitesse quelles que soient les contraintes exercées par le milieu.

Par ailleurs, l'électrophorèse des protéines utilisée à des fins de comparaisons interindividuelles a révélé que le polymorphisme (existence simultanée dans une population de plusieurs formes d'un même caractère) était la règle plutôt que l'exception et ce dans des proportions telles qu'il est difficile d'en expliquer le maintien par des mécanismes sélectifs sans soulever un problème insoluble de fardeau génétique. Il faut noter ici que c'est l'ensemble des génomes mis en contact par la reproduction sexuée, c'est-à-dire la population au sens large qui constitue le cadre naturel de ces données, c'est-à-dire l'unité évolutive.

Vers la fin des années 70 l'apparition des techniques de la génétique moléculaire, maintenant vulgarisées, a permis d'obtenir une information plus abondante et plus directe (analyse directe de l'ADN) et surtout plus diversifiée, puisque la totalité du génome nous est maintenant accessible.

Conjointement à l'élucidation de la structure du génome, une grande diversité de mécanismes capables de générer de la variabilité, ou au contraire d'en éliminer, ont été mis en évidence. Quelles sont les conséquences pour la biologie évolutive de ces avancées techniques et conceptuelles ? Nous voudrions l'illustrer plus particulièrement dans le domaine de l'analyse du polymorphisme intrapopulationnel, de la spéciation et des reconstitutions phylogénétiques.

Polymorphisme intrapopulationnel

La biologie moléculaire nous fournit potentiellement une masse énorme de marqueurs pour ces études. Les données réellement interprétables sont cependant encore peu nombreuses, principalement parce que les biologistes moléculaires n'ont en général pas encore intégré l'approche populationnelle dans leur démarche et parce que les généticiens des populations n'ont pas encore les moyens de franchir le fossé technologique d'autre part. Quelles sont néanmoins les premières réponses apportées et les nouvelles questions posées ?

Il apparaît que le polymorphisme des acides nucléiques est à la fois très important et très variable d'un endroit à l'autre du génome. Certaines séquences sont très conservées, d'autres très variables. En plus du polymorphisme de séquence, il existe un polymorphisme d'organisation qui montre que le génome est soumis à un flux constant de réarrangements qui joue sans cesse sur le nombre de copies de certains éléments, leur positionnement, leur séquence. Si l'on considère que tous les variants ainsi générés sont indépendants, le nombre de combinaisons possibles est énorme et l'on ne voit pas comment la sélection naturelle peut gérer individuellement ces variants répartis sur 10^9 paires de bases et trier les bons des mauvais si tant est qu'ils aient tous un effet phénotypique[10]. Nous pouvons cependant considérer que :

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

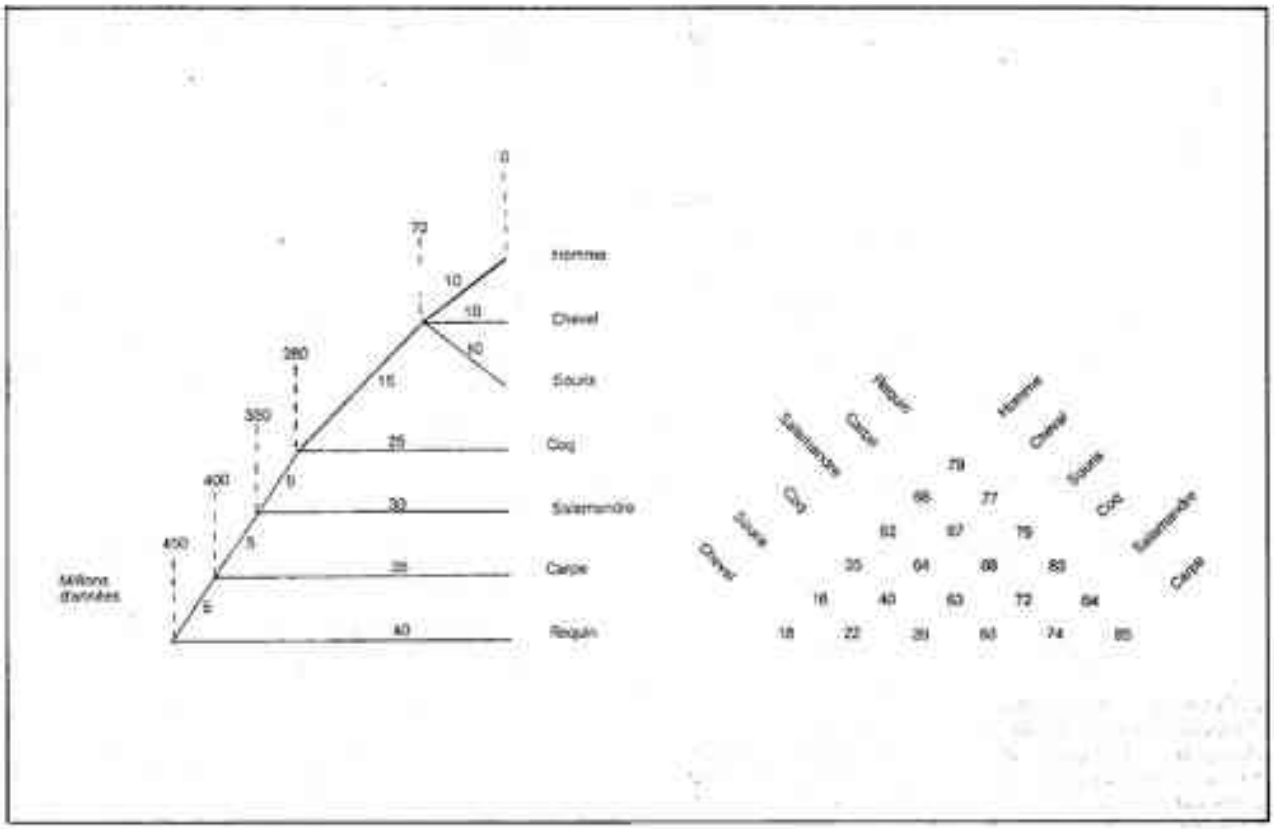


Fig. 1 - Divergence moléculaire de la chaîne de l'hémoglobine chez sept espèces de Vertébrés. (d'après Kimura, M., Pour la Science, janvier 1980). La matrice triangulaire donne le nombre de substitutions d'acides aminés détectables pour chaque paire d'espèces. La figure présente une reconstitution simplifiée de ce que l'on pourrait appeler la quantité d'évolution s'étant produite sur chaque branche de l'arbre phylogénétique. Il apparaît ici clairement que malgré les changements complexes de milieu et d'adaptation, il n'y a pas plus de substitutions dans la lignée conduisant aux Mammifères que dans celle de la carpe ou de la salamandre par exemple.

A l'intérieur du génome, certaines séquences évoluent avec leur dynamique propre. De telles modifications du génome ne s'expriment pas toujours dans l'apparence (phénotypes) des populations, mais sont des marqueurs moléculaires très utiles pour mesurer la diversité.

Le nombre des combinaisons génétiques existant dans les populations naturelles est en fait largement inférieur à ce qu'il pourrait être compte-tenu de la grande variabilité disponible.

a) certaines séquences évoluent à l'intérieur du génome avec leur dynamique propre. Ainsi par exemple, on a pu montrer que certaines familles d'éléments répétées (séquences qui, rappelons-le, constituent plusieurs dizaines de pourcent du génome des êtres vivants évolués) étaient capables de modifier le nombre de leurs copies ou de substituer leur motif de base par un motif mutant de façon rapide et simultanée à la fois dans toutes les copies présentes dans le génome et chez tous les individus de la population. Ce phénomène, appelé évolution concertée ou coïncidentale, ne peut s'expliquer que par l'existence d'une dérive moléculaire aléatoire ou orientée, et ajoute au flux continu de réarrangements qui affectent le génome. De même, le fait que certains éléments mobiles puissent se dupliquer de façon autonome dans le génome et éventuellement envahir la population en se transposant d'un chromosome à l'autre sans être sélectionnés par leur action phénotypique a conduit certains auteurs à proposer le concept d'ADN égoïste. Notons ici que tous les mécanismes répétitifs non réciproques qui peuvent permettre à une séquence d'augmenter le nombre de ses copies (à la fois en installant cette séquence à d'autres endroits du génome ou en lui permettant de coloniser des sites homologues vacants) constituent des cas de transmission non-mendélienne qui doivent être pris en compte dans les modèles d'explication du maintien du polymorphisme. Quoiqu'il en soit, la majeure partie de l'ADN génomique n'étant pas codante, la plupart des variants ponctuels générés par les mécanismes décrits ci-dessus n'ont probablement pas d'effets phénotypiques (sont neutres). Ils n'en constituent pas moins des marqueurs moléculaires très utiles pour mesurer la diversité intrapopulationnelle et les échanges interpopulationnels (flux génique).

b) le génome est un ensemble compact qu'il convient de considérer dans sa globalité et non plus point par point comme c'est très souvent le cas. Dans les populations naturelles si grandes soient-elles, le nombre de combinaisons génétiques existant *de facto* est largement inférieur à ce qu'il pourrait être compte tenu de l'immense masse de variabilité disponible, même si l'on prend en compte les mécanismes limitant la recombinaison à la méiose. L'étude des écarts que montrent ces combinaisons par rapport à une distribution aléatoire telle qu'elle sera rendue possible par les techniques moléculaires permettant de "marcher" sur le chromosome à grandes enjambées se révèlera être un outil extrêmement précieux pour comprendre les mécanismes évolutifs qui agissent sur les combinaisons de gènes ou sur des portions entières du génome.

(1) On appelle phénotype l'expression des caractères du génotype.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Divergence moléculaire et isolement reproductif

Existe-t-il des mécanismes moléculaires de la spéciation ? La réponse à cette question dépend du sens que l'on donne à ce dernier terme.

– Si l'on considère la spéciation dans son acception restreinte d'acquisition de l'isolement reproductif, la réponse est probablement non. La notion de spéciation sympatrique[2] n'a en effet jamais reçu de démonstration expérimentale directe et il semble que l'isolement précède toujours la divergence et que de très faibles différences phénotypiques (physiologiques, morphologiques, comportementales,...) soient suffisantes pour maintenir cet isolement, sans qu'il existe *a priori* d'incompatibilités génomiques.

– Si l'on prend maintenant le terme de spéciation dans son sens plus large de genèse de types spécifiques nouveaux, il est alors raisonnable de penser qu'il existe un certain nombre de mécanismes moléculaires pouvant influer sur le devenir du génome à un stade précoce de la divergence et conditionner ainsi l'évolution subséquente des espèces. Ainsi, on a pu mettre en évidence chez la Drosophile *(D. melanogaster)* des phénomènes de difficultés de reproduction des hybrides dues à la présence d'éléments transposables occasionnant des incompatibilités nucléocytoplasmiques. Ces éléments transposables ont envahi maintenant le génome des populations de *D. melanogaster* dans leur intégralité et, s'ils ont occasionné des remaniements génétiques (on a parlé de crise de transposition), ils n'ont néanmoins pas créé d'isolats reproductifs nouveaux.

Il n'en demeure pas moins vrai que l'isolement reproductif lui-même est une notion difficile à saisir, puisqu'il n'est pas toujours acquis de façon définitive. Des modifications biogéographiques ou écologiques peuvent remettre en contact des génomes déjà différenciés après une phase plus ou moins longue d'isolement. Quand il n'y a pas interstérilité totale, les interactions qui en résultent fournissent de bons modèles pour étudier la coadaptation des différents éléments du génome. Ces interactions comptent à notre avis parmi les cas les mieux attestés ou des phénomènes affectant le niveau d'intégration inférieur (le génome) influent de façon sensible sur le niveau supérieur (la population).

Si on prend la spéciation dans son sens le plus large de genèse de types nouveaux, on peut penser qu'il existe un certain nombre de mécanismes moléculaires pouvant influer sur l'évolution des espèces.

(2) On appelle "sympatrie" la cohabitation, dans un même milieu, d'espèces fertiles qui ne s'hybrideront pas.

Phylogénies moléculaires

Les premières études, comme celle présentée en figure 1, étaient basées sur le séquençage protéique entre espèces assez éloignées. Ces techniques, lourdes, n'ont pas permis en général d'avoir accès à la variabilité intraspécifique. C'est donc la plupart du temps une molécule par espèce qui a été séquencée, et ce pour des représentants de groupes phylétiquement éloignés. Avec ce type de résultats, l'adéquation une espèce/une molécule/une phylogénie a pu sembler assez bonne.

Quand on s'adresse maintenant à des espèces proches et que l'on travaille directement sur certaines fractions génomiques assez variables, cette équation s'énonce plus correctement : des populations/des molécules/des phylogénies. Nous illustrerons cela grâce à des exemples fournis par l'analyse d'une des molécules les plus étudiées en biologie évolutive, l'ADN mitochondrial. Ce génome, transmis maternellement et porté par les mitochondries incluses dans le cytoplasme, semble évoluer jusqu'à dix fois plus vite que le reste du génome cellulaire contenu dans le noyau (chromosomes). C'est donc un bon candidat pour l'analyse de la différenciation entre groupes d'individus phylétiquement proches. L'analyse de la variabilité de séquence de cet ADN chez plusieurs individus d'espèces apparentées de souris (fig. 2A) a montré que :

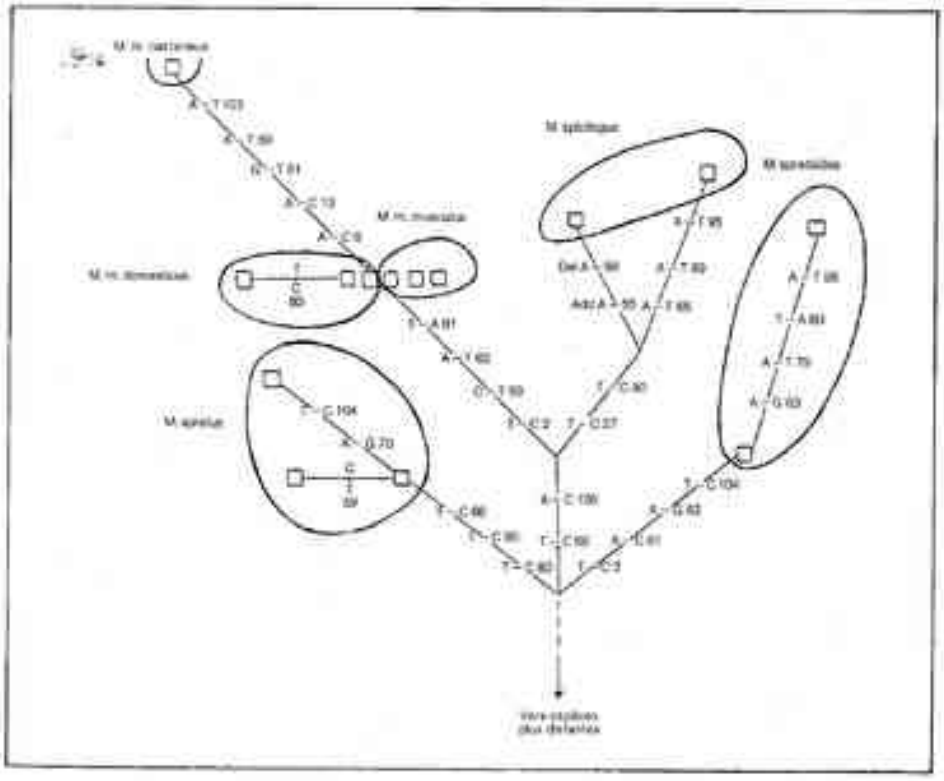
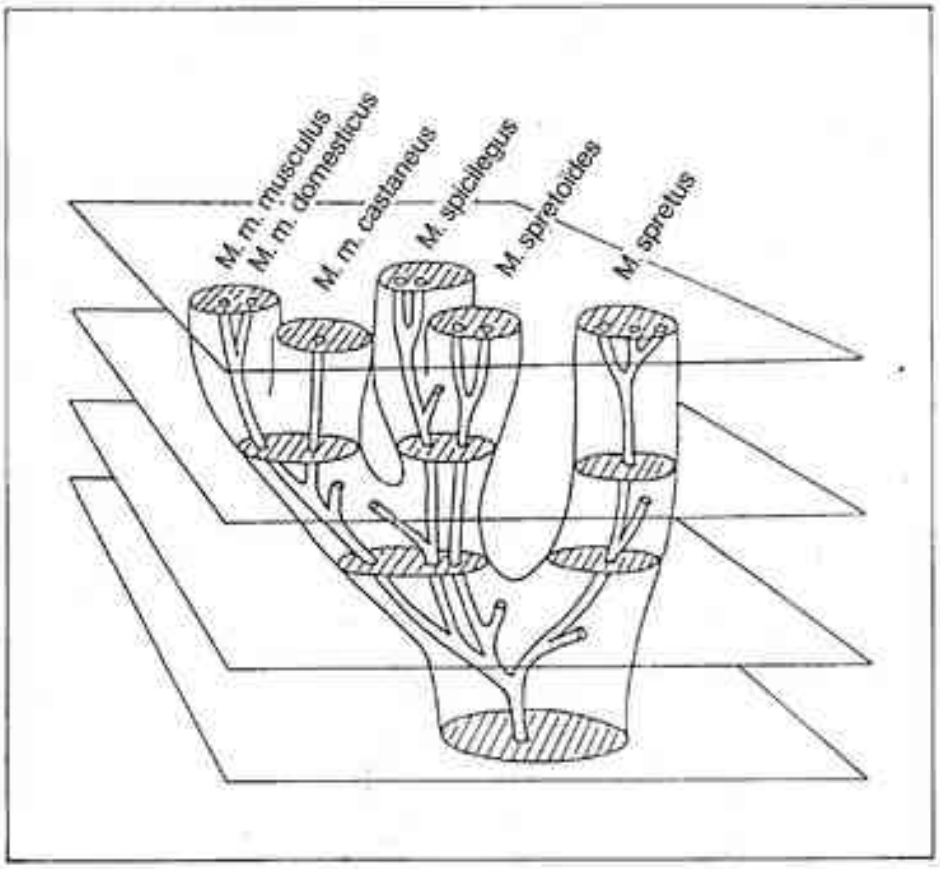


Fig. 2 - Variabilité de séquence des 110 nucléotides terminaux de l'extrémité 5' de l'ARN mitochondrial 16S chez six espèces et semi-espèces du genre Mus. (d'après Fort, Ph. et coll., Evolutionary Theory, oct. 1984).

A - Arbre mutationnel minimal représentant la généalogie de 14 clones mitochondriaux. Les substitutions nucléotidiques sont orientées de gauche à droite ou de bas en haut.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf



B - Modèle représentant les phylogénies emboîtées des clones mitochondriaux (ramifications internes) et du génome nucléaire (branches principales de l'arbre, obtenues par l'analyse électrophorétique de protéines codées par 42 locus chromosomiques).

Il apparaît ainsi que M. spicilegus et M. spretoides sont les deux espèces les plus proches que l'on connaît du point de vue de leurs gènes de structure, alors que leurs ADN mitochondriaux montrent une divergence fort ancienne.

- les vitesses d'évolution ne sont pas uniformes d'une lignée à l'autre. On ne peut donc se contenter de l'hypothèse de l'horloge moléculaire pour traiter les résultats et estimer les temps de divergence ;

- le polymorphisme de séquence de cette molécule est important, et des séquences d'âges différents coexistent dans la même population ;

L'analyse de certains ADN montre une grande diversité (polymorphisme) des séquences chez des individus d'espèces proches. Les vitesses d'évolution ne sont pas uniformes d'une lignée à l'autre. Il peut s'ensuivre une absence de concordance entre l'évolution d'espèces voisines et l'évolution des molécules qu'elles hébergent.

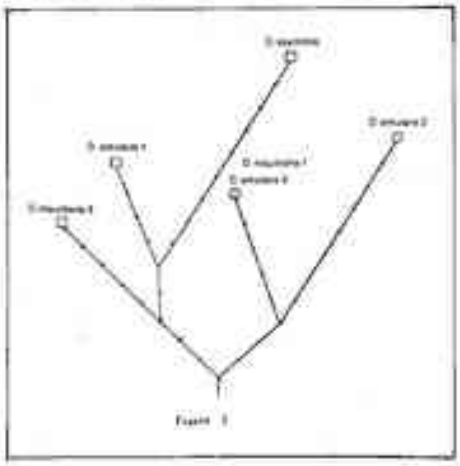


Fig. 3 - Dendrogramme montrant les relations phylogénétiques existant entre six ADN mitochondriaux de trois espèces de Drosophiles analysées par douze endonucléases. (Arbre recalculé d'après des données originales de M. Solignac, 1984, comm. pers.). Les lines sur les branches représentent le nombre minimal de sites ayant apparu ou disparu au cours de l'évolution.

- les phylogénies observées pour ces différents clones mitochondriaux présentent des dysharmonies avec la phylogénie des espèces telle qu'elle a pu être estimée sur un grand nombre de protéines codées dans le noyau.

Nous avons donc proposé un modèle (fig. 2B) rendant compte du fait que les divergences moléculaires peuvent être antérieures à celles des espèces, et que les gènes peuvent avoir une histoire différente de celle des populations qui les portent. Des cas analogues ont été décrits pour d'autres groupes d'animaux, chez les Drosophiles notamment, où des mélanges importants de formes mitochondriales différentes ont été détectés chez trois espèces du groupe *simulans* (fig. 3). Les résultats présentés dans cette figure peuvent d'ailleurs très bien s'interpréter suivant le modèle présenté ci-dessus (divergence moléculaire ancienne suivie d'une rétention assez longue du polymorphisme) ou bien comme résultant d'échanges interspécifiques secondaires.

Cette dernière hypothèse est parfaitement plausible, et attestée par une masse grandissante d'informations. Ainsi, par exemple, les deux semi-espèces européennes de souris *M. m. musculus* et *M. m. domesticus* entrent en contact le long d'une zone d'hybridation où elles échangent des gènes de façon asymétrique et différentielle. Dans ce cadre l'on peut trouver, en Suède et au Danemark par exemple, des populations présentant un ADN mitochondrial de type *domesticus* et un génome chromosomique entièrement du type *musculus*, alors que la situation inverse existe en Grèce et en Bulgarie.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Aux deux modèles précédemment discutés vient s'ajouter une troisième hypothèse pouvant expliquer la non-concordance des phylogénies spécifiques et moléculaires. Nous savons en effet maintenant qu'une des caractéristiques du génome des êtres vivants évolués (eucaryotes) est la redondance, tant pour les séquences non-codantes que pour les gènes de structure. Ceux-ci sont souvent organisés en familles multigéniques pour lesquelles plusieurs copies du même gène (jusqu'à 200) peuvent exister dans le génome, de façon contiguë ou dispersée. Seule l'une ou un petit nombre d'entre elles sont en général fonctionnelles, mais l'on peut parfaitement concevoir qu'à certains moments, certaines séquences précédemment fossilisées par duplication et non-exprimées peuvent refaire surface par différents mécanismes moléculaires et s'exprimer en lieu et place du gène précédemment actif. De tels mécanismes ont été partiellement mis en évidence pour l'α-globine des primates où des événements de conversion des séquences actives par un pseudogène (gène défectif, ne possédant pas l'organisation en mosaïque nécessaire à son expression) ont été décrits. A côté de cette démonstration directe, il n'est pas rare que des reconstitutions phylétiques fassent apparaître des distributions de formes moléculaires ancestrales qu'il est tentant d'expliquer comme des résurgences dûes à de tels mécanismes.

Il faut remarquer ici que la quasi-généralité de cet état multicopié des gènes eucaryotes a été invoquée comme étant un des mécanismes possibles de protection du génome contre les mutations létales[1]. Si une copie est touchée, il en reste toujours une qui est fonctionnelle. Bien que nous ne voyions pas comment expliquer l'apparition et le maintien de telles duplications par de simples mécanismes de sélection individuelle, faisant intervenir un avantage à court terme pour les individus qui les portent, nous ne pouvons nous empêcher de nous poser la question de la signification évolutive d'un tel phénomène : faut-il invoquer des mécanismes de sélection de groupe, toujours difficiles à comprendre à cause du nombre d'extinctions qu'ils supposent pour être efficaces, ou bien les propriétés automultiplicatives de certains éléments "égoïstes" du génome sont-elles suffisantes pour fournir à moindre coût la matière première nécessaire à la réponse des populations au changement des conditions de milieu et à l'évolution subséquente des espèces ?

Quoiqu'il en soit, les trois points développés ci-dessus nous incitent à la prudence quant aux conclusions phylogénétiques hâtives que l'on peut faire en se basant sur un échantillonnage limité de gènes (nous pensons ici plus particulièrement aux rebondissements de la querelle sur la phylogénie des grands singes et de l'homme occasionnés par l'analyse de leur ADN mitochondrial). Tout ceci rend néanmoins passionnante l'étude des phylogénies moléculaires de par ce que l'existence d'éventuelles contradictions nous apprend sur les modalités de l'évolution des différents compartiments du génome.

Nous sommes au bout du compte confrontés à la situation suivante : le polymorphisme des acides nucléiques est important, mais une grande partie des variants observés sont probablement neutres. Cependant, ces variants constituent des marqueurs précieux pour reconstituer les phylogénies moléculaires et pour analyser finement la variabilité et la différenciation intraspécifique. Ces analyses populationnelles peuvent nous donner en retour de précieuses informations sur ce qui, dans l'évolution du génome, est pertinent pour l'adaptation au sens darwinien du terme. Pour cette raison, la théorie moderne de l'évolution est attentive à tout progrès dans la connaissance des bases moléculaires de l'hérédité des caractères quantitatifs, ainsi que celle de tous les phénomènes d'expression et de régulation liés à l'ontogenèse...

(1) Morellis.

■ François Bonhomme, chargé de recherche au CNRS, travaille à l'Institut des sciences de l'évolution (UA 327), Université de Montpellier II, Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

L'ÉVOLUTION DU SEXE, UN PROBLÈME EXEMPLAIRE

Pierre-Henri GOUYON

Les évolutionnistes aussi voudraient tout savoir sur le sexe mais ce qu'ils ont osé demander peut paraître, a priori, déconcertant. Deux questions choisies dans cet ensemble permettront d'illustrer certains aspects du problème.

Pourquoi se reproduire sexuellement ?

La reproduction asexuée permet la conservation des bons génotypes et, en particulier, évite le gaspillage causé par la production de mâles qui ne contribuent pas à la croissance démographique. Elle est donc non seulement plus simple mais aussi plus efficace à court terme. (Il suffit d'avoir observé une invasion de pucerons - qui utilisent la parthénogénèse en phase d'invasion - pour s'en convaincre.) La réponse à la question a longtemps été que la sexualité, qui provoque un brassage des gènes de la population permet à l'espèce de s'adapter à un futur changement de milieu. Cette explication, où les individus choisissent un comportement qui leur est défavorable à court terme (moindre multiplication) pour le bien de l'espèce à long terme (assurance contre un risque de changement du milieu), est aujourd'hui classée comme "panglossienne" et jugée inacceptable. Même si une sélection au niveau de l'espèce intervient (les espèces qui perdent la sexualité s'éteignent à terme) dans le maintien de la sexualité, cette hypothèse ne peut expliquer son origine. De nombreux biologistes de par le monde sont donc à la recherche d'un avantage à court terme pour le sexe d'une part, et d'un processus originel expliquant son apparition d'autre part. Sur ce dernier point, l'interaction avec la biologie cellulaire a permis d'élaborer une hypothèse satisfaisante. Les êtres vivants primitifs avaient probablement de forts taux de mutation (protéines moins élaborées, fort rayonnement UV) et une mauvaise protection contre les informations génétiques externes (membranes, enzymes de restriction moins efficaces). Au total, l'ensemble a pu fonctionner grâce à cette dernière caractéristique parce que

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

l'arrivée d'informations extérieures permettait de remplacer les informations internes mutées. La première sexualité a donc d'abord permis de réparer des erreurs de copie. On a d'ailleurs pu montrer que certaines enzymes impliquées dans les processus de réparation de l'ADN étaient, encore aujourd'hui, les mêmes que certaines des enzymes responsables de la recombinaison (sexualité). Ce n'est que par la suite que les processus spécifiques de la reproduction sexuée sont apparus à partir de ces mécanismes primitifs.

Pourquoi produire 50 % de mâles et 50 % de femelles ?

Un mâle, qui se définit comme un individu produisant de très petits gamètes (pollen ou spermatozoïde), n'apporte aucune ressource à l'œuf où il introduit ses gènes. Comme nous l'avons vu, les mâles représentent un coût pour l'espèce ; même si on a besoin de sexualité, il n'est certainement pas optimal d'en produire autant que de femelles. Les sélectionneurs d'animaux ou de végétaux se sont rendu compte de ce point depuis longtemps. Cette question peut être traitée selon deux optiques non contradictoires mais très différentes.

L'optique Mendélienne permet de montrer que le déterminisme génétique du sexe (par exemple ♀ = XX et ♂ = XY) ne peut pas produire d'autre résultat (XX × XY → 1/2 XX + 1/2 XY) ceci explique comment ce sex-ratio est obtenu.

L'optique Darwinienne, qui se développe de plus en plus grâce à la théorie des jeux, cherche à définir quelle "stratégie" (au sens donné à ce mot en mathématiques) est "évolutivement stable" c'est à dire telle que tout mutant différent de la norme sera contre-sélectionné. On montre, grâce à cette approche, qu'en général, cette stratégie, quel que soit le déterminisme génétique, est de produire statistiquement 1/2 ♀ et 1/2 ♂. Ceci explique pourquoi ce sex- ratio est obtenu. Notons qu'on peut aussi prédire avec cette approche des sex-ratio différents comme ceux observés chez certains hymenoptères.

On voit que, sur ces deux questions très simples, très partielles, nous avons été conduits à aborder plusieurs grands problèmes de la théorie de l'Evolution : le niveau de sélection (espèce, individu, gène), l'origine d'un caractère, son pourquoi et son comment. La théorie de l'évolution du sexe dans son ensemble est très riche en questions se situant au coeur de la biologie évolutive (faut-il en être surpris ?) et ceci explique l'actuelle prolifération de textes sur ce sujet dans la littérature internationale.

■ Pierre-Henri Gouyon, maître assistant à l'Institut national agronomique, travaille dans l'unité de biologie des populations et des peuplements du Centre Emberger, CNRS, Route de Mende, B.P. 5051, 34033 Montpellier Cedex.

EVOLUTION HUMAINE 1985

André LANGANEY

Tout, ou presque, de ce que l'on pensait de l'évolution des populations humaines il y a vingt ans est aujourd'hui considéré comme faux ou remis en question. La date du titre de cet article vise à préciser que ce bilan lui-même est très provisoire.

Les raisons de ce changement sont simples : les progrès de la génétique nous ont apporté, au cours des vingt dernières années, des informations non seulement beaucoup plus nombreuses, mais infiniment plus précises que toutes celles qui les avaient précédées. Tous les domaines de la biologie des populations humaines, actuelles ou fossiles, sont touchés par ces nouvelles données et la vieille anthropologie physique des mesureurs de crânes et des classifications raciales s'éteint avec le départ en retraite de ses derniers représentants.

Mais nous ne devons pas nous faire d'illusions : le développement actuel des techniques et l'accumulation des faits nouveaux, la perspective de l'automatisation et de l'étude à grande échelle des séquences d'ADN et de protéines remettront en cause nos théories actuelles dans les deux décennies à venir.

Pourtant les grandes questions restent les mêmes : quand et où sont apparus les premiers hommes ? Comment se sont-ils différenciés des autres singes ? Quand et comment sont apparues les différences raciales ? Que signifient-elles ? L'Homme évolue-t-il encore et vers quoi ?

Des faits tenant à la génétique des chromosomes (cytogénétique) confirment la théorie de l'origine animale unique de l'espèce humaine.

La séparation récente des ancêtres de l'Homme et des grands singes est confirmée par leur extrême similitude génétique.

Les origines : questions, réponses et incertitudes

Des faits tenant à la génétique des chromosomes (cytogénétique) confirment la théorie de l'origine animale unique de l'espèce humaine. Sa formation résulte d'une série d'un à neuf événements chromosomiques survenus depuis le dernier ancêtre commun à l'Homme et au Chimpanzé. La séparation de l'espèce humaine serait consécutive au dernier de ces événements que l'on n'a aucun moyen, aujourd'hui, de dater.

Par contre l'étude de la structure des protéines et de celle des chromosomes permet de dater le dernier ancêtre commun à l'Homme et au Chimpanzé de cinq à sept millions d'années. Ceci alors que les paléontologistes humains, sur la foi de fossiles douteux et partiels donnaient des estimations de quinze à trente millions. De nouvelles données sur les ADN (mitochondriaux en particulier) et sur certains anticorps artificiels devraient confirmer prochainement ces théories.

La séparation récente des ancêtres de l'Homme et des grands singes est confirmée par leur extrême similitude génétique : les études fines de la structure des chromosomes, des acides

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

La continuité des différences observées entre tous les fossiles humains depuis l'Homo habilis suggère que toute l'évolution ultérieure s'est faite à l'intérieur de la même espèce.

Malgré leur station verticale, la plupart des Australopithèques restent éloignés de la ligne humaine.

Mais la plupart des caractères que les préhistoriens considéraient voici peu de temps comme exclusivement humains existaient à la fois avant la séparation de la lignée humaine et dans des lignées collatérales.

nucléiques et des protéines montrent une homologie de l'Homme et du Chimpanzé pour plus de quatre-vingt-dix-neuf pour cent de leur matériel génétique. L'acquisition des caractères propres à la lignée humaine, ce que les spécialistes appellent "l'hominisation", s'est donc faite par modification de moins de un pour cent des gènes. Ce qui, bien sûr, suppose le changement de peu de gènes ayant beaucoup d'effets, sur l'anatomie et les comportements en particulier.

Par ailleurs la paléontologie a vu se développer récemment aux États-Unis la théorie dite "des équilibres ponctués" selon laquelle les transitions entre espèces ne seraient pas graduelles comme le pensaient Darwin et, plus près de nous, les néo-darwiniens des années 1940-1960, mais plutôt brusques et rapides à l'échelle des temps géologiques[1]. Cette théorie s'accorde particulièrement bien avec les théories de la séparation des espèces par remaniements chromosomiques et avec la génétique des populations modernes. Elle a pour conséquence que les chaînons manquants ("missing links") que cherchaient les paléontologistes classiques n'ont pratiquement aucune chance d'être retrouvés, au moins chez des espèces peu nombreuses et peu fossilisées comme les Primates.

La continuité des différences que l'on observe entre tous les fossiles humains depuis l'*Homo habilis*, il y a près de deux millions d'années, nous laisse supposer que toute l'évolution depuis cette époque s'est faite à l'intérieur de la même espèce, les différenciations en *Homo habilis*, *Homo erectus* et *Homo sapiens* correspondant à des différences raciales et non d'espèce. Toutefois, cette hypothèse ne peut être ni confirmée ni infirmée à ce jour et la plupart des spécialistes ne la partagent sans doute pas encore.

Par contre, malgré leur station verticale possible, la plupart des Australopithèques semblent bien éloignés de la lignée humaine et il n'est pas absurde de se demander si ceux de l'Afar, encore très arboricoles, n'ont pas plus vocation d'ancêtres du Chimpanzé que de l'Homme ; ce qui rejoint l'opinion de Kortland selon laquelle la ressemblance du bassin et des os longs ne peut être considérée comme une preuve de parenté entre l'Homme et l'Australopithèque.

Tout ceci reste objet de discussions mais il est certain qu'aucun de nos ancêtres connus ou possibles ne s'est redressé comme l'ont suggéré les trop célèbres illustrations de "Time-Life". Il peut paraître plus probable aujourd'hui que nos ancêtres aient été des brachiateurs arboricoles plutôt que des quadrumanes terrestres ou des "knuckle-walkers" (animaux marchant sur le dos des phalanges des mains avant comme le Chimpanzé ou le Gorille).

Il est par ailleurs bien établi que certains lémuriens, beaucoup de singes et tous les anthropoïdes sont capables d'une démarche bipède occasionnelle, que celle-ci est particulièrement développée chez les brachiateurs arboricoles comme le Gibbon et était le mode de locomotion habituel des derniers Australopithèques. On a observé récemment que des Chimpanzés pouvaient chasser en groupe, fabriquer certains outils et en utiliser d'autres de façon répétée. La plupart des caractères que les préhistoriens considéraient voici peu de temps comme exclusivement humains existaient donc à la fois avant la séparation de la lignée humaine et dans des lignées collatérales. Le seul caractère objectif qui, dans l'état actuel des connaissances, soit strictement humain est l'aptitude au langage doublement articulé[2]. Les expérien-

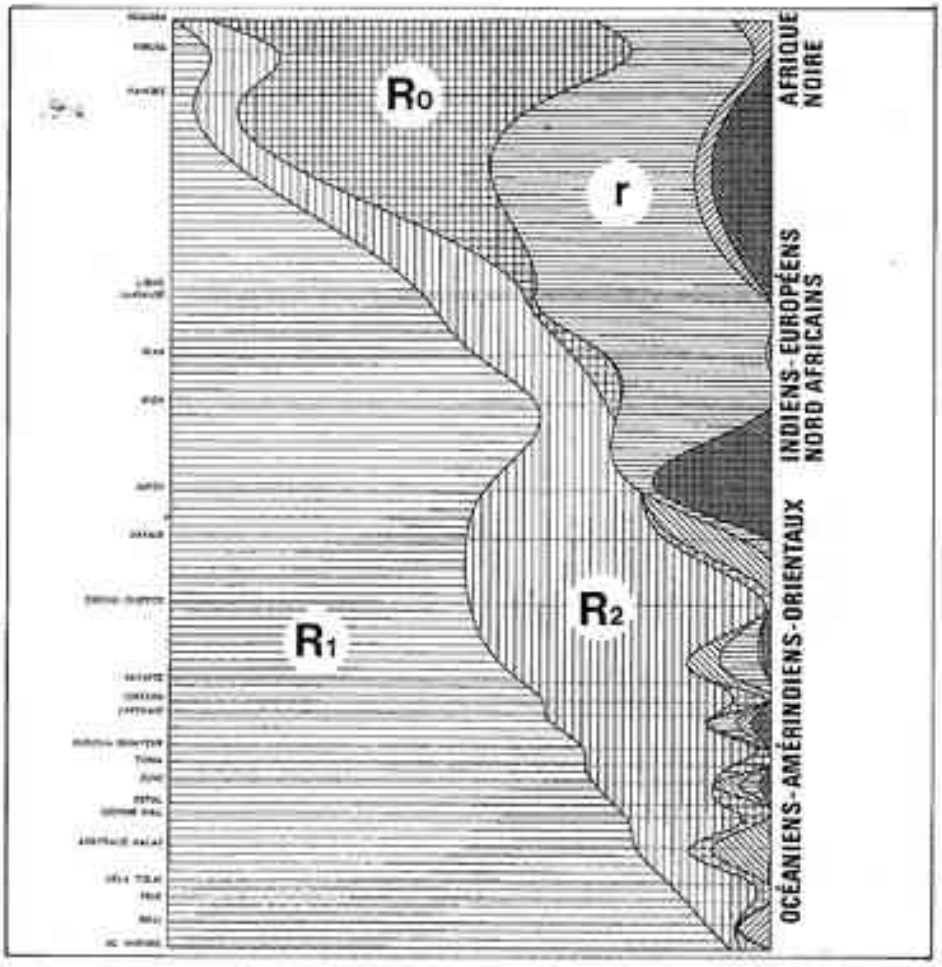


Fig. 1 : Répartition des gènes principaux du système rhésus à travers le monde : les trois grands groupes correspondant à l'Afrique noire, aux Indo-Européens — Nord-Africains et aux orientaux — océaniens — amérindiens ont des fréquences de gènes qui varient en continuité et à peu près linéairement à travers l'ancien monde et ses prolongements océaniens et américains.
Représentations de G.-M. Lathrop, G. Poisson et A. Langaney.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

ces d'apprentissage effectuées sur des Chimpanzés ou des Gorilles ont en effet montré que, malgré une mémoire des signes étonnante, ceux-ci ne parvenaient pas à utiliser les langages artificiels qu'on leur proposait.

Notons enfin que nous ne connaissons avec certitude aucun de nos ancêtres au-delà de 1,8 million d'années, alors que les premiers galets taillés existaient depuis près d'un million d'années ou plus.

Nos "races" actuelles sont très récentes puisqu'elles datent de moins d'un dixième de l'histoire humaine.

Les races : récentes et artificielles

La génétique des populations classique appliquée aux systèmes immunologiques a permis de montrer que la définition génétique des races ne pouvait être que grossière et statistique et que l'origine des grandes différenciations raciales actuelles ne pouvait être antérieure à 200 000 ans. Nos "races" actuelles sont donc très récentes puisqu'elles datent de moins d'un dixième de l'histoire humaine et non de plus d'un million d'années comme le prétendaient des théoriciens de l'anthropologie classique largement influencés par le contexte de la colonisation ou des présupposés de supériorité européenne.

Mais les découvertes du système HLA[1] et de son invraisemblable combinatoire, l'incohérence totale des classifications raciales et la disjonction des variabilités génétiques, morphologiques et pigmentaires amènent à réviser totalement notre image de la variation des populations : chez l'Homme, et sans doute chez la plupart des espèces sexuées, l'individu est unique et différent de tous les autres. La population est une collection hétérogène d'individus qui change et évolue de génération en génération. Les caractères raciaux se répartissent en fonction d'anciennes adaptations au milieu, indépendamment de l'histoire du peuplement et de la distribution quasi continue des fréquences des gènes. Les différents caractères évoluent chacun pour soi et ne tracent aucune frontière dans une nappe humaine aussi continue que diversifiée. La variation génétique et physique extrême des humains ne permet que des classifications arbitraires des individus en races et les grands types raciaux que nous percevons ne correspondent qu'à des situations (ou des préjugés !) extrêmes.

Il n'existe pas de frontière infranchissable entre les différentes races. Chez l'homme, l'individu est unique et différent de tous les autres.

Etrangement, la génétique moderne rejoint une opinion exprimée dès 1784 par Herder.

"Le terme race se réfère à une différence d'origine qui n'existe pas chez l'Homme... les types physiques s'interpénètrent et ne sont finalement que les ombres d'une grande image qui s'étendent sur tous les âges et tous les continents".

L'étude des variations de séquences des protéines et des acides nucléiques confirme l'impression d'unicité et de diversité des individus.

Les premiers résultats de l'étude des variations de séquences des protéines et des acides nucléiques accentuent encore l'impression d'unicité et de diversité des individus. Les systèmes immunologiques classiques (groupes sanguins) laissaient l'impression qu'un nombre limité de gènes existaient, plus ou moins fréquents, partout. Au contraire, le système d'histocompatibilité HLA et les séquences de macromolécules conduisent à des combinaisons génétiques tellement rares et tellement individuelles qu'il devient impossible de bien caractériser les populations par des échantillons représentatifs. Ceux-ci devraient comporter des dizaines de milliers d'individus, sinon toute la population considérée ! Compte tenu du coût et de la longueur des analyses, nos connaissances resteront très insuffisantes tant qu'une automatisation des analyses ne permettra pas d'acquérir des données très nombreuses.

Dans l'avenir proche, l'humanité ne tend ni vers l'homogénéisation ni vers la séparation des races.

On ne peut que sourire, dans ces conditions, de ce que des auteurs techniquement qualifiés aient publié une typologie de l'humanité d'après les ADN mitochondriaux... de deux cents individus et regretter que des revues de bonne qualité scientifique se soient empressées de diffuser ces interprétations aussi contestables que spectaculaires.

Passé, présent, conditionnel

Alors que l'évolution préhumaine et humaine est longtemps restée un mystère et un objet de polémiques sans arguments scientifiques précis, nous possédons aujourd'hui des informations fiables sur les mécanismes probables de formation et d'évolution de l'espèce humaine. Nos habitudes de pensée et nos perceptions ne nous permettent pas encore de réaliser vraiment la signification des découvertes récentes et en cours. Nous savons que la biologie moléculaire, la démographie, la génétique des chromosomes et la biologie du comportement sont les clés les plus fondamentales de notre histoire passée et future. Nous ignorons encore beaucoup sur les derniers singes animaux et les premiers singes humains. Mais nous avons aussi acquis quelques certitudes concernant l'avenir proche : l'humanité ne tend ni vers l'homogénéisation ni vers la séparation de races ; les "dangers démographiques" sont plus menaçants que les "dangers génétiques" et peuvent être conjurés par des politiques désagréables mais efficaces ; les effets de la médecine et du contrôle des naissances sur notre patrimoine génétique sont positifs ou négligeables ; seules des manipulations d'embryons ou de gènes totalement irresponsables pourraient peut-être, aux mains de dictateurs fous, causer des dangers sans doute aussi temporaires que terrifiants. Bref, les menaces sur notre futur nous semblent plus venir des politiciens que des généticiens !

(1) Voir article page 36.

(2) C'[illegible] à la fois génétique et sociologique.

(3) Système HLA : groupes sanguins un peu analogues à ce que l'on connaît dans le sang pour les groupes sanguins.

BIBLIOGRAPHIE

- **J. Dausset**, 1981. "La définition et la reconnaissance de soi". *Courrier CNRS 41* : 51-54.
- **B. Dutrillaux**, 1975. "Sur la nature et l'origine des chromosomes humains". *Expansion scientifique*, Paris.
- **N. Eldredge et J. Cracraft**, 1980. *Phylogenetic patterns and the evolutionary process*, Columbia Univ. Press, N.Y.
- **S. Gould**, 1977. *Ontogeny and Phylogeny*, Harvard Univ. Press.
- **M. Johnson et coll.**, 1983. "Radiation of human Mitochondria DNA types analysed by restriction endonuclease cleavage patterns", *J. Mol. Evol. 19* : 255-271.
- **A. Kortlandt**, 1972. "New perspectives on ape and human evolution". *Stichting voor psychobiologie*, Amsterdam.
- **A. Langaney**, 1979. "Génétique et origines de l'Homme". *Science et Vie*, hors série, Les Ancêtres de l'Homme : 18-27.
- **A. Langaney**, 1979. "Diversité et histoire humaine". *Population 6* : 985-1006.
- **A. Langaney**, 1984. "La nouvelle démographie de l'évolution". *Population 3* : 587-606.
- **A. Langaney**, 1983. "Qu'avons-nous hérité de nos ancêtres chasseurs ?" *Le temps stratégique 9* : 93-100.
- **M. Nei et A. Roychoudhury**, 1974. "Genic variation within and between the three major races of man". *Am. J. Hum. Genet 26* : 421-443.

■ André Langaney, professeur à l'université de Genève, est responsable d'une équipe au Centre de recherches anthropologiques du Musée de l'homme (UA 49). Département d'anthropologie, université de Genève, 12, rue Gustave Revilliod, CH 1227 Carouge-Genève.

BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE PROPOSÉE PAR LE CDST

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

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

LE LIDAR POUR SONDER L'ATMOSPHERE

Pour étudier l'atmosphère, les qualités de directivité spatiale et de haute pureté spectrale des lasers en ont fait un outil précieux. Ils permettent en effet de mesurer à distance et sans perturbation du milieu de très faibles concentrations de constituants ou d'infimes fluctuations des caractéristiques physiques du milieu. Leurs applications dans le domaine de la pollution, de la météorologie et de la physique de l'atmosphère sont en plein développement.

Marie-Lise CHANIN

Notre connaissance actuelle de l'atmosphère doit beaucoup à l'étude de l'interaction de la lumière avec les gaz et particules qui la composent, que cette lumière provienne du soleil, de la lune, des étoiles ou de l'émission propre de l'atmosphère elle-même. De tous temps les phénomènes optiques parfois spectaculaires qui s'y manifestent (arc-en-ciel, gloire, luminescence nocturne, aurores...), ont été utilisés par l'homme pour mieux comprendre le milieu qui l'entoure. Jusqu'à récemment l'observateur ne possédait pas le contrôle de la source lumineuse responsable de ces phénomènes et les méthodes utilisées, photométrie, radiométrie, interférométrie, spectrométrie, étaient ce que nous appelons des méthodes "passives". Au cours des dernières décennies, le développement de sources lasers de plus en plus performantes a offert la possibilité de contrôler ces interactions entre la lumière et l'atmosphère et une nouvelle méthode dite "active" s'est développée : le lidar. Elle a déjà contribué à améliorer nos connaissances du milieu atmosphérique et a répondu en partie aux besoins de surveillance des constituants naturels ou anthropogènes qui jouent un rôle critique dans l'équilibre de la biosphère. Après avoir décrit brièvement la méthode, seront présentés les principaux résultats obtenus à ce jour dans l'atmosphère et les perspectives de cette nouvelle méthode d'exploration de notre environnement.

La méthode Lidar

Le principe du sondage de l'atmosphère par laser est assez voisin de celui du radar mais il se situe dans le domaine des ondes optiques; d'où le nom de LIDAR acronyme de "Light Detection and Ranging" qui a été donné à la méthode. Comme dans le cas du radar, l'instrument lidar comporte un émetteur et un récepteur : l'émetteur est un laser pulsé émettant des impulsions brèves (quelques nanosecondes à quelques microsecondes) à une longueur d'onde dépendant du choix du paramètre ou du constituant à mesurer, se situant entre 0,2 et 10 µm. Après interaction du faisceau laser avec le milieu atmosphérique, les photons rétrodiffusés par les différentes couches atmosphériques rencontrées successivement par le laser sont reçus par un récepteur optique, en général un télescope. Celui-ci est suivi d'un détecteur et d'un système électronique qui effectue une analyse temporelle de l'écho. L'intensité du signal reçu et éventuellement ses caractéristiques spectrales (position et largeur) permettent d'en déduire la densité de l'élément diffusant et les propriétés dynamiques et thermiques du milieu. L'analyse temporelle du signal conduit à la répartition du constituant rétrodiffusant dans l'axe du faisceau laser avec une résolution qui varie du mètre à la centaine de mètres.

Différents types de processus d'interaction peuvent donner lieu à la rétrodiffusion du faisceau. Certains se produisent quelle que soit la longueur d'onde du laser excitateur; il s'agit des processus de diffusion dit élastiques : la diffusion Rayleigh par les molécules du gaz atmosphérique et la diffusion de Mie par les particules d'aérosols, l'une et l'autre donnant lieu à une réémission sans changement de longueur d'onde; et la diffusion Raman qui se produit de part et d'autre de la longueur d'onde excitatrice, à une longueur d'onde qui dépend du constituant et donc le caractérise. Ces 3 types d'interaction ont lieu pour n'importe quel faisceau laser traversant l'atmosphère : le choix de la longueur d'onde d'émission laser se fera vers les courtes longueurs d'onde (bleu-vert) si l'on cherche à mesurer la densité de l'atmosphère ou d'un constituant (car l'efficacité de diffusions Rayleigh et Raman varie en λ^{-4}) et vers les grandes longueurs d'onde (dans le rouge en général) pour la mesure des poussières, gouttelettes ou aérosols; en effet l'efficacité de la diffusion Mie varie moins fortement en fonction de la longueur d'onde et la contribution Mie se distinguera alors plus aisément de la contribution Rayleigh.

D'autres modes d'interaction se produisent lorsque la longueur d'onde du laser correspond à une transition caractéristique du constituant à étudier; il s'agit des processus de diffusion inélastiques : résonance, diffusion Raman résonnante, fluorescence... Le laser est alors choisi spécifiquement pour la détection d'un constituant et comme il n'existe que peu de coïncidence entre les longueurs d'onde des lasers émettant à une fréquence fixe et celles désirées, il y a lieu alors d'utiliser des lasers accordables que l'on asservira sur la longueur d'onde voulue. C'est en fait le développement des lasers à colorants, accordables dans tout le domaine visible qui a rendu possible le succès des premiers lidars à la fin des années 1960.

La détermination de la concentration d'un constituant atmosphérique peut également être obtenue par une méthode dite "d'absorption différentielle" qui nécessite deux longueurs d'onde, l'une se situant dans une bande d'absorption du constituant et l'autre en-dehors de celle-ci. Le processus donnant lieu à la rétrodiffusion de ces deux longueurs d'onde est soit la diffusion Rayleigh par les molécules soit la diffusion Mie par les particules, soit une superposition de ces 2 contributions. Le tableau 1 donne une indication sur l'efficacité des différents processus cités ci-dessus.

Sans nécessiter l'écriture d'équations on voit facilement que pour un système lidar donné (laser et télescope), la possibilité de mesurer un constituant dépend de l'efficacité de l'interaction mise en jeu, de l'abondance de ce constituant à l'altitude de la mesure et de l'éloignement du point

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

de mesure par rapport au récepteur (l'efficacité de la réception varie avec l'inverse du carré de cette distance). Toute mesure par lidar a donc une portée limite : celle-ci peut atteindre une centaine de km en tir vertical pour une diffusion résonnante ; par contre pour une diffusion Raman très peu efficace elle n'atteint que quelques centaines de mètres. Les utilisations de la méthode lidar en géophysique dépendent fortement de ces contraintes.

Les avantages de la méthode lidar

L'utilisation du lidar présente un certain nombre d'avantages liés aux qualités de cohérence spatiale et temporelle des lasers. En effet, la faible divergence des faisceaux lasers permet une bonne localisation de la zone étudiée et autorise l'utilisation de récepteurs de faible ouverture nécessaire pour éliminer la contribution du fond de ciel ; la durée de l'impulsion laser fournit une résolution spatiale très supérieure à celle fournie par les méthodes passives et les mesures de distance, c'est-à-dire d'altitude de la mesure, sont déterminées en valeur absolue de façon très précise. D'autre part les qualités spectrales des lasers présentent les avantages dont bénéficie aussi la spectroscopie de laboratoire : très haute résolution, grande densité d'énergie par élément spectral, déplacement continu en longueur d'onde sur de grands intervalles spectraux.

Outre ces atouts liés à l'utilisation de lasers, l'étude par lidar bénéficie de l'avantage commun à la plupart des mesures optiques, c'est-à-dire la possibilité de continuité des observations, notamment lorsque l'observation est effectuée à partir du sol. Ceci contraste avec la discontinuité et le caractère sporadique de la plupart des mesures de l'atmosphère surtout entre 10 et 100 km, qu'elles soient effectuées par ballons, par fusées ou d'une certaine façon même par satellite.

Les qualités de résolution temporelle et spatiale des mesures lidar leur confèrent malgré le caractère local des mesures un rôle complémentaire des mesures satellitaires.

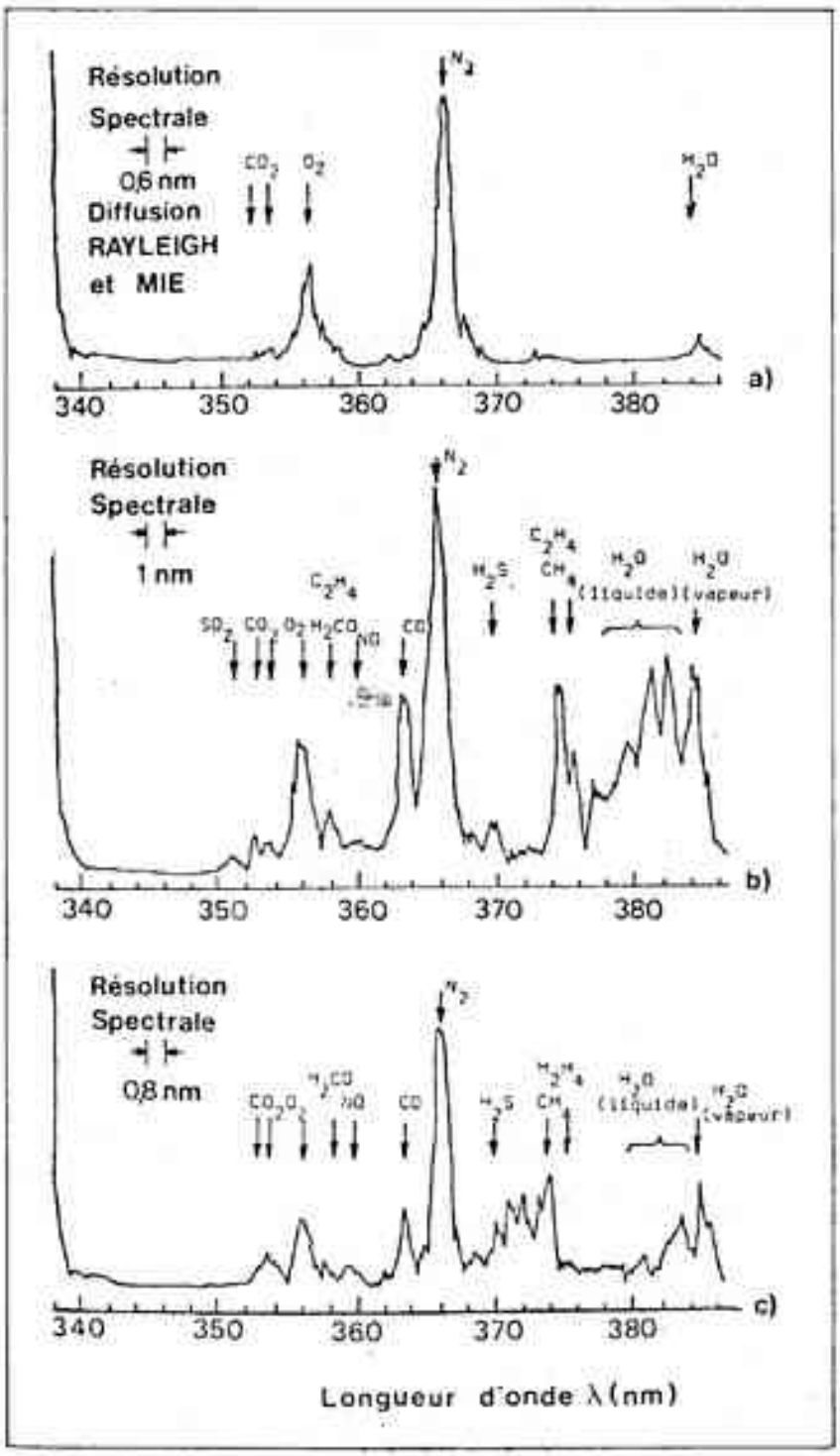


Fig. 1 – Distribution spectrale des composantes Raman de divers composants atmosphériques dans le cas
a) d'une atmosphère non polluée
b) de fumées
c) de gaz d'échappement
(Extrait de la météorologie vol 8 n° 13 p. 4152).

Les possibilités du lidar et les résultats déjà acquis.

A ce jour, la méthode lidar a surtout été utilisée à partir du sol, plus rarement d'avion et exceptionnellement à partir d'une plateforme ballon. Malgré les nombreuses études de lidar embarqué sur satellites, ces réalisations font encore partie du futur. On peut distinguer quant à ses finalités, 3 grands domaines d'application du lidar : les études de pollution, la météorologie, et l'étude de l'atmosphère libre (2 à 100 km).

L'utilisation du lidar pour l'étude de la pollution est sans aucun doute celle qui a reçu le plus d'attention et de support financier et qui a donc mobilisé le plus grand nombre de chercheurs. Fréquemment pour ce type d'étude le lidar est intégré dans un véhicule mobile placé à proximité de la zone polluée à étudier ; de plus l'ensemble émetteur-récepteur est orientable de façon à fournir une description tridimensionnelle des polluants, et de leur évolution. Pour mesurer la concentration des nombreuses molécules dont la rejection dans la basse atmosphère fait l'objet de surveillance, la méthode apparemment la mieux adaptée est la diffusion Raman car elle permet simultanément de mesurer l'abondance de plusieurs espèces telles que les oxydes d'azotes (NO, N_2O, NO_2), le méthane (CH_4), les composés sulfureux (SO_2, H_2S)... (Fig. 1), mais étant donné la faible efficacité du processus Raman, et donc sa courte portée, la méthode d'absorption différentielle lui est souvent pré-

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

férée pour la surveillance de l'ozone (O_3), de la vapeur d'eau (H_2O) et d'autres polluants tels que SO_2, NO_2, H_2O, HCl dont la détection a été récemment démontrée. Enfin, les poussières constituent aussi une pollution qui est facilement observable par diffusion Mie.

On peut citer parmi les applications les plus usuelles des lidars la surveillance de l'ozone en zone urbaine, des fumées à proximité d'un volcan en éruption et des polluants en zone industrielle. Dans ce domaine, la Commission des Communautés Européennes a organisé en juin 1983 une importante campagne de surveillance du site industriel de Fos-sur-Mer et plusieurs groupes lidar européens et français y ont participé. Aux Etats-Unis, outre les efforts de même nature déployés pour la surveillance de l'environnement civil, des recherches importantes sont motivées par la surveillance de la contamination nucléaire, biologique et chimique sur un champ de bataille ; la possibilité de mesure à distance que permet le lidar est alors particulièrement précieuse.

Les applications météorologiques du lidar bien que prometteuses n'ont pas encore atteint la même maturité. Leur développement varie avec le degré de complexité de leur mise en œuvre ; les lidars destinés à l'étude d'altitude des nuages par simple mesure d'altimétrie et à la détection des brouillards, gouttelettes et cristaux de glace par diffusion Mie sont déjà opérationnels. Ils permettent de mieux comprendre les phénomènes de précipitation, et éventuellement de les prévoir. Ils commencent aussi à être implantés sur les aéroports pour effectuer des mesures de visibilité. La possibilité récemment acquise de mesurer le profil vertical de vapeur d'eau et des paramètres tels que la pression et la température par absorption différentielle devrait s'avérer un outil très utile. Enfin, la mesure d'un paramètre indispensable à la prévision météorologique, la vitesse du vent, fait l'objet d'efforts considérables : la méthode la plus prometteuse utilise un laser à CO_2 émettant au voisinage de 10 µm et permettant la mesure du déplacement Doppler par détection hétérodyne. Une telle application du lidar trouvera tout son intérêt lorsqu'elle permettra des mesures de vents à l'échelle du globe à partir d'une station spatiale.

Les applications du lidar à la description de l'atmosphère libre font appel à la plupart des interactions décrites précédemment et étant donné leur vaste domaine d'application (2 à 100 km d'altitude) elles représentent un champ varié d'activité qui sera décrit plus longuement ici d'autant plus que c'est un domaine où les équipes françaises ont joué un rôle de pionnier.

Le plus éloigné en altitude mais historiquement le plus ancien domaine d'application du lidar se situe aux environs de 100 km où l'arrivée régulière de poussières météoritiques maintient en équilibre une variété de métaux ; ceux-ci ont été observés aisément par lidar grâce à l'efficacité de la diffusion résonnante à laquelle ils donnent lieu. C'est ainsi qu'ont été étudiés successivement les métaux alcalins (Na, K, Li) et plus récemment les alkalino-terreux (Ca et Ca^+). De telles études ont confirmé l'origine météoritique de ces métaux et ont conduit à une modélisation

Processus de diffusion applicables à la détection par lidar des constituants atmosphériques

Diffusion élastique

Rayleigh

$\lambda_{reçue} = \lambda_{émise}$

$\sigma \sim 10^{-26}$ cm²

Mie

$\lambda_{reçue} = \lambda_{émise}$

$\sigma \sim 10^{-15}$ cm²

Raman

$\lambda_{reçue} = \lambda_{émise}$

$\sigma \sim 10^{-30}$ cm²

Diffusion inélastique

Résonance

$\lambda_{reçue} = \lambda_{émise}$

$\sigma \sim 10^{-12}$ cm² (atomes)

$\sigma \sim 10^{-17}$ cm² (molécules)

Fluorescence

$\lambda_{reçue} = \lambda_{émise}$

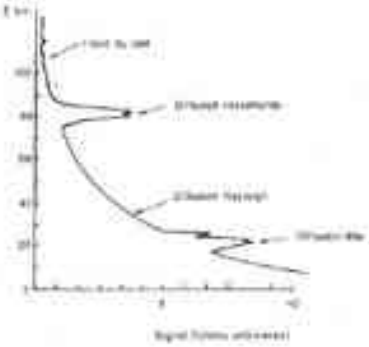
$\sigma \sim 10^{-18}$ cm²

Raman résonnant

$\lambda_{reçue} = \lambda_{émise}$

$\sigma \sim 10^{-23}$ cm²

La section efficace σ caractérise l'efficacité du processus d'interaction.

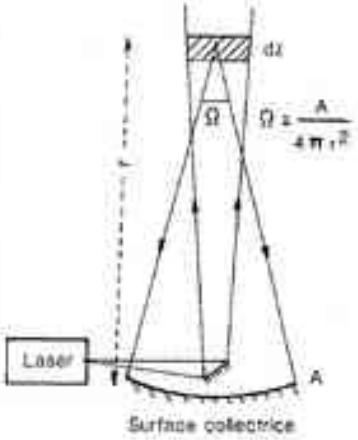


Exemple de reconstitution d'un signal lidar lorsque la longueur d'onde reçue est identique à la longueur d'onde d'émission et que celle-ci correspond à une transition résonnante. On voit que grâce aux fortes valeurs des sections efficaces de diffusion Mie et de diffusion résonnante, des constituants atomiques ou des poussières de concentration faible (~ 10 cm⁻³) fournissent un écho supérieur à la diffusion Rayleigh produite par les molécules de l'air beaucoup plus abondantes (10^{19} cm⁻³ vers 50 km).

Deux modes d'utilisation du lidar

L'équation simplifiée du lidar s'écrit

$$N(r, r + dr) = k.N_0 . \Omega . \tau_a (r, r + dr) . e^{-\tau_s (0, r + dr)}$$



N = signal mesuré

k = constante de proportionalité

N_0 = nombre de photons émis par le laser

$\Omega = \frac{A}{4 \pi r^2}$ angle solide de rétrodiffusion pour un récepteur de surface A

τ_a = épaisseur optique de l'élément diffusant dans la couche d'épaisseur dr

τ_s = épaisseur optique de l'élément absorbant du sol à la distance r = dr.

Le lidar peut être utilisé suivant deux modes différents :

1. La mesure de τ_a conduit à la densité de l'élément diffusant quel que soit le processus de diffusion.

2. La mesure de τ_s permet d'obtenir la densité d'un élément absorbant. On procédera par absorption différentielle à 2 longueurs d'onde, en choisissant le domaine spectral pour que la différence d'épaisseur optique $\sigma \tau_s$ entre les 2 longueurs d'onde soit maximum.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

satisfaisante de leur comportement et de leur équilibre dans la haute atmosphère. C'est également ces expériences qui ont permis de réaliser un grand nombre de progrès dans la technique lidar, notamment la première détection de jour (sur le sodium) et l'abaissement du seuil de détection (0.1 atomes cm^{-3}) lors de l'observation de l'isotope 6 du lithium.

La diffusion Rayleigh d'un laser a rendu accessible aux mesures par lidar un domaine d'altitude non atteint par les ballons et où la plupart des radars sont aveugles : la région 30-90 km, qui était jusqu'alors essentiellement étudiée de façon sporadique par fusée. La surveillance régulière de la densité et de la température dans cette région de l'atmosphère est donc ainsi effectuée depuis quelques années dans le but d'étudier son évolution à long terme et de déceler les ondes dont la propagation perturbe en permanence le milieu : ondes planétaires, ondes de marée, ondes de gravité, turbulence.

L'utilisation du lidar en absorption différentielle conduit aujourd'hui au profil vertical d'ozone du sol à une quarantaine de km, et grâce à la continuité de la mesure les transports d'ozone entre la troposphère et la stratosphère peuvent être évalués. Lorsqu'on sait l'importance que revêt la recherche de tendance dans l'évolution des concentrations d'ozone et plus précisément aux altitudes de 10 et 40 km, où les théoriciens prévoient un maximum de variation, on voit l'importance qu'une telle mesure puisse être faite à partir du sol.

Enfin nous mentionnerons la version la plus répandue du lidar (puisqu'il en existe maintenant plus d'une dizaine de stations au monde), il s'agit du lidar utilisant la diffusion Mie pour surveiller les aérosols. Dans les récentes années, plusieurs éruptions volcaniques ont projeté dans l'atmosphère des quantités considérables de poussières dont le temps de résidence dans la stratosphère au voisinage de 25 km peut être supérieur à une année ; elles jouent un rôle d'écran vis-à-vis du flux solaire et perturbent ainsi l'équilibre thermique de l'atmosphère. Plus particulièrement, les nuages de poussières créés par les éruptions du Mont St-Helens aux U.S.A. en 1980 et d'El Chichon au Mexique en 1982 ont fait l'objet d'une surveillance très assidue par lidar sur l'ensemble du globe. La figure 2 montre l'évolution du nuage qui a survolé la France après l'éruption d'El Chichon telle qu'elle a été observée par lidar à l'Observatoire de Haute-Provence.

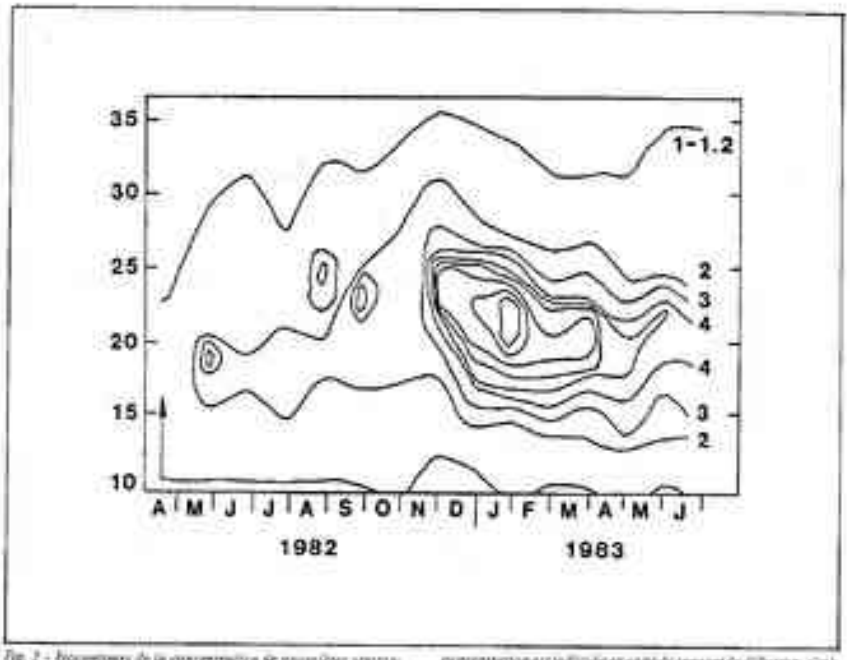


Fig. 2 - Inventaires de la concentration de poussières stratosphériques après l'éruption du volcan d'El Chichon, telle qu'elle a été mesurée par lidar à l'Observatoire de Haute Provence. La concentration est indiquée en unité de rapport de diffusion, c'est-à-dire par le rapport entre la contribution de la diffusion Mie à la contribution Rayleigh.

Perspectives du lidar

L'évolution des lidars est évidemment très liée aux développements de la technologie laser. Elle bénéficie de l'augmentation des performances énergétiques et spectrales de ceux-ci et de l'apparition de nouvelles familles de lasers. On peut imaginer que l'existence de lasers plus puissants permettra d'utiliser dans l'atmosphère d'autres processus d'interaction comme la photofragmentation ou la photoionisation, méthodes d'investigation qui se sont montrées très puissantes en laboratoire pour identifier des espèces pour lesquelles les processus cités précédemment sont inutilisables.

Parallèlement à l'amélioration des performances, on cherchera dans les prochaines années à s'affranchir du caractère ponctuel des mesures de façon à obtenir une image plus globale des phénomènes étudiés. Si cela ne se traduira pour les études de pollution que par une multiplication du nombre de stations, l'utilisation de lidars embarqués sur plateforme spatiale est certes la voie imposée pour les études de météorologie et pour certaines études de l'atmosphère. Tout laisse à penser que le développement de lasers de puissance élevée, embarquables dans l'espace rendra de tels projets réalisables dans les années 90.

La communauté française a joué un rôle de pionnier dans la mise au point, le développement et l'exploitation des lidars grâce à l'aide conjuguée des différents organismes de recherche (CNRS, INAG, CNES, DRET, CEE...). La France dispose ainsi d'une station lidar très performante implantée à l'Observatoire de Haute-Provence. Celle-ci associée à une instrumentation passive plus classique constitue un observatoire géophysique capable d'étudier et de surveiller notre environnement et son évolution. L'expérience ainsi acquise par les équipes françaises les place favorablement dans la compétition internationale pour participer à l'exploitation des lidars dans les différents domaines de la physique de l'atmosphère et notamment à partir de plateformes spatiales.

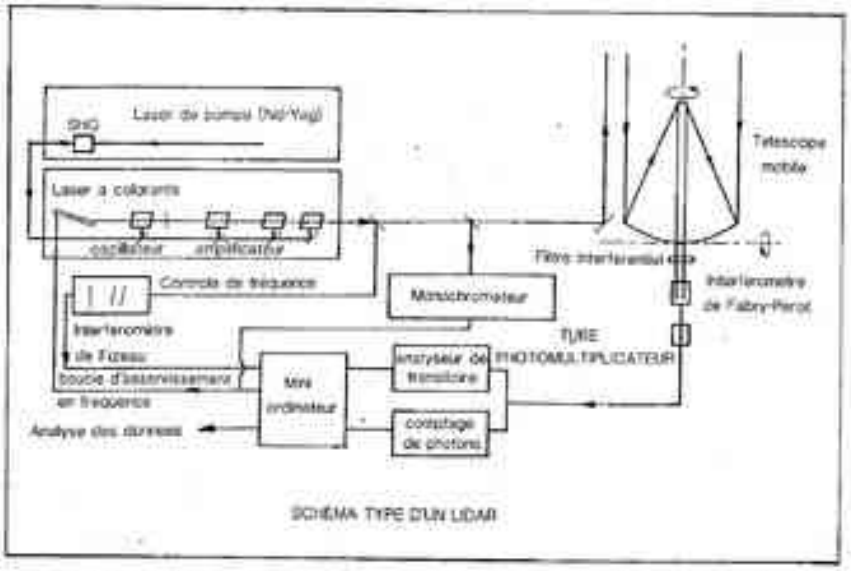


SCHÉMA TYPE D'UN LIDAR

■ Marie-Lise Chanin, maître de recherche au CNRS, travaille au Service d'aéronomie, Fort de Verrières, BP 3, 91370 Verrières-le-Buisson.

BIBLIOGRAPHIE PROPOSÉE PAR LE CDST

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

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

LA PREHISTOIRE ET L'ENFANT

Préhistoire locale : recherche et didactique

Cette action du CNRS a été conduite à l'occasion de l'opération "Images de la recherche : la communication", en juin 1984. Les contacts entre l'enseignement scolaire et le monde de la recherche continuent aujourd'hui. Ils font l'objet de l'opération "mille classes, mille chercheurs", dont le Courrier du CNRS se fera l'écho.

Pierre GOULETQUER, Jean-Michel MOULLEC

La recherche en archéologie et la protection du patrimoine dépendent en grande partie d'une information très parcellisée, faite d'indices souvent ténus que seuls les gens qui vivent sur le terrain sont en mesure de détecter. La quête de ces informations ponctuelles est peu justifiée dans le cadre de recherches spécialisées, et la plupart du temps, les gestionnaires du patrimoine enregistrent ces données sans envisager nécessairement leur exploitation systématique. Les interventions proprement scientifiques ne se manifestent alors que dans le cas de risques évidents de destruction de sites ou de monuments de quelque importance.

La situation est tout à fait autre dans le cas de recherches menées sur l'organisation des territoires archéologiques. Alors, le moindre indice peut être le point de départ d'une recherche plus approfondie visant à mieux comprendre l'articulation des divers sites dans l'espace et dans la durée sur des territoires parfaitement localisés. Dans cette perspective, la recherche de cette information de base s'assimile à une technique particulière de prospection, en même temps qu'elle définit ce que nous appelons ici "ethnoarchéologie", au même titre que l'on parle "d'ethnosciences" : la perception, voire l'utilisation ou le rejet du fait archéologique par les sociétés humaines. Mais elle conduit aussi à dépasser l'habituel échange entre le chercheur et des informateurs épisodiques, pour inventer de nouvelles techniques dans lesquelles l'information scientifique vient équilibrer l'information brute, non plus au niveau individuel, mais en visant les groupes sociaux concernés.

En 1974, pour répondre aux questions posées par les visiteurs des chantiers de fouilles mésolithiques à Plovan (Finistère) et pour informer les propriétaires sur les terrains desquels se passaient les prospections de surface, une exposition ouverte avait été organisée. Posés sur des tables ou dans des vitrines ouvertes, quelques objets illustraient des thèmes simples de préhistoire locale : techniques de taille du silex et origine de la matière première, évolution de l'outillage, tandis qu'une carte en relief de la commune permettait de situer les principaux sites connus. Toute modeste qu'elle ait été, cette exposition s'est révélée un pôle d'échange inattendu, où les gens venaient déposer dans les vitrines haches polies ou silex taillés trouvés dans leurs champs. Dans le même ordre d'idée, vers la même époque, lors des missions de prospection de la recherche coopérative sur programme 322 au Niger, sur les civilisations et environnements Sahélo-Soudaniens (du Pleistocène à l'époque actuelle), la visite du chantier d'Azélik par les élèves de l'école nomade de Teguidda n'Tesemt s'inspirait des mêmes principes.

C'est dans cet esprit d'échange que nous avons monté à partir de 1982 une série de manifestations du même genre à Morlaix, Huelgoat, puis Lesneven, avec l'aide du musée de Morlaix, en relation avec la Direction des antiquités préhistoriques de Bretagne, et par l'intermédiaire de lycées et collèges du Nord Finistère. Mieux préparées que la précédente, ces opérations confirmaient le rôle révélateur de la démarche. Mais elles nous faisaient prendre conscience aussi, avec une certaine ampleur, de l'intérêt porté à la préhistoire par les enfants, et des exploitations pédagogiques et éducatives qu'elle ouvre aux enseignants. Dès lors, tandis que se poursuivait l'exploitation scientifique des renseignements recueillis, la nécessité est vite apparue de mieux cerner l'apport pédagogique et éducatif. C'est pourquoi, au printemps 1983, nous avons commencé à préparer un projet d'action éducative (PAE) à la demande d'élèves, de parents et d'enseignants des collèges de Kerallan (Plouzané) et de Keranroux (Brest). C'est au moment où ce projet devenait fonctionnel, au début de l'année 1984, que le CNRS proposait son opération "Images de la recherche : la Communication".

Comment changer l'image de la préhistoire

Le projet se déroulant en zone urbaine et péri-urbaine, l'aspect "retombées sur la recherche" passait évidemment en second plan, pour laisser une large place aux problèmes didactiques et à une recherche approfondie sur le rôle éducatif de notre discipline. La prise en compte du projet par l'opération "CNRS 84" devait nous permettre de rencontrer d'autres classes, des collèges de Lanrédec et de l'Harteloire à Brest, de Plozévet et de l'école primaire de Kerfraval à Morlaix. Ainsi, 500 élèves de 6' ont été concernés par notre action, d'une façon plus ou moins complète.

En regroupant deux classes par séance, nous avons organisé des réunions-débats au cours desquelles les élèves posaient au préhistorien des questions préparées à l'avance,

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

et que nous avons conservées dans le but de préparer une communication au prochain congrès de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques. Ces questions sont le reflet de l'image que les enfants - mais aussi notre société - se font de la préhistoire à partir des informations qu'ils reçoivent par les publications de vulgarisation, les émissions de télévision, les bandes dessinées ou la publicité. C'est ce que nous appelons "la préhistoire du rêve", parfois très éloignée des réalités scientifiquement établies.

On voit ainsi apparaître un tableau des préoccupations des enfants, une sorte de stéréotype de la préhistoire, qui résiste semble-t-il à l'enseignement traditionnel et aux émissions télévisées scientifiques. Les âges successifs de l'humanité se diluent dans une image très structurée à laquelle participe manifestement l'ignorance des adultes en la matière, et qui reprend en 6e un certain nombre de clichés fortement présents dans les classes précédentes : l'homme préhistorique conçu comme un être unique (ou vivant en groupe stable), soumis à un monde violent d'où émergent les volcans, les cavernes, les peintures rupestres, d'obscurs rites de la mort, les bêtes féroces, avec quelques inquiétudes concernant le confort, l'hygiène ("se lavaient-ils les dents ?", "où allaient-ils aux toilettes ?" la coquetterie ("se rasaient-ils, les femmes se maquillaient-elles ?" ou de plus sérieuses questions d'organisation sociale ("avaient-ils un président ?").

Visite à l'île Carn. (© Limsirisquet).

Débordent encore des classes précédentes quelques thèmes qui en faisaient la caractéristique essentielle. Quelques dinosaures, brontosaures et ptérodactyles hantent encore l'univers du "Fils des Ages Farouches", mais ils reculent sérieusement devant des préoccupations plus justes. Lucy, partout présente, lutte victorieusement contre l'ombre menaçante des "bêtes dont les noms se terminent par "us".

Même dans leurs excès ("Il y avait des *Homo sapiens*, des *Homo erectus*. Y avait-il aussi des Homo sexuels ?"), les questions des enfants relèvent davantage de la mentalité collective que de la psychologie de chacun. C'est en tout cas ainsi que nous devons le prendre, en saisissant l'originalité d'une question marginale pour la recentrer sur un problème d'intérêt collectif. Les redoutables jeux de mots

CNRS Conférence au cours de la visite de l'exposition La Préhistoire et l'Enfant. (© J.M. Moulles).

d'un enfant de douze ans peuvent ruiner le contenu d'une séance, ou fournir au contraire un appui définitif à un repère de mémoire.

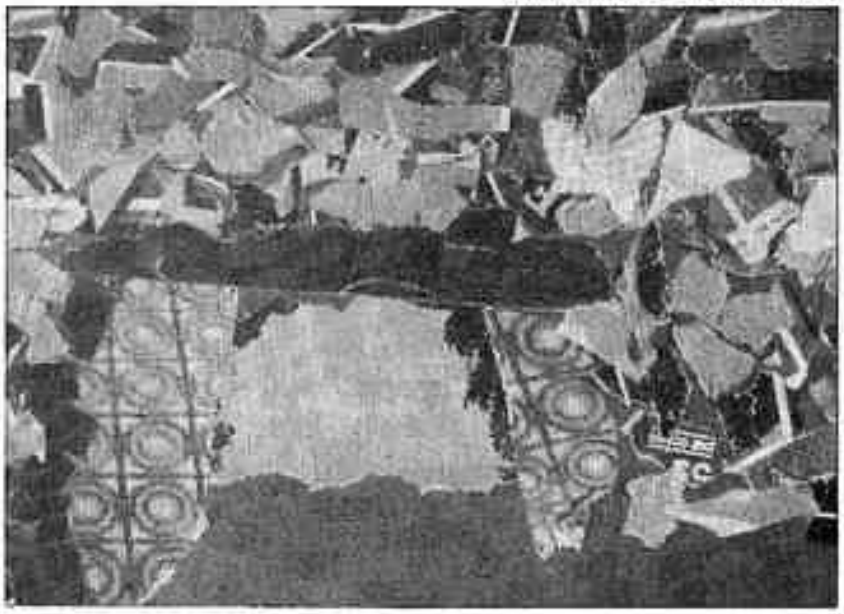
Après une visite préparatoire avec l'équipe pédagogique, les élèves ont travaillé au Musée préhistorique finistérien de St-Guénolé-Penmarc'h pendant environ deux heures, toujours par groupes de vingt-cinq. Il ne s'agissait pas tant de visiter le Musée que d'en comprendre l'organisation, sa finalité - s'il en a une - puis, par petits groupes de trois ou quatre, d'étudier les vitrines et de préparer un compte-rendu de visite. La seconde partie de la journée était consacrée à l'étude de quelques monuments ou sites du voisinage, toujours selon les mêmes techniques. Tout comme l'excursion à bicyclette de Brest à la Pointe Saint-Matthieu, ou la visite du cairn mégalithique de l'île Carn à Ploudalmézeau, ces sorties avaient pour but de montrer aux enfants que la préhistoire est toute proche, partout présente dans les paysages, et que les découvertes se font dans des circonstances socialement et géographiquement précises.

Devant chaque vitrine, chaque monument, et à plus forte raison lorsque nous avons eu la chance d'être présents lors de la découverte d'une nécropole, de visiter un souterrain gaulois en compagnie du propriétaire du terrain ou d'être accueillis par l'archéologue départemental sur un chantier de fouille d'urgence, nous insistions toujours sur les trois points essentiels : les circonstances des découvertes (pour montrer que chacun d'entre nous peut un jour être concerné), le contenu scientifique (y compris les incertitudes possibles),les problèmes de protection et d'entretien du patrimoine.

Les enfants créateurs et acteurs dans les expositions

Toute cette démarche, à laquelle s'ajoutent des ateliers (poterie, taille de silex, dessin, maquettes), avait pour objectif la réalisation d'une exposition commune aux deux collèges de Kerallan et de Keranroux. Cette exposition, que les élèves ont titrée (*"Prendre plaisir avec la Préhistoire"*, est donc le résultat d'un travail de deux trimestres au cours desquels nous avons tenté de développer l'esprit d'observation et l'esprit critique, le plaisir d'exprimer le fruit d'une expérience pour en faire profiter les autres, la notion de responsabilité collective vis-à-vis d'un patrimoine fragile. Nous y avons ajouté l'exposition *"La Préhistoire et l'enfant"* situant d'une façon plus large notre action dans le milieu scolaire. Enfin, les conférences de Jacques Tixier (*"L'Homme derrière le silex"*) et de Jacques Briard (*"Actualité de la recherche préhistorique en Bretagne"*) ont permis d'élargir l'information scientifique et d'ouvrir les débats sur de nouveaux problèmes. Séparément ou jumelées, les deux expositions témoignent des aspects multiples de l'opération "Images de la Recherche : la Communication".

Dolmen de Barnenez - collège. CLDP (Brest)



Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Circulant sans cesse depuis juin 84 de collèges en bibliothèques, elles constituent un nouveau maillon dans la communication. En juin 84, à la Bibliothèque municipale de Brest, l'exposition *"la Préhistoire et l'enfant"*, doublée d'une incitation à la lecture scientifique, a été le prétexte pour recevoir et dialoguer avec environ huit cent cinquante élèves échelonnés du CE1 à la 4e, dont nous avons aussi conservé les questions. Fin janvier et début février 1985, les deux expositions jumelées ont vu passer au Palais des arts et de la culture de Brest environ trois mille visiteurs, offrant l'occasion de nouveaux dialogues et suscitant de nouveaux projets : mise au point d'une salle d'exposition didactique de préhistoire générale en relation avec l'école de Plovan, stages de formation pour des équipes pédagogiques à Lesneven, préparation de grands élèves à l'encadrement d'élèves de CM dans des activités similaires, montage d'un camp itinérant à dominante archéologique avec la Fédération des œuvres laïques ...

Devant la richesse de créativité éveillée par les enseignants au cours de visites apparemment banales de sites ou de chantiers, il devient difficile d'admettre sans discussion la formule de certains, "la préhistoire aux préhistoriens". A l'origine de l'information archéologique de base, le public est en droit de revendiquer un accès au patrimoine éducatif et pédagogique que représente l'information scientifique en cours d'élaboration, même si cela nous dérange. Cette gêne peut toujours être ramenée à des situations qui peuvent s'étudier rationnellement. Au-delà de la préparation et de la réalisation de telles manifestations, et de leur justification scientifique à court ou moyen terme par des retombées sur l'information, comment ne pas être encouragés par la lettre d'un groupe d'élèves au maire de Plomeur pour lui demander de penser à la sauvegarde des sites archéologiques de la Pointe de la Torche, ou par ce groupe d'enfants du PAE "Préhistoire" prenant par la main des enfants non-voyants pour les guider dans la visite commentée de leur exposition ? Mais en définitive, c'est évidemment à leurs enseignants que nous devons avant tout rendre hommage, car ils ont réussi un beau travail.

Ce travail en milieu scolaire a été mené essentiellement en collaboration avec les enseignants, parents et élèves des collèges de Keralan (Plouzané), Keranroux, Lanrédec, l'Harteloire (Brest), Georges Le Ball (Plozévet), l'école primaire Jean-Piaget-Kerfraval (Morlaix), l'école primaire de Plovan et celle de Peumerit. Il a été réalisé grâce à l'appui du Délégué régional du CNRS pour la Bretagne, et, bien au-delà des moyens financiers par la participation de la Direction de l'information scientifique et technique du CNRS, du Centre coopératif de recherche et diffusion en anthropologie de la Maison des sciences de l'Homme, du Service des Expositions de la Bibliothèque Municipale de Brest, du Palais des arts et de la culture de Brest, du Centre départemental de documentation pédagogique, du Musée de Morlaix, du secteur scientifique de la Fédération des œuvres laïques du Finistère, de la Direction des antiquités préhistoriques de Bretagne, de l'ER n° 27 du CNRS "anthropologie, préhistoire protohistoire et Quaternaire armoricains", de la maison Edigraphic et du Centre de recherche bretonne et celtique (UA 374 du CNRS).

■ Jean-Michel Moullec a passé une maîtrise d'histoire consacrée à l'étude systématique de la richesse archéologique d'une commune du Finistère. Vacataire au CNRS pour "CNRS 84 - Images de la recherche : la communication", il consacre une grande partie de son temps à l'animation archéologique en milieu scolaire.

■ Pierre Geuletquer, chargé de recherche au CNRS en préhistoire au Centre de recherche bretonne et celtique, (UA 374), université de Brest, 20 avenue Le Gorgeu, BP 860, 29279 Brest cedex.

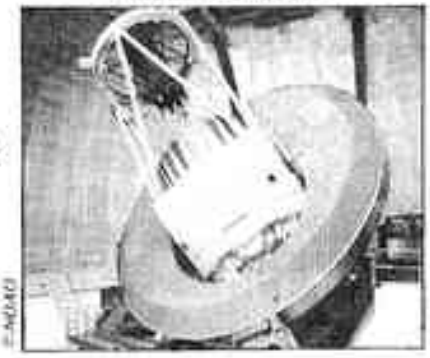
Questions d'élèves (Plozévet).

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

ORGANISMES DE RECHERCHE FONDAMENTALE AUX ETATS-UNIS

La structure de la recherche aux Etats-Unis n'est pas la même qu'en France. Les principaux organismes financés par l'Etat sont présentés ainsi que leurs programmes et leur fonctionnement.

Albert LUMBROSO



Aux Etats-Unis, la recherche est surtout menée dans les universités et les laboratoires nationaux ou industriels. Les sources principales de son financement sont l'industrie et l'Etat, alors que l'apport propre de l'université et des sociétés à but non-lucratif est modeste.

Actuellement, l'industrie, qui a inversé les tendances d'il y a 5 ans accroît son budget de recherche et dépasse de près de 10 % le total investi par l'état, lequel, avec l'enveloppe du département de la défense (DOD) et de celui de l'énergie (DOE), dépense plus des trois quarts de son budget de recherche (voir tableau I). On trouve ensuite la santé, la NASA* et la NSF.

Nous décrivons ici deux organismes uniquement consacrés à la recherche fondamentale, la NSF (National Science Foundation), les NIH (National Institutes of Health) ainsi que certains autres acteurs de la recherche publique (EPA, USDA, NASA, NOAA, NBS).

La NSF est une agence dont les programmes ressemblent à ceux du CNRS, mais n'emploie pas de chercheurs : son rôle est de subventionner.

Les NIH, dont la mission est analogue à celle de l'INSERM, emploient des chercheurs et subventionnent les travaux en recherche médicale et en sciences de la vie.

L'EPA, la NASA, et les autres, dirigent des programmes de recherche fondamentale en même temps que de recherche appliquée et d'établissement de normes.

Avant d'aborder cette étude, il paraît intéressant de rappeler les mécanismes du financement fédéral.

* les sigles sont réunis dans le glossaire

Elaboration du budget fédéral

Le schéma ci-après décrit les phases successives de l'élaboration du budget de la recherche. Ce schéma, d'ailleurs, est semblable pour la plupart des budgets fédéraux.

L'OMB propose, et dans le cas de la Recherche et Développement (R&D), il est fortement influencé par l'OSTP, le budget reflétant la demande des agences au président. Ce dernier le transmet au Congrès, c'est-à-dire à la Chambre des représentants (House of Representatives) et au Sénat, qui l'analysent simultanément (phases 1 et 2 du schéma).

La méthode de décision des chambres est un long processus d'audiences publiques (Hearings) de personnalités du monde scientifique. Chaque chambre transforme cette proposition de budget à la lumière des tendances et de l'information que fournissent ces témoins de la recherche et les instances du Congrès, telles que la "Library of Congress", l'OTA, le GAO, et le CBO.

Amendé par le Congrès, le projet de budget retourne chez le président, qui le signe ou exerce son droit de veto, auquel cas le budget est réexaminé par les sénateurs et représentants (phases 3 et 4 du schéma). En cas de veto, si les 2/3 du Congrès maintiennent la décision, la loi de finance est adoptée.

L'importante distinction entre le système américain et le système français est que les élus votent le budget, poste par poste, c'est-à-dire, à la NSF par exemple, direction scientifique par direction scientifique. Il ne s'agit pas, comme en France, de doter les agences d'une enveloppe globale. On comprend mieux ainsi la nécessité qu'ont les scientifiques américains de haut niveau d'être présents aux audiences pour expliquer et, au besoin, pour défendre leurs demandes face aux élus.

National Science Foundation (NSF)

Créée en 1950, la NSF a pour mission première de promouvoir "le progrès de la science" en "développant et en soutenant la politique nationale de la recherche fondamentale et de l'éducation en sciences ; d'initier et de soutenir la recherche fondamentale en sciences mathématiques, physiques, médicales, biologiques, de l'ingénieur et dans les autres disciplines...".

• *Structure de la NSF :* organiquement, la NSF n'emploie pas de chercheurs et ne possède aucun laboratoire propre. Elle subventionne la recherche par des fonds d'origine fédérale en attribuant des bourses. Cependant, l'administration emploie environ 400 responsables (sur 1 200 employés), toujours recrutés dans le corps scientifique et la fondation peut même financer intégralement des laboratoires d'importance nationale, (tels que le laboratoire de micro-électronique de Cornell, les cinq observatoires principaux, etc.), par des subventions renouvelables pouvant atteindre des durées de cinq ans.

A la tête de la NSF, on trouve le "National Science Board".

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Cette instance, chargée d'en définir la politique scientifique, comprend 25 membres, tous nommés pour six ans par le président des Etats-Unis. Ils doivent aussi, pour être confirmés dans leur fonction, recevoir l'aval du Sénat. Il en est de même pour le directeur de la NSF, le directeur-adjoint, et quatre des assistants du directeur (en fait, il s'agit de quatre directeurs scientifiques). Le directeur de la NSF, membre de droit du "National Science Board", nomme les trois autres assistants.

Les assistants nommés par la Maison Blanche, sont les directeurs de MPS (Sciences Mathématiques et Physiques ; la chimie fait partie de cette direction), de l'ingénierie, du BBS (biologie, sciences du comportement, sociales et économiques) et de l'AAEO (sciences de l'astronomie, de l'atmosphère, de la terre et de l'océan). Les assistants, nommés par le directeur de la NSF, sont à la tête de l'administration, de la STIA (affaires scientifiques, technologiques et internationales) et de la SEE (formation scientifique et technique).

La méthode générale de financement des propositions est essentiellement basée sur le "Peer Review System" (examen par les pairs). Un projet, une fois passé la barre de la recevabilité, est soumis aux experts ou à une commission d'experts externes à la NSF, suivant les cas ou les usages en cours dans la direction scientifique à laquelle est soumise la demande. Les demandes individuelles et les allocations à des programmes de recherche sont financés pour deux ou trois ans renouvelables.

• *Répartition du budget :* l'administration Reagan continue d'avoir une attention spéciale envers la recherche fondamentale, en particulier pour les sciences physiques, mathématiques et de l'ingénieur, pour des raisons de sécurité nationale et de compétition internationale. Le budget de la NSF reflète cette attitude par une augmentation en moyenne de FY 84* à 85 de 14,3 % mais les deux secteurs les plus favorisés restent les mathématiques, l'informatique (+ 15 %) et les sciences de l'ingénieur (+ 17 %).

La répartition par direction scientifique, et à l'intérieur de chaque direction, par division (tableau II) des crédits donnera au lecteur une description des programmes généraux de la NSF, ainsi qu'une indication des secteurs plus ou moins privilégiés. Rappelons que le budget total de la NSF est de $1 477 millions pour la recherche sur une affectation totale de $ 1 502 millions.
Les chiffres du tableau ci-après sont donnés en millions de dollars.

Les restrictions successives de budget ont commencé à mobiliser les chercheurs en sciences sociales.

A l'initiative de la NSF, le Conseil national de la recherche (NRC), pour redonner un essor financier à cette discipline, cherche à mieux la définir en même temps qu'à en préciser les perspectives. Récemment, la NRC a diffusé un questionnaire auprès de 2 500 sociologues pour leur demander de dégager les thèmes prioritaires pour la décennie à venir. L'avantage de cette approche, précise-t-on, est d'éviter le recours aux caciques, en s'adressant directement aux chercheurs.
Les réponses reçues (500 environ) permettront à une série de groupes de travail de publier un plan à long terme, comparable à ceux de la chimie ou de l'astrophysique. Cet effort de définition et de structuration des sciences sociales semble aller dans le sens désiré par le nouveau directeur de la NSF.

Enfin, à la NSF, comme dans les autres agences fédérales, la coopération avec l'industrie s'accentue. D'un côté, on trouve les projets de recherche coopérative, universités-industrie, pour les sciences fondamentales.
La NSF fournit aux acteurs le moyen de se mieux connaître et de tirer mutuellement profit du partenaire. Dans certaines universités, se trouvent des centres de recherche coopérative universités-industrie, dont le travail est orienté vers la recherche fondamentale en prise directe avec les besoins industriels. Dans ce type de centre, un projet approuvé sera financé pour 5 ans.

De plus, un programme SBIR (Small Business Innovation Research) est à la disposition des petites sociétés à vocation technologique. Pour chaque demande acceptée, le financement se fait en trois phases. La phase I, à la charge complète de la NSF, étudie la faisabilité technique et l'aptitude de la firme à effectuer la recherche.

A la phase II, la subvention est plus importante mais plus difficile à obtenir car certains projets, pour des raisons de qualité, sont abandonnés au terme de la phase précédente. La NSF ne finance jamais la phase III qui est celle de l'application et de la commercialisation.

On peut voir, dans le tableau que l'augmentation du budget de la coopération avec l'industrie est de 33 %, donnant une mesure du succès de ces programmes. Les universités, évidemment, accueillent toujours volontiers ces centres de recherche.

National Institutes of Health (NIH)

"Principaux participants dans l'effort continuel pour améliorer la santé du peuple des Etats-Unis", le rôle des NIH est de développer et de propager le savoir biomédical pour la prévention, le diagnostic et le traitement des maladies. Cette agence dépend du ministère de la santé (Department of Health and Human Services - HHS) tout comme l'ADAMHA (alcoolisme et drogues), mais gère pratiquement tout le budget de recherche de son ministère de tutelle.

• *Structure des NIH :* basés en majorité à Bethesda (Maryland), les NIH représente les douze bureaux ou instituts suivants :
- National Cancer Institute (Cancer)
- National Heart, Lung and Blood Institute (cœur, poumons, sang)
- National Institute of Arthritis, Diabetes, & Digestive & Kidney Diseases (arthrite, diabète, maladies de l'appareil digestif, reins)
- National Library of Medicine (bibliothèque de médecine)
- National Institute on Aging (vieillissement)
- National Institute on Allergy & Infectious Diseases (allergies et maladies infectieuses)
- National Institute on Child Health & Human Development (pédiatrie)
- National Institute on Dental Research (recherche dentaire)
- National Institute on Environmental Health Sciences* (santé et environnement)
- National Institute on the Eye (yeux)
- National Institute on General Medical Sciences (médecine générale)
- National Institute on Neurological & Communicative Disorders & Stroke (neurologie, maladies neurologiques et attaques cérébrales).

D'autres programmes de recherche sont poursuivis à Baltimore (gérontologie, cancer) et dans divers lieux aux Etats-Unis.

Signalons que la bibliothèque (National Library of Medicine) de deux millions cinq cent mille volumes vient d'être enrichie du Lister Hill Center for Biomedical Communications Building, doté des méthodes les plus modernes de traitement de l'information et de la communication par satellite. Enfin, les NIH possèdent une clinique de cinq cent quarante lits (quatorze étages) où sont admis des patients, lorsque leur cas fait l'objet de travaux intéressant un ou plusieurs instituts, et un hôpital de jour (Ambulatory Care Research Facility) qui traite deux cent mille patients par an.

Au contraire de la NSF, les NIH gèrent des laboratoires et emploient du personnel de recherche ainsi que des ITA (ingénieurs, techniciens et personnes de l'administration, quatorze mille en tout). Sur les trois mille chercheurs ayant un doctorat des NIH, plus de mille trois cent cinquante sont médecins, dentistes ou vétérinaires. Cependant près de 80 % du budget est destiné à financer la recherche dans les universités, les centres médicaux et d'autres institutions, tant aux Etats-Unis qu'à l'étranger (centres de biomédecine avancée et pays en voie de développement).
L'attribution d'une bourse est soumise d'abord à l'analyse d'un comité d'experts qui se prononce sur la qualité scientifique du projet. Un comité, composé de professionnels de la santé, et de citoyens (National Advisory

* FY 84 signifie "Fiscal Year 84" et débute au 1er octobre 1983).

* situé à Research Triangle Park (Caroline du Nord)

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Council) examine ensuite le projet en fonction des priorités de programmes et de sa contribution potentielle à la prévention et au traitement des maladies. Ce comité a droit de veto.

• *Budget des NIH* : sur les $5 542 millions de recherche et développement du ministère de la santé, les NIH en reçoivent 4 850, ce qui souligne la centralisation des crédits. Cette part représente environ 40 % de la dépense américaine dans le domaine.
La répartition par Institut est donnée dans le tableau III. Le National Institute of Mental Health a un budget de $ 273 millions.

Très récemment, les NIH ont obtenu du Congrès une rallonge budgétaire de $ 850 millions.
Le Congrès avait demandé, en contre-partie, la création de deux instituts, l'un pour l'arthrite, l'autre consacré aux problèmes de l'infirmerie. Le président Reagan a utilisé son droit de veto pour bloquer cette rallonge.
Les NIH ne voyaient aucune raison d'étudier davantage l'arthrite et quand à l'infirmerie, elle ne relève pas encore du type de recherches en cours aux NIH.

Depuis 1970, en effet, il a été suggéré, demandé, exigé, la création de plus de vingt instituts. L'institut de médecine (équivalent de notre Académie de médecine) a constamment, (elle vient de le faire savoir à nouveau), déconseillé la création d'instituts supplémentaires qui dispersent les efforts et rendent moins souple l'aptitude des NIH à répondre aux besoins du pays.

L'institut de médecine (IOM) recommande, par contre, de renforcer le pouvoir du directeur pour lui permettre de mieux coordonner les activités de recherche. En particulier, l'IOM propose que le directeur ait le droit de modifier légèrement (0,5 %) la répartition du budget entre les instituts de façon à pouvoir répondre à une éventuelle urgence.

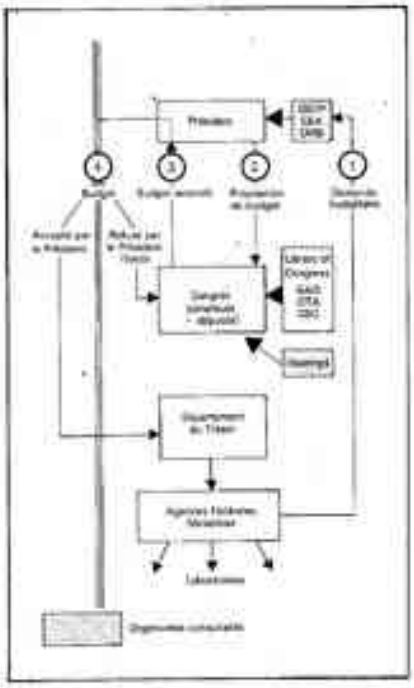
D'autres agences fédérales

Nous avons vu que la NSF dépend directement de l'OSTP, c'est-à-dire de la Maison Blanche, que les NIH sont les principaux organismes de recherche du ministère de la santé. D'autres agences, dépendant de ministères ou directement de l'OSTP, conduisent la recherche ou sont chargés d'établir les normes et réglementations en coopération avec la recherche institutionnelle. En voici une brève description :

• *Protection de l'environnement (Environmental Protection Agency - EPA)*
"La raison d'être de l'EPA est de protéger la santé et le bien-être du peuple américain en contrôlant les effets et les risques de la pollution". En janvier 1984, le président Reagan, dans son message sur l'Etat de l'Union, avait annoncé un budget record pour l'EPA (+ 23 %).

L'EPA se considère comme une instance qui établit les régulations plutôt qu'une agence de R&D ; la recherche est confiée à l'Office of Research and Development (ORD) qui dirige des programmes sur les pluies acides (le plus gros programme), les substances toxiques, les pesticides, les déchets radioactifs, la qualité de l'air et de l'eau. Les plus fortes augmentations se sont portées sur les pesticides, les déchets radioactifs, au détriment des programmes sur les pluies acides.

• *Ministère de l'agriculture (Department of Agriculture - USDA)*
La recherche en agriculture (au sens large), la création de produits nouveaux et la diffusion d'informations techniques contribuant au développement du pays, est confiée aux agences spécialisées suivantes :
- Agricultural Research Services (ARS) : principalement chargée d'établir en collaboration avec d'autres agences de l'USDA la base scientifique des réglementations.



- Cooperative State Research Service (CSRS) : chargée d'administrer les fonds pour la recherche dans les stations expérimentales, elle participe, sur le plan national, à la planification et à la coordination de la recherche.
- Economic Research Service (ERS) : cette agence est responsable des recherches en économie et en sciences sociales, de la prévision et de l'analyse, des tendances internationales.
- Forest Service (Research) : chargée de la protection des terres et des ressources naturelles.

• *NASA (National Aeronautic and Space Administration)*
La NASA est une agence civile dont le rôle est :
- de planifier, diriger et conduire les activités aéronautiques et spatiales,
- d'organiser et de conduire la recherche scientifique concernant l'observation et la mesure à l'aide de véhicules aéronautiques ou spatiaux,
- de fournir l'information la plus large et la plus complète sur ses activités et les résultats de ses recherches.

La recherche, confiée à l'OSSA (Office of Space and Science Application), se concentre sur les programmes suivants :
- La station spatiale : $150 millions ont été attribués pour le démarrage de la station spatiale. La dépense pour ce projet est estimée à $8 milliards pour 1990. Ce laboratoire aura plusieurs fonctions, telles que la recherche et le développement, la fabrication commerciale de médicaments et de matériaux spéciaux et les études sur le séjour prolongé dans l'espace.
- l'amélioration du transport spatial : amélioration des performances et de la sécurité, en particulier, de la navette. Compléter la flotte et fournir des pièces détachées font partie de ce programme.
- La science de l'espace et ses applications : physique et astronomie, exploration des planètes, sciences de la vie, environnement...
- La recherche en technologie aéronautique
- la recherche en technologie spatiale
- le télescope spatial

• *Department of Commerce*
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Le plus important programme de recherche du Department of Commerce. On y conduit des recherches au moyen de satellites et surtout les forages en eaux profondes (deep-sea drilling).
- National Bureau of Standards. Le second programme du Department of Commerce. Le rôle du bureau est double. Comme son nom l'indique, il est l'équivalent de notre bureau des poids et mesures, mais, parallèlement à ces activités, la recherche fondamentale et appliquée y joue un grand rôle. En particulier, l'une des cinq sources américaines de rayonnement synchroton y est implantée.

Le budget fédéral de la recherche dépasse, nous l'avons vu, cinquante milliards de dollars. Ce qui semble important, est le choix des priorités dans la dépense. Depuis 1983, une nouvelle tendance s'affirme. L'Etat, qui se considère responsable de la recherche fondamentale, dépense plus d'argent dans ce secteur que dans celui de la recherche appliquée.

Ce changement reflète l'attitude de l'administration Reagan qui admet que la recherche fondamentale offre peu d'attraits pour les industriels et donc ne peut se faire que dans les laboratoires nationaux ou universitaires. Par contre, la recherche appliquée peut, elle, suivre les lois du marché et doit être conduite par l'industrie. De ce fait, certains gros programmes en recherche appliquée ont été supprimés (surtout au DOE) au

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

profit de la recherche fondamentale conduite au DOE et à la NSF. Cette tendance, bien accueillie par les autorités académiques, préoccupe cependant le Congrès qui se demande si, à terme, cette conception ne risque pas de faire perdre au pays son avance en matière de technologie de pointe, ainsi que des marchés à l'étranger.

Glossaire

(ADAMHA) : Alcohol Drug Abuse, and Mental Health Administration.
(CBO) : Congressional Budget Office (analyse du budget et propositions au Congrès).
(CEA) : Council of Economic Advisors (conseillers du président pour les affaires économiques).
(DOD) : Department of Defense (défense nationale).
(DOE) : Department of Energy (département de l'énergie).
(GAO) : General Accounting Office (instance qui travaille pour le Congrès et dont le rôle est de contrôler si l'exécution des programmes se déroule conformément aux décisions du Congrès).
(NASA) : National Aeronautic and Space Administration (questions spatiales et aéronautiques).
(NRC) : National Research Council (Conseil national de la recherche, organisme émanent des académies des sciences, de médecine et des sciences de l'ingénieur).
(OMB) : Office of Management and Budget (contrôle l'usage des fonds publics et participe à la préparation du budget. C'est une puissance).
(OSTP) : Office of Science and Technology Policy (comparable à un secrétariat d'Etat à la recherche et technologie).
(OTA) : Office of Technological Assessment (dont le rôle est de prévoir les besoins du pays par analyse prospective).

■ Albert Lumbroso est responsable du bureau du CNRS à Washington, Washington office, French scientific mission, 4101 Reservoir Road NW, Washington DC 20007, Etats-Unis.

BIBLIOGRAPHIE

- *Basic Research in the Mission Agencies* Report to the National Science Board 1978 (NSB 78-1)
- *AAAS Report IX : Research and Development* American Association for the Advancement of Science (editor)
- *Science Indicators 1982 (NSB 83-1)* National Science Board 1983 ed.
- *Statistical Abstract of the United States 1984* US Department of Commerce (editor)
- *Peer Review in the National Science Foundation* National Academy Press (1981)

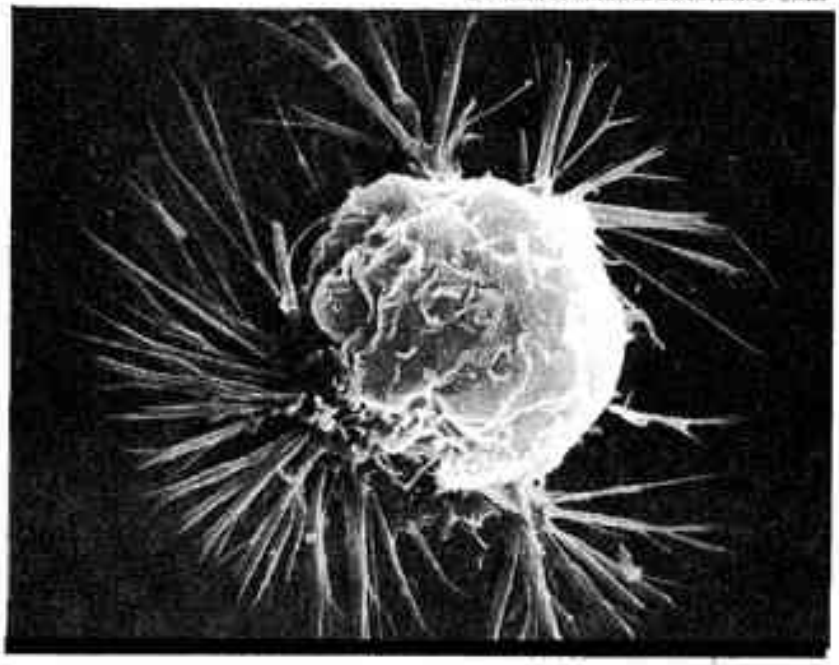
Tableau 1 — Budget de la recherche (en millions de dollars)

Départements ou agences	1984	1985
Défense	27876	32519
Energie	5428	5417
Santé	4857	5542
dont (NIH)	(4243)	(4850)
NASA	2984	3371
NSF	1267	1477
Agriculture	934	969
Transports	512	492
Intérieur	402	404
Commerce	393	393
Environnement	247	305

Tableau 2

Tableau 3

Une cellule cancéreuse du sein en culture. ©NIH



Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Marie-France Vigneras

ou les mathématiques au féminin

Marie-France Vigneras vient de se voir décerner par le CNRS une médaille d'argent pour ses recherches en mathématiques. Agée de 38 ans, elle enseigne actuellement à Paris VII, après avoir été, de 1977 à 1983, directrice des études mathématiques à l'Ecole normale supérieure de jeunes filles de Sèvres. Marie-France Vigneras a bien voulu évoquer avec nous quelques aspects de sa vie de mathématicienne.

Nicolas DARBON

Où est née cette vocation pour la recherche ?

J'ai commencé à faire de la recherche à Bordeaux, et ce fut une chance : il y avait moins de compétition qu'à Paris, j'avais du temps, j'étais bien encadrée. Je me demande parfois si j'aurais suivi cette voie à Paris.

Quel sujet avez-vous choisi pour votre thèse ?

Ma thèse, qui portait sur l'arithmétique des quaternions, m'a amenée à répondre à la question suivante : est-ce qu'en entendant le son d'un tambour on peut deviner sa forme ? J'ai démontré que des tambours différents pouvaient donner le même son, ce qui a priori pouvait surprendre. Ce résultat a par la suite servi de catalyseur à d'autres travaux.

Être une femme a-t-il constitué un handicap dans le déroulement de votre carrière ?

Au risque de paraître bien peu féministe, je soutiendrai volontiers le contraire : étant une femme, qui arrivait de province de surcroît, j'ai pu être plus facilement remarquée, ce qui m'a permis d'obtenir un poste à Orsay de 1975 à 1977.

Après ces deux années, j'ai eu la chance inouïe d'être nommée professeur à Paris VII avec comme mission de m'occuper du département mathématiques de Sèvres. Je ne suis pas loin de penser qu'on m'a choisie pour ce poste parce que j'étais une femme.

Sèvres vous a beaucoup apporté ?

Sans aucun doute, ne serait-ce parce que j'avais vécu jusqu'à présent dans un milieu de garçons : j'ai deux frères, et puis, les maths, c'est un métier d'hommes... A Sèvres, j'ai découvert qu'il y avait d'autres femmes qui faisaient des mathématiques, et qui plus est, des femmes brillantes. Sur le plan psychologique, ce fut excellent pour moi : enseigner à des élèves intelligents, dans un cadre particulièrement agréable – que peut-on demander de plus ?

La vie d'une mathématicienne au quotidien...

Elle est assez privilégiée, compte-tenu de la grande marge de liberté dont nous disposons, pour dormir quand on est fatigué, ou pour se promener quand une idée a besoin d'être clarifiée.

Le revers, c'est évidemment une certaine solitude, devant livres, crayons et papier. D'où la nécessité pour nous autres, mathématiciens, de correspondre et d'échanger nos travaux. D'autant que la communication avec le grand public est naturellement bien difficile, s'agissant de recherches en mathématiques (voir encadré).

Dans cette discipline, vous rencontrez fréquemment quelqu'un qui, quelque soit son âge ou ses diplômes, réfléchit plus vite ou mieux que vous ; c'est stimulant, et en même temps c'est une excellente école de modestie.

Vos liens avec le CNRS...

Le CNRS nous aide financièrement à participer aux séminaires organisés à l'étranger, ce qui nous permet de nous tenir bien au courant des travaux des autres chercheurs. Il faut d'ailleurs souligner que Paris est indiscutablement une capitale mondiale de la recherche en mathématiques.

Vous arrivez à concilier recherche et enseignement ?

A Jussieu, j'ai la possibilité de grouper mon enseignement sur un semestre, ce qui me laisse l'esprit disponible pour la recherche le restant de l'année. L'alternance se fait donc tout naturellement, au bénéfice, me semble-t-il, des deux activités.

Les premiers travaux de Marie-France Vigneras concernaient l'arithmétique des algèbres de quaternions. Son résultat le plus remarqué est sa construction de variétés riemanniennes isospectrales et non isométriques. Exposant les résultats de J.L. Waldspurger, qui fut son élève, sur les formes modulaires de poids demi-entier, elle a donné une formule, compatible avec la conjecture de Birch et Swinnerton-Dyer, pour la valeur au centre de la bande critique de la fonction L associée à une forme modulaire. Elle vient également de démontrer la correspondance de Langlands globale et locale entre GL (n) et une algèbre de division localement totalement ramifiée ou déployée.

Madame M.-F. Vigneras a reçu en 1985 le prix franco-allemand Alexander von Humboldt.

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Les Éditions du CNRS

Point de vue sur...

Mission franco-chinoise au Tibet - 1980

Etude géologique et géophysique de la croûte terrestre et du manteau supérieur du Tibet et de l'Himalaya.
édité par J.L. Mercier et Li Guangcen

"Mission franco-chinoise au Tibet 1980", le premier livre de ce qui sera, espérons-le, une série, n'est pas un recueil d'articles scientifiques comme les autres. Il traduit les résultats de la première année de coopération franco-chinoise sur un programme de trois ans dont le thème est : "la structure, la formation et l'évolution de la croûte terrestre et du manteau supérieur de l'Himalaya et du Tibet", ce que l'on pourrait aussi résumer par "la collision Inde-Asie: origine et conséquences".

En lisant l'introduction du premier article qui est aussi un article de synthèse on comprend que 1980 risque de rester une date marquante dans l'histoire de la géologie française et peut-être même de la géologie tout court. Cet été-là, pour la première fois, des équipes de géologues, géophysiciens, géochimistes chinois travaillaient côte à côte avec leurs homologues français dans une région où, à en croire la couverture du livre, l'Everest est sans cesse en toile de fond. L'importance de cette mission n'est pas due uniquement à la rencontre de deux communautés scientifiques qui s'étaient presque ignorées jusque-là par la force des choses; elle est due aussi au fait qu'il était permis aux équipes françaises de vérifier les nouvelles théories élaborées en Occident sur la géologie de cette partie du monde. En effet, depuis les dernières expéditions en Chine qui datent du début du siècle, les concepts en sciences de la terre ont considérablement évolués. Ils ont permis de comprendre que la plus jeune chaîne de montagnes avait dû être créée par la lente et inexorable pénétration de l'Inde dans l'Asie. Cette nouvelle vision de la géologie de l'Himalaya posait aux spécialistes de nombreuses questions: quel chemin l'Inde avait-elle parcouru? Comment la croûte terrestre s'était-elle comportée? S'était-elle épaissie par superposition de l'Inde et de l'Asie, ou par plissement? Etait-ce le bord de l'Inde ou celui de l'Asie qui s'était déformé, ou les deux à la fois? Questions parmi d'autres auxquelles on ne pouvait répondre faute de données suffisantes. Au travers de l'exemple Inde-Asie c'est le problème plus général de la collision de deux continents qui pouvait maintenant être abordé.

L'objectif et le caractère pluridisciplinaire de cette mission font que ce livre devrait intéresser tous les spécialistes des Sciences de la Terre, quelle que soit leur discipline, ainsi que les futurs géologues. On peut le conseiller également aux passionnés qui maîtrisent bien le vocabulaire géologique. On peut cependant regretter qu'aucune place n'ait été réservée dans ce livre à un article de synthèse destiné à un plus vaste public.

Signalons aussi un charme tout particulier de ce livre, la présence de la langue chinoise. Si les textes sont en français, et à en juger par les notes des traducteurs la traduction n'a pas toujours dû être facile, la majeure partie des figures et schémas sont en effet bilingues.

Christiane Grappin
attaché scientifique
à la Direction de l'information
scientifique et technique

Aspects de la recherche musicologique au CNRS
Hélène Charnassé

Cet ouvrage de quelque deux cents pages devrait retenir l'attention de nombreux amateurs de musique. Il présente une partie des travaux effectués par le Centre national de la recherche scientifique en matière de recherche musicale et musicologique, souvent en collaboration avec d'autres organismes (universités, conservatoires, bibliothèque nationale...). Dix-huit brèves communications ouvrent des horizons sur des domaines souvent mal connus, et invitent à consulter les bibliographies et discographies jointes (n'oublions pas le prix de l'Académie Charles Cros et deux prix du Président de la République, l'un pour l'*Anthologie de la musique des Pygmées Aka*, l'autre pour l'enregistrement du *David et Jonathas* de Marc-Antoine Charpentier). Dans le domaine européen, les recherches décrites portent notamment sur les sources manuscrites et iconographiques, leur catalogage et leur analyse, ainsi que sur les grandes époques de la musique française, analysées dans un esprit interdisciplinaire (correspondances avec la littérature, les arts du décor...). Une expérience originale, trop brièvement décrite sans doute, est celle du Centre d'information et de documentation "recherche musicale", dont l'une des missions est d'établir de nouveaux liens entre la recherche scientifique et la création musicale. Quelques communications portent en outre sur les musiques extra-européennes - terme que je préfère à celui d'ethnomusicologie, récusé par certains auteurs, et qui évoque trop l'idée de musiques primitives, alors que certaines d'entre elles sont fort savantes, malgré leur transmission par la seule tradition orale.
Le lecteur y trouvera des recherches bien connues de spécialistes, comme l'étude des polyphonies des pygmées au moyen des techniques du play-back, ou celle des musiques du Proche et de l'Extrême-Orient, dans leurs liens avec la théorie musicale, le théâtre ou la mystique.

Bernard Dormy

Malthus hier et aujourd'hui,
(synthèse du congrès internationale de démographie historique).
Responsable Antoinette Fauve-Chamoux.

Souvent le sujet d'un colloque s'adresse à un public réduit, mais l'ouvrage Malthus, hier et aujourd'hui possède une toute autre dimension. En premier car l'œuvre de Malthus reste attachée, même si ce n'est qu'une caricature, à une des plus grandes interrogations actuelles : jusqu'où existe-t-il une adéquation entre la croissance de la population et celle des ressources disponibles pour assurer sa subsistance ? D'autre part l'œuvre de Malthus est intimement liée à cette période de ruptures où les sciences de l'homme et de la société se créent par l'observation des transformations sociales, et échappent progressivement du domaine du discours religieux.

L'originalité de cet ouvrage est d'offrir une approche pluridisciplinaire de l'héritage de Malthus après deux siècles de débats. On regrette toutefois, particulièrement dans les contributions sur la croissance économique et les sciences des religions, que l'ouvrage soit un prétexte pour rattacher des recherches où la référence à Malthus est parfois un peu anecdotique.

Cinq grandes sections, regroupent chacune une dizaine de contributions : la diffusion et le destin de l'œuvre de Malthus; l'œuvre de Malthus resituée dans le contexte social de son époque ; Malthus économiste; l'interprétation de son œuvre; l'œuvre de Malthus restituée par rapport aux grandes interrogations des sociétés contemporaines.

Chacune des contributions et des sections de cet ouvrage possède son intérêt propre.
L'économiste voit précisé l'apport de Malthus à la notion de circuit et au rôle central de la demande. l'ethnologue et le géographe sont interrogés sur l'évolution de leurs pratiques scientifiques avec l'ouverture des espaces lointains. D'autres, comme le démographe, trouveront intérêt à voir détailler le synchronisme entre les développements de la mesure statistique et l'affirmation de la méthodologie. Mais au-delà des disciplines des sciences de l'homme et de la société, l'intérêt de l'ouvrage est plus fondamental. Il montre comment se forme depuis près de deux siècles la pratique méthodologique des sciences sociales avec une constante interrogation sur l'évolution.

Jean Bourdon

La cour des Comptes
Préface : André Chandernagor,
avant-propos : Pierre Moinot.

Ce volume de 1191 pages, qui fait suite à l'ouvrage analogue consacré au Conseil d'Etat, traite de l'un des grands corps qui ont façonné l'Administration française : la Cour des Comptes. Et il offre au juriste, à l'administrateur et à l'historien le panorama détaillé et

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

minutieux d'une institution dont l'identité doit beaucoup à son caractère juridictionnel.

Rien ne semble avoir échappé, en effet, à cette reconstitution patiente d'une longue histoire (la Cour des Comptes est le plus ancien de nos grands corps), jusqu'à présent trop méconnue. Et son cheminement éclaire l'évolution du droit financier français. Les nombreuses biographies qui émaillent l'ouvrage permettent, notamment, de sentir palpiter la vie de l'institution.

On regrettera, sans doute, que la période contemporaine (l'étude s'arrête en 1981) ait été délibérément sacrifiée au profit de l'histoire ; un quart seulement du livre y est consacré. Ainsi les réformes récentes provoquées par les nationalisations (contrôle des entreprises publiques), et la décentralisation (chambres régionales des comptes) ne sont pas réellement prises en compte. Et le débat d'actualité sur l'évaluation des politiques publiques est pratiquement occulté.

Il n'en reste pas moins que cette fresque luxueuse comblera opportunément un vide dans nos bibliothèques. Elle sera un outil de référence indispensable pour quiconque voudra entreprendre des recherches en aval.

Jean-Louis Quermonne
professeur à l'Institut d'études politiques de Paris.

Bibliographie

Nouveautés/décembre 1984 janvier 1985 /février 1985

FF

Rapport de prospective en optique 200
- Ouvrage collectif

Cahiers de paléontologie 200
- Les hétérostracés, pteraspidiformes, agnathes du silurien-dévonien du continent nord-atlantique et de ses blocs avoisinants, par Alain Blieck

Etudes sur l'abri Fritsch (Inde) 175
- (XIXe supplément à Gallia préhistoire), par Françoise Trotignon, Thérèse Poulain, Arlette Leroi-Gourhan

Malthus hier et aujourd'hui 270
- Congrès international de démographie historique, responsable Antoinette Fauve-Chamoux

L'arc électrique et ses applications 125
- Tome 1 : Etude physique de l'arc électrique, ouvrage collectif

Chartes et documents 750
de la Sainte Chapelle de Vincennes
- XIVe et XVe siècles
(documents, études et répertoires), en 2 volumes, par Claudine Billot

Inventaire bibliographique 78
des pastorales théâtrales
- Un théâtre populaire au temps de Noël, par Albert Giraud

Etudes celtiques 320
- Tome XXI

Cahiers de micropaléontologie 1/1984 30
- Révision de l'attribution stratigraphique du gisement de Chasné-sur-Illet (Ille-et-Vilaine) à l'aide de la faune de foraminifères et de la nannoflore calcaire, par Jean-Pierre Margerel et Jean-Gabriel Bréhéret

Géomorphologie et géologie de l'or détritique 210
- Piémonts et bassins intra-montagneux du nord-ouest de l'Espagne

Notes et monographies techniques n°16 : 70
2e rencontres d'archéo-ichthyologie, édité par Nathalie Desse-Berset

Cartes de la végétation : n°10 France 220
Mèzières, étranger 190
par Marcel Bournérias, coll. Lucien Durin et Jean-Marie Géhu

Cartes de la végétation n°40 France 220
Bourges, par D.Lavergne étranger 190

Cartes de la végétation: n°47 France 220
Mâcon, par E.-J. Bonnot, étranger 190
coll. M.-C.Verdus

La phonétisation automatique du français 85
- Les ambiguïtés de la langue écrite, par Nina Catach, avec la collaboration de V. Meissonnier et F. Jejcic

Le luth et sa musique/II 160
- Ouvrage collectif édité par J.M. Vaccaro

Paléorient 10/1. 1984 215
- Revue pluridisciplinaire de préhistoire et protohistoire de l'Asie du sud-est

Répertoire des ouvrages imprimés en langue italienne au XVIIe siècle. VIII 200
- T à Z et supplément, conservés dans les bibliothèques de France, par Suzanne P. Michel

Carte géologique du Rift d'Asal, 150
par Laurent Stieltjes
(co-édition avec le BRGM)

La préindustrialisation du Brésil 220
- Essais sur une économie en transition - 1830/50 . 1930/50, édité par F. Mauro

Les voies de la création théâtrale/XII 165
- V . Garcia, R. Wilson, G. Tovstonogov, M. Ulusoy - Ouvrage collectif édité par Denis Bablet

Les portes du désert 480
- Recueil des inscriptions grecques d'Antinoopolis, Tenturis, Koptos, Apollonopolis Parva et Apollonopolis Magna, par André Bernand

Le triomphe de la vierge-église 480
- A l'origine du décor du portail occidental de Notre Dame de Senlis, par Marie-Louise Thérel

Le riz et la riziculture à Madagascar 150
- Une étude sur le complexe rizicole d'Imérina, par Yoshio Abe

Une académie interprète des lumières 95
- l'Académie des sciences, inscriptions et belles lettres de Toulouse au XVIIIe siècle, par Michel Taillefer

Archéologie, pouvoirs et sociétés 65
- Ouvrage collectif

La politique de l'archéologie en Europe, 75
édité par Jean Chapelot et Alain Schnapp

Dislocations 1984 150
- Dislocations : structure du coeur et propriétés physiques.
Colloque international du CNRS, édité par P. Veyssière, L. Kubin et J. Castaing

Les pratiques funéraires dans l'asie centrale sédentaire 180
- De la conquête grecque à l'islamisation, par Frantz Grenet

La vision chez les invertébrés 175
- colloque international du CNRS, édité par Pierre Clément et Raymond Ramousse

Oeuvres de Pierre Gautier 130
- Les luthistes français - édition et transcription par Monique Rollin

Pareil - Pas pareil 85
- Etudes des règles de réponse et des critères d'identité à l'âge pré-scolaire (Monographies françaises de psychologie, n°64), par Arlette Pinçau

Langage et milieu social chez l'enfant: déficit ou différence 75
(Monographies françaises de psychologie, n°65), par Jean-Pierre Bruckert

Atlas historique des ville de France,
sous la direction de Ch. Higounet, J.-B. Marquette, Ph. Wolff
Ussel 53
Brive 53
Bergerac 53
Périgueux 53
Limoges 53

Les papyrus en caractères hébraïques trouvés en Egypte, 280
par Colette Sirat

La grande lande 372
- Histoire naturelle et géographie historique, sous la direction de A. Kinglebiel et J.-B. Marquette

Revue archéologique de l'est et du centre-est 95
- Tome XXXXV - fascicule 3-4

Les savoirs dans les pratiques quotidiennes 140
- Recherche sur les représentations, par Claire Belisle et Bernard Schiele

La formation des normes en droit international du développement 170
- Table ronde franco-maghrébine, Aix-en-Provence, 7 et 8 octobre 1982 - co-éditeur : OPU

Annuaire de l'Afrique du nord 480
- Tome XXI - 1982

Tradition orale et identité culturelle 40
- Problèmes et méthodes - sous la direction de J.-C. Bouvier (réimpression)

Entre bouasque et lande 170
- Etude ethnologique de l'espace dans une commune du littoral provençal, par Annie-Hélène Dufour

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

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf

Fichier issu d'une page EMAN : http://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/152?context=pdf